

**UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE**  
**Sede di Piacenza**

**Scuola di Dottorato per il Sistema Agro-alimentare**

**ciclo XXIV**

**S.S.D: AGR/19, FIS/07**

**CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO DEL  
MEDITERRANEO IN FUNZIONE DELL'INDICE  
BIOCLIMATICO "TEMPERATURE HUMIDITY INDEX"  
(THI) E RELAZIONI TRA THI E MORTALITA' NELLA  
BOVINA DA LATTE**

**Tesi di Dottorato di: Maria Segnalini**  
**Matricola: 3710429**

Anno Accademico 2010/2011



**UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE**  
**Sede di Piacenza**

**Scuola di Dottorato per il Sistema Agro-alimentare**

**ciclo XXIV**

**S.S.D: AGR/19, FIS/07**

**CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO DEL  
MEDITERRANEO IN FUNZIONE DELL'INDICE  
BIOCLIMATICO "TEMPERATURE HUMIDITY INDEX"  
(THI) E RELAZIONI TRA THI E MORTALITA' NELLA  
BOVINA DA LATTE**

**Tesi di Dottorato di: Maria Segnalini**  
**Matricola: 3710429**

**Coordinatore: Ch.mo Prof. Romeo ASTORRI**

---

**Tutor: Prof. Nicola Lacetera**

**Anno Accademico 2010/2011**

*a Daniele*

## Indice generale

<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. Introduzione</b> .....	<b>1</b>
1.1 Interazioni animali-ambiente, problematiche .....	1
1.1.1 Sviluppo di indici di benessere e studi esistenti.....	5
1.2 Eterogeneità climatica del Mediterraneo .....	7
1.2.1 Zootecnia Mediterranea e dati FAO.....	11
1.3 Il cambiamento climatico.....	13
1.3.1 Scenari di emissione.....	15
1.4 Obiettivi della ricerca.....	17
<b>2. Materiali e metodi</b> .....	<b>19</b>
2.1 Il Temperature-Humidity Index (THI).....	19
2.2 Studio retrospettivo .....	19
2.2.1 Il bacino del Mediterraneo: caratterizzazione in termini di THI.....	20
2.2.2 La penisola italiana: caratterizzazione in termini di THI.....	21
2.3 Studio sulla mortalità .....	21
2.3.1 Variazioni stagionali della mortalità .....	23
2.3.2 Relazioni tra THI e mortalità .....	24
2.4 Studio di scenario.....	26
2.4.1 Il bacino del Mediterraneo: scenari di THI .....	27
2.4.2 La penisola italiana: scenari di THI .....	28
2.5 Software utilizzato .....	29
<b>3. Risultati e discussione</b> .....	<b>30</b>
3.1 Studio retrospettivo .....	30
3.1.1 Il bacino del Mediterraneo .....	30
3.1.2 La penisola italiana .....	41
3.2 Studio sulla mortalità .....	47
3.2.1 Variazioni stagionali della mortalità .....	47
3.2.2 Relazioni tra THI e mortalità .....	49
3.3 Studio di scenario.....	53
3.3.1 Il bacino del Mediterraneo .....	53
3.3.2 La penisola italiana .....	59
<b>4. Conclusioni</b> .....	<b>64</b>
4.1 Strategie di mitigazione e di adattamento .....	64
<b>Elenco delle tabelle</b> .....	<b>72</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>73</b>
<b>Allegati</b> .....	<b>82</b>
1) Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera L (2009) Seasonal Pattern of Mortality and Relationships Between Mortality and Temperature Humidity Index in Dairy Cows. J Dairy Sci 92:3781-3790.....	82
2) Segnalini M, Nardone A, Bernabucci U, Vitali A, Ronchi B, Lacetera N (2011) Dynamics of the Temperature-Humidity Index in the Mediterranean Basin. Int J Biometeorol, 55:253-263 DOI 10.1007/s00484-010-0331-3 .....	92
3) Segnalini M, Lacetera N, Bernabucci U, Nardone A (2010) Temperature-Humidity Index scenarios in the Mediterranean basin. Advances in Animal Biosciences 1: 399-401 DOI: 10.1017/S2040470010000282. Published online: 08 November 2010 .....	103

4)	Segnalini M, Vitali A, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N (2011) Temperature humidity index welfare categories in the Mediterranean basin: A scenario approach. Proceedings 19th International Congress of Biometeorology, in press .....	105
5)	Lacetera N, Segnalini M, Tran A, Guis H, Bernabucci U, Ronchi B, Vitali A, Caminade C, Calvete C, Morse A, Baylis M, Nardone A (2011) Final Report - Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean (RACCM) (5. Climate Induced Effects on Livestock Population and Productivity in the Mediterranean Area) in press.....	110

## **Abstract**

Le condizioni meteorologiche e il clima influenzano fortemente il settore delle produzioni animali. Lo stress da caldo determina una significativa riduzione dell'attività metabolica, con conseguente declino della produzione, riduzione della capacità riproduttiva e maggiore predisposizione alle malattie negli animali allevati. Lo stress da caldo è causato da una combinazione di fattori ambientali quali la temperatura, l'umidità, la radiazione solare, le precipitazioni e il movimento dell'aria. Nel contesto biologico, la temperatura dell'aria è sicuramente considerata come la misura principale dello stress da caldo, tuttavia, un'elevata umidità peggiora l'effetto della temperatura riducendo l'evaporazione del sudore dalla pelle e rappresentando quindi un ostacolo all'eliminazione del calore in eccesso attraverso i meccanismi evaporativi.

Un aumento della temperatura dell'aria, come quello previsto in diversi scenari di cambiamenti climatici, potrebbe influire sulle prestazioni degli animali influenzando direttamente i meccanismi termoregolatori dell'animale. Per quantificare lo stress termico, in questo studio, è stato considerato il Temperature Humidity Index (THI), indice che considera insieme i valori di temperatura e umidità. Lo scopo principale del lavoro di ricerca svolto è stato la caratterizzazione retrospettiva e di scenario dell'area del Mediterraneo in termini di THI. A questo obiettivo principale si è poi affiancato quello di stabilire le relazioni tra stagione/THI e mortalità nella bovina da latte allevata in un'area geografica Italiana altamente vocata per questo tipo di allevamento.

Il bacino del Mediterraneo è un'area altamente eterogenea in termini di THI ed i futuri cambiamenti climatici influenzeranno probabilmente non in modo uniforme le diverse aree del bacino.

Nel Capitolo 1 viene presentata un'introduzione dei fenomeni in studio e gli obiettivi di questo lavoro.

Nel Capitolo 2 vengono presentati i dati utilizzati nello studio e le tecniche di analisi impiegate.

Nel Capitolo 3 si presentano e si discutono i risultati ottenuti.

Nel Capitolo 4 sono sintetizzate le principali conclusioni ed i possibili sviluppi della ricerca.

Nel loro complesso, i risultati di questo lavoro di ricerca suggeriscono che, allevatori e politici, dovrebbero tenere in considerazione la variabilità e le variazioni previste del THI nel momento di pianificazione degli investimenti nel settore delle produzioni animali. Conoscere in anticipo il verificarsi di condizioni climatiche avverse, infatti, permetterebbe agli allevatori di metter in atto misure volte a contrastare gli effetti negativi delle condizioni climatiche. Dovrebbero venire sviluppate misure di adattamento appropriate per contesti specifici in termini di cultura, società, o sistemi politici, che possano contribuire alla sostenibilità ambientale, nonché allo sviluppo economico e alla lotta alla povertà.

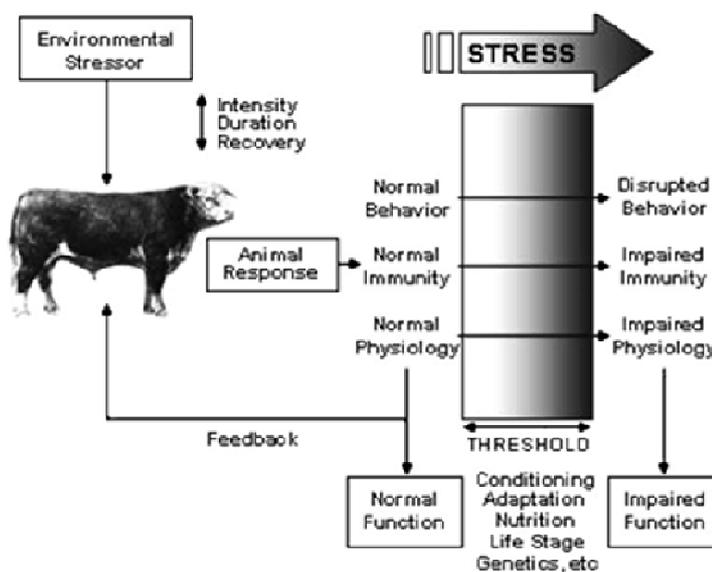
Sono allegati i lavori realizzati e pubblicati durante il triennio di ricerca.

# 1. Introduzione

## 1.1 Interazioni animali-ambiente, problematiche

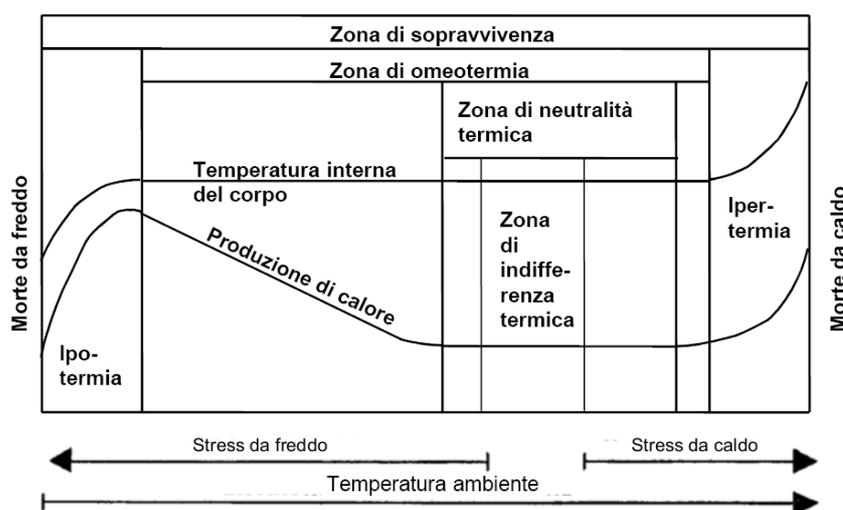
Le previsioni sull'evoluzione della popolazione mondiale indicano una sua crescita pari a 2.3 miliardi di unità, con passaggio dalle attuali 6.5 alle 9.2 miliardi di persone nel 2050. La crescita della popolazione farà aumentare notevolmente il consumo di alimenti di origine animale in tutto il mondo. A tale riguardo, la FAO (2009) prevede un aumento di circa il 70% a livello mondiale e un raddoppio nei paesi in via di sviluppo. Questo cambiamento avrà implicazioni per l'ambiente, la salute umana e il benessere degli animali. In tale contesto va poi evidenziato come i cambiamenti climatici previsti per il futuro (aumento delle temperature, più elevata variabilità nella piovosità, incremento degli eventi estremi, etc.) (IPCC, 2007), potranno determinare una minore disponibilità idrica, un rischio di riduzione della quantità e qualità degli alimenti destinati all'alimentazione animale, un aumento del rischio di stress termico da caldo negli animali allevati nonché un aumento della diffusione di malattie, sia nel mondo animale sia in quello vegetale (Steinfeld et al., 2006).

Le condizioni meteorologiche e il clima influenzano fortemente il settore delle produzioni animali. Lo stress termico è particolarmente rilevante in quanto ha effetto sulla fisiologia e sullo stato metabolico dell'organismo (figura 1.1) e quindi sulla variazione del fabbisogno energetico con conseguenze sulle funzioni riproduttive, di accrescimento e della qualità e quantità delle produzioni (Hahn, 1999).



**Figura 1.1:** Rappresentazione schematica di interazioni stress ambientali-animali (Hahn, 1999).

Come è noto ed ampiamente documentato, negli animali allevati lo stress da caldo determina una significativa riduzione del consumo di alimento, dell'attività metabolica, delle produzioni, del tasso di concepimento e delle difese immunitarie e quindi una maggiore predisposizione alle malattie (Berry et al., 1964; Johnson, 1985; Bouraoui et al., 2002; Boyazoglu e Nardone, 2003 e Bohmanova et al., 2007). Inoltre, diversi studi hanno pure messo in evidenza significative variazioni di parametri biochimici indicatori del metabolismo energetico, proteico, minerale, ossidativo e della funzionalità epatica (Nardone et al., 1992; Nardone et al., 1994; Lacetera et al., 1995; Ronchi et al., 1995; Abeni et al., 2007; Calamari et al., 2007). Gli animali omeotermi, ai quali possono essere ricondotte tutte le principali specie animali di interesse zootecnico, sono in grado di mantenere costante il bilancio calore prodotto-calore assorbito/calore ceduto attraverso meccanismi di termoregolazione (conduzione, irraggiamento, convezione ed evaporazione). Per lo svolgimento corretto delle proprie funzioni organiche di base, gli animali necessitano di stabilità termica, che, in condizioni normali, o in presenza di variazioni climatiche lievi, viene mantenuta senza un utilizzo eccessivo dei sistemi di termoregolazione. La produzione di calore è costante se la temperatura esterna si mantiene in un range definito, che si diversifica per le varie specie animali, detto zona di comfort termico o zona di neutralità termica (figura 1.2). Per le bovine da latte in lattazione la neutralità termica, nella quale si impegna la minor quantità di energia per la termoregolazione e si hanno il massimo delle prestazioni, è compresa tra 0°C e 24°C, per le vacche in asciutta da -5°C a 21°C, con una temperatura ideale tra 5°C e 15°C (West, 2003).



**Figura 1.2:** Rappresentazione schematica del range di neutralità termica (modificata da Bianca, 1976).

All'interno di questa zona esiste la zona di indifferenza termica in cui la produzione di calore è indipendente dalle condizioni microclimatiche e varia principalmente in relazione al livello nutritivo ed al peso dell'animale. All'esterno della zona di indifferenza termica, l'animale è costretto a consistenti modificazioni funzionali, strutturali e comportamentali per adattarsi alle avverse condizioni ambientali: in questo caso si dice che l'animale è in uno stato di stress termico. Se ci trova al di sotto o al di sopra di questa zona, la produzione di calore cambia e l'animale è soggetto ad una situazione di stress la cui gravità dipende in primo luogo dall'intensità e dalla durata di condizioni termiche sfavorevoli (Nienaber e Hahn, 2007). Nel dettaglio, per mantenere l'omeotermia, per valori di temperatura inferiori, l'animale è costretto ad aumentare la produzione di calore (ad esempio con brividi di freddo), mentre per valori di temperatura superiori, l'animale inizia a liberare acqua (attraverso la sudorazione e/o la respirazione) per impedire il rialzo della temperatura del corpo che è conseguenza del lavoro muscolare richiesto per l'incremento della frequenza respiratoria e di quella cardiaca. Si ha ipotermia quando la perdita di calore è superiore alla sua produzione, ipertermia in caso contrario: entrambe queste situazioni possono provocare la morte dell'animale (Bianca, 1976 e Yousef, 1985).

Temperature ambientali, umidità relativa ed energia radiante compromettono la capacità degli animali di dissipare il calore. L'influenza dell'ambiente termico sulla fisiologia animale, la salute e la produttività è stata oggetto di numerosi studi (Kibler, 1964; Mount, 1979; Robertshaw, 1985; Black et al., 1993) e, in linea generale per i bovini, e per la vacca da latte in particolare, si può ritenere maggiormente dannoso il caldo estivo piuttosto che il freddo invernale. Durante i mesi estivi, infatti, risulta difficile mantenere la temperatura percepita dagli animali su valori accettabili, è in questi mesi che vengono normalmente raggiunti valori di temperatura che superano la soglia massima di termoneutralità. In particolare le condizioni climatiche, e soprattutto quelle microclimatiche assumono, almeno nei nostri climi, un significato importante per la vacca da latte. Elevate umidità ambientali e la frequente impossibilità di recupero termico durante le ore notturne, in quanto spesso caratterizzate anch'esse da condizioni climatiche critiche, generano situazioni in cui il mantenimento della temperatura corporea, entro valori di normalità, richiede l'attivazione di meccanismi termoregolatori complessi e dispendiosi in termini di energia. Se i meccanismi di termoregolazione non risultano efficaci, la bovina può raggiungere una condizione di ipertermia, la quale, se non viene risolta in breve tempo, può essere critica per la sua sopravvivenza. Anche periodi prolungati di stress da caldo, anche non così intenso da mettere a rischio la vita della bovina, possono avere gravi ripercussioni sul benessere

dell'animale. Tra le prime manifestazioni di una situazione di disagio (oltre la presenza di sudorazione e un aumento della respirazione) vi è una diminuzione dell'attività motoria e una diminuzione dell'alimentazione. Infatti, per ridurre la produzione di calore la bovina diminuisce l'assunzione volontaria di cibo (a 30°C l'assunzione di sostanza secca risulta ridotta del 10% rispetto al normale, mentre a 32°C il calo è del 25% e a 40°C è addirittura del 93%) (McGuire et al., 1989), allo scopo di limitare il calore prodotto dalle fermentazioni ruminali e dal metabolismo, calo questo che determina riduzioni consistenti nella produzione media di latte ed un peggioramento significativo della qualità stessa del latte (contenuto di immunoglobuline, percentuali di grasso e proteine, composizione in acidi grassi e frazioni proteiche) (Lacetera et al., 2003). Nel dettaglio è stato osservato che l'esposizione a temperature atmosferiche elevate determina una significativa modifica della composizione del latte e del colostro (Nardone et al., 1992; Lacetera et al., 1995; Ronchi et al., 1995). Da una serie di studi eseguiti sia in cella climatizzata che in condizioni di campo risulterebbe che il calo della quantità di latte prodotto dovuto allo stress termico da caldo è compreso tra un minimo dell'8% ed un massimo del 25% in funzione della fase della lattazione e dell'intensità e della durata dell'esposizione al caldo (Bernabucci e Calamari, 1998). Inoltre, il latte prodotto in ambiente caldo presenta valori più alti del pH e più bassi dell'acidità titolabile del latte, un peggioramento degli indici reologici consistente in maggiore durata della fase enzimatica, riduzione della velocità di coagulazione e minore consistenza del coagulo (Nardone et al., 1994; Calamari e Mariani, 1998) Sono riscontrabili valori superiori della capacità di affioramento e dell'affioramento naturale (Ronchi et al., 1995), contenuti più bassi di sodio e potassio ed un valore del punto crioscopico più elevato (maggiore di  $-0,520^{\circ}\text{C}$ ) (Bernabucci et al., 1999). Alcuni studi hanno verificato cali significativi e costanti delle percentuali di proteine di lattosio e di grasso (Nardone et al., 1992; Bernabucci e Calamari, 1998, Calamari e Mariani, 1998). Ronchi et al., (1995) hanno riscontrato variazioni significative della composizione acidica del grasso del latte, consistenti in aumento della percentuale degli acidi grassi a catena lunga e diminuzione di quella degli acidi grassi a catena corta e media sintetizzati nella mammella e dipendenti da una ridotta sintesi e successiva ridotta eliminazione con il latte di acidi grassi di origine mammaria e non imputabile, come ritenuto in passato, ad una maggiore incorporazione nel latte di acidi grassi a catena lunga di provenienza ematica. L'analisi delle frazioni proteiche del latte bovino prodotto durante l'estate ha consentito di evidenziare che le condizioni di caldo ambientale determinano un calo sia delle frazioni sieroproteiche che di quelle caseiniche. Tutte o gran parte delle alterazioni qualitative sopra riportate contribuirebbero in

maniera significativa a determinare il peggioramento della qualità tecnologica del latte prodotto nel nostro paese durante la stagione estiva (Mariani et al., 1995).

Negli allevamenti di vacche da latte il clima estivo comporta di conseguenza ogni anno danni economici rilevanti dovuti sia al peggioramento delle prestazioni produttive e riproduttive delle bovine, specie di quelle ad alta produzione, sia alla mortalità delle bovine stesse. Dal punto di vista riproduttivo l'impatto maggiore si registra nella drastica riduzione del tasso di concepimento (Johnson, 1987). Oltre che alla riduzione della fertilità e al conseguente aumento del periodo di interparto, le alte temperature possono influenzare la crescita e lo sviluppo del feto (Collier et al., 1982) e si evidenziano con maggiore frequenza problemi di mortalità embrionale e di parti molto difficoltosi (Putney et al., 1989). La mortalità dei bovini risulta oggetto d'indagine per l'importanza economica che questa riveste.

#### 1.1.1 Sviluppo di indici di benessere e studi esistenti

Lo stress da caldo è causato da una combinazione di fattori ambientali quali la temperatura, l'umidità, la radiazione solare, le precipitazioni e il movimento dell'aria. Nel contesto biologico, la temperatura dell'aria è sicuramente considerata come il parametro principale nel determinare lo stress da caldo. Tuttavia, anche un alto tasso di umidità o le radiazioni solari peggiorano l'effetto di una temperatura elevata (Bianca, 1976). Un alto valore di umidità riduce infatti le perdite di calore attraverso l'evaporazione mentre la radiazione solare aggiunge calore ai processi metabolici, calore che deve essere dissipato per mantenere il corpo alla temperatura normale.

Gli indici di benessere sono stati sviluppati per caratterizzare e quantificare in modo adeguato la zona di comfort termico per distinte specie animali. L'indice è rappresentato da una funzione che correla le variabili che esprimono le condizioni ambientali in un dato momento. Gli indici di benessere possono essere classificati in:

- indici biofisici, basati sugli scambi termici tra il corpo dell'animale e l'ambiente;
- indici fisiologici, basati sulle risposte fisiologiche dell'animale comparate inizialmente con conoscenze ideali delle condizioni ambientali;
- indici soggettivi, basati su specifici e soggettivi dati sperimentali.

Vari indici derivati da misure meteorologiche sono stati sviluppati, nel tempo, per valutare il microclima degli animali nella stagione calda e per poter valutare il livello di stress. Alcuni

di questi indici sono: il Wind-Chill Index (Siple and Passel, 1945), il Temperature-Humidity Index (Thom, 1959), il Black Globe-Humidity Index (Buffington et al., 1981), l'Effective Temperature (Yamamoto, 1983), l'Environmental Stress Index (Moran et al., 2001) e l'Heat Load Index (Gaughan et al., 2008). Una rassegna completa sulla valutazione degli indici termici per il bestiame è stato presentato da Hahn et al. (2003). La maggior parte degli indici sviluppati nel settore animale riguardano la temperatura dell'aria e l'umidità relativa in quanto altre variabili non sono facilmente disponibili.

In particolare il Temperature-Humidity Index (THI), che combina insieme i valori di temperatura e umidità, è derivato dagli studi di Johnson e dei suoi collaboratori che nel 1965 adattarono il Discomfort Index (DI), sviluppato da Thom 1959 come indice per l'uomo, per valutare la produzione delle vacche da latte esposte a particolari condizioni ambientali e notarono come la produzione di latte decresceva al crescere del valore di tale indice. Un aumento della temperatura dell'aria, come quello previsto in diversi scenari di cambiamenti climatici, potrebbe influire sulle prestazioni degli animali influenzando direttamente i meccanismi termoregolatori dell'animale. Con l'aumento di temperatura, l'evaporazione diventa il sistema più importante di perdita di calore. In base a tale circostanza la combinazione di temperatura e umidità diventa rilevante in quanto l'umidità aumenta gli effetti della temperatura. La caratterizzazione di un'area geografica in termini di THI permette quindi una previsione più accurata degli effetti dello stress da caldo sugli animali allevati perché tiene conto del ruolo di umidità che interessa proprio le dinamiche fisiologiche relative alla perdita di calore per evaporazione. L'indice THI si è dimostrato di grande utilità proprio per lo studio degli effetti del caldo nella bovina da latte (Lacetera e Nardone, 1996). Lo stress da caldo non è una problematica solo per le aree a clima tropicale e subtropicale. Infatti, seppure per un periodo limitato dell'anno (circa un paio di mesi nel corso della stagione estiva), condizioni di stress da caldo possono esistere in aree geografiche a clima temperato e sono tali da influenzare in maniera significativa le produzioni animali nel loro complesso (Ronchi e Lacetera, 1997).

Precedenti studi, che hanno utilizzato il THI per una caratterizzare geografica, sono quelli di De la Casa e Ravelo (2003) per la regione di Córdoba, nel centro dell'Argentina, e di Somparn et al. (2004) per il nord-est della regione thailandese. Esistono molti studi che descrivono il bacino del Mediterraneo in termini di temperatura dell'aria e distribuzione delle precipitazioni (Brunetti et al., 2000; Klein Tank and Können 2003; Xoplaki et al.,

2004, 2005; Touchan et al., 2005; Scherrer et al., 2006; Pauling and Paeth 2007), mentre non sono stati condotti studi, prima di questo, utilizzando THI.

## 1.2 Eterogeneità climatica del Mediterraneo

Il Clima, secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), è l'insieme delle condizioni atmosferiche medie (temperatura, umidità, pressione, venti, etc.) che caratterizzano una determinata regione geografica ottenute da rilevazioni omogenee dei dati per lunghi periodi di tempo, e ne determinano la flora e la fauna, influenzando anche le attività economiche, le abitudini e la cultura delle popolazioni che vi abitano.

Il bacino del Mediterraneo comprende paesi di tre continenti: Europa, Asia e Africa. La regione mediterranea comprende al suo interno sei diverse categorie di zone climatiche così come sono state definite da Köppen nel 1936. La classificazione dei climi di Köppen prevede sei gruppi principali contraddistinti da lettere maiuscole:

- **A Climi tropicali umidi:** La temperatura media di tutti i mesi è superiore a 18 °C. Questi climi non hanno una stagione invernale. Le precipitazioni annue sono abbondanti e superano l'evaporazione annua. Occupano quasi tutte le aree emerse comprese tra i 15° - 20° di latitudine N e i 15° - 20° di latitudine S. Il sole è alto nel cielo ogni giorno dell'anno e anche la lunghezza delle giornate non varia in modo significativo da una stagione all'altra;
- **B Climi aridi:** Sono gli unici ad essere determinati, oltre che dalle temperature, anche dai valori di precipitazione. L'evaporazione potenziale supera in media le precipitazioni nel corso di tutto l'anno. Non c'è eccedenza idrica, per cui nelle zone dei climi B non prendono origine corsi d'acqua a carattere permanente. Si estendono su circa il 30% delle terre emerse, un'area più vasta di quelle delle altre zone climatiche. Sono generalmente il risultato della mancanza di sollevamento d'aria piuttosto che dell'assenza d'acqua. Le maggiori estensioni aride si trovano alle latitudini subtropicali;
- **C Climi temperati delle medie latitudini:** Il mese più freddo ha una temperatura media inferiore a 18 °C ma superiore a -3 °C; almeno un mese ha una temperatura media superiore a 10 °C. Pertanto i climi C hanno sia una stagione estiva che una invernale;
- **D Climi freddi delle medie latitudini:** Il mese più freddo ha una temperatura inferiore a -3 °C. La temperatura media del mese più caldo è superiore a 10 °C; la corrispondente isoterma coincide approssimativamente con il limite polare della foresta;

- **E Climi polari:** La temperatura media del mese più caldo è inferiore a 10 °C. Questi climi non hanno una vera estate;
- **H Climi di altitudine:** Generalmente più freddi e più piovosi in funzione dell'altitudine.

I gruppi *A*, *C* e *D* hanno calore e precipitazioni sufficienti da permettere la crescita di alberi d'alto fusto (vegetazione forestale e boschiva).

I sottogruppi sono contrassegnati da una seconda lettera, in base al codice:

- **S** (Steppenklima - clima della steppa): È un clima semiarido, con circa 380-760 mm di precipitazione annue alle basse latitudini. I limiti esatti della piovosità sono determinati da una formula che tiene conto della temperatura (soltanto ai climi aridi *B*);
- **W** (Wüstenklima - clima desertico): È un clima arido. La maggior parte delle regioni che vi sono comprese ha meno di 250 mm di piovosità annua. Il limite esatto rispetto al clima della steppa è determinato per mezzo di una formula (soltanto ai climi aridi *B*);
- **f** (feucht - umido): Precipitazioni abbondanti in tutti i mesi. Manca una stagione asciutta (questo termine di modificazione si applica ai gruppi *A*, *C* e *D*);
- **w**: Stagione asciutta nell'inverno del rispettivo emisfero (stagione a sole basso);
- **s** (sommertrocken) Stagione asciutta nell'estate del rispettivo emisfero (stagione a sole alto);
- **m**: Clima della foresta pluviale, eccettuata una breve stagione asciutta nel regime delle precipitazioni di tipo monsonico (soltanto per i climi *A*);

Dalle combinazioni dei due gruppi di lettere risultano:

**Af**: Clima tropicale della foresta pluviale. Caratterizzato da piogge abbondanti ogni mese (sempre superiori ai 60 mm). Rientrano in questa categoria il clima equatoriale ed il clima costiero degli Alisei.

**Am**: Clima tropicale monsonico, con una stagione asciutta ben definita e una stagione umida molto piovosa.

**Aw**: Clima tropicale della savana, con una stagione arida più lunga e una stagione delle piogge ben definita. Caratterizza alcune regioni poste fra le fasce desertiche tropicali e l'equatore.

**BS**: Clima della steppa.

**BW**: Clima desertico.

**Cw**: Clima temperato umido con inverno asciutto.

**Cf**: Clima temperato umido in tutte le stagioni.

**Cs**: Clima temperato umido con estate asciutta.

**Df**: Clima boreale delle foreste, umido in tutte le stagioni.

**ET**: Clima della tundra.

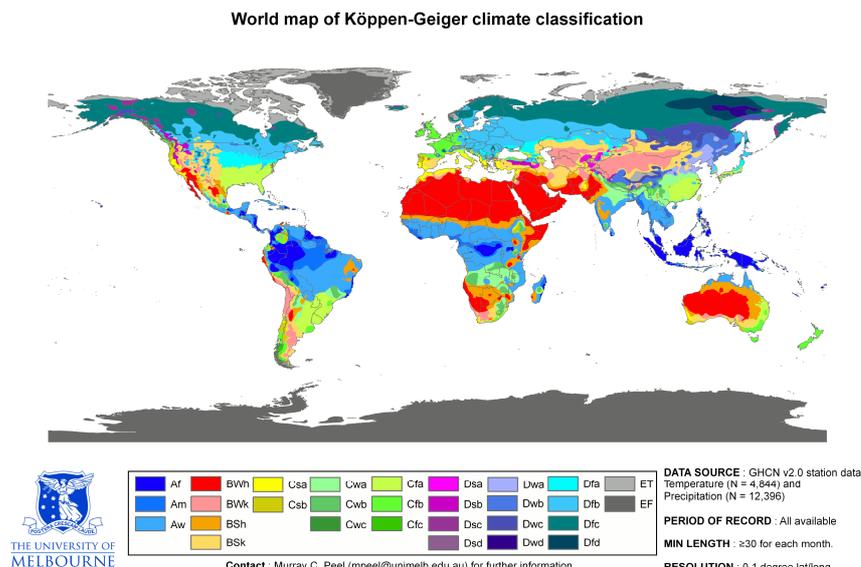
**EF**: Climi del gelo perenne (calotte glaciali).

Inoltre, per differenziare ancora di più le variazioni di temperatura o di altri elementi, Köppen aggiunse una terza lettera al codice, con il seguente significato:

- **a**: Con estate molto calda; il mese più caldo è superiore a 22 °C (climi *C* e *D*);
- **b**: Con estate calda; il mese più caldo è inferiore a 22 °C (climi *C* e *D*);
- **c**: Con estate fresca e breve; meno di 4 mesi al di sopra di 10 °C (climi *C* e *D*);
- **d**: Con inverno molto freddo; il mese più freddo inferiore a -38 °C (soltanto i climi *D*);
- **h** (heiß - caldo-asciutto): temperatura media annua al di sopra di 18 °C (soltanto i climi *B*)<sup>1</sup>;
- **k** (kalt - freddo-asciutto): temperatura media annua al di sotto di 18 °C (soltanto i climi *B*).

La figura 1.3 riporta la classificazione climatica nelle varie parti del mondo.

Le zone climatiche che interessano il bacino del Mediterraneo sono: il *Csa* e il *Csb* (clima temperato con stagione estiva asciutta calda o molto calda), il *Cfa* e il *Cfb* (clima temperato piovoso in tutte le stagioni con estate calda o molto calda), il *Dfb* (clima freddo nivale a foresta, umido in tutte le stagioni con estate calda), il *BWh* (clima desertico caldo) e il *BSk* (clima della steppa freddo).



**Figura1.3:** Classificazione dei climi di Köppen (1936).

<sup>1</sup> Un esempio di questa combinazione è il clima desertico caldo **BWh**: Comprende il clima dei deserti tropicali, che corrispondono alle celle di alte pressioni continentali che sovrastano gran parte delle terre emerse tra i 15° e i 35° di latitudine. Fra esse vi sono i vasti deserti boreali (Sahara, Arabico-siriano, dell'Iran orientale e del Thar, come anche il deserto di Sonora nordamericano); nell'emisfero australe, deserti di questo tipo sono il Kalahari e il grande deserto interno dell'Australia.

Con una tale diversità di climi e di tipologie di territorio, non ci si deve stupire se i parametri climatici nell'area mediterranea appaiano molto variabili nello spazio e nel tempo. Nel dettaglio, il bacino si trova in una posizione di transizione fra la zona temperata e quella tropicale e, di conseguenza, le regioni che gravitano intorno al bacino presentano un ritmo stagionale di clima caratterizzato da un inverno tipico della zona temperata e da un'estate tipica della zona tropicale. I caratteri essenziali sono la mitezza dell'inverno e la concentrazione delle precipitazioni, poco abbondanti, nei mesi più freddi, con estati calde e aride (clima subtropicale con estate asciutta). L'associazione di un'estate secca con un inverno piovoso rappresenta una vera e propria anomalia, ma le condizioni meteorologiche e climatiche di questa area sono caratterizzate dalla presenza del mare e dall'orografia che esercitano forti trasformazioni sulle masse d'aria in transito sulla regione. D'estate il Mediterraneo si trova sotto l'influenza delle masse d'aria tropicale (alte pressioni) che costringono le perturbazioni del fronte polare a seguire traiettorie più settentrionali (precipitazioni nella parte nord occidentale del bacino e nel Mar Nero). D'inverno, quando le masse d'aria tropicale si spostano verso le basse latitudini, il Mediterraneo è soggetto alle perturbazioni apportatrici di pioggia provenienti dall'Atlantico o che si formano sul bacino stesso, quando l'aria fredda polare viene a contatto con masse d'aria calda di questo mare subtropicale si generano i processi di ciclo genesi (Holton, 1977). Le perturbazioni si formano principalmente nel bacino occidentale e percorrono l'area mediterranea durante tutto il semestre freddo, ma solo nei tre mesi invernali raggiungono le coste del Nord Africa (Lionello et al., 2006). L'inverno è, quindi, ovunque molto mite e le temperature oscillano fra i 6°C a nord e 11-12°C nella parte meridionale, non escludendo irruzioni di aria fredda e abbassamento di temperatura. L'estate è molto calda in tutte le coste, con temperature medie mensili superiori a 22°C e massimi giornalieri superiori anche ai 40°C (Bolle, 2002).

Per quanto riguarda l'Italia, la penisola si trova al centro della zona temperata, ma le sue caratteristiche climatiche sono fortemente influenzate da una varietà di fattori idro-orografici quali l'azione mitigatrice del mar Mediterraneo, l'arco Alpino che forma una barriera contro i venti freddi provenienti dal Nord, la catena Appenninica che causa differenze climatiche tra i lati opposti della penisola (venti umidi provenienti dal Tirreno e venti secchi e freddi provenienti dall'Est Europa) e la scarsa profondità del mare adriatico che non è in grado di mitigare l'atmosfera.

### 1.2.1 Zootecnia Mediterranea e dati FAO

Il bacino del Mediterraneo mostra la sua eterogeneità non solo dal punto di vista geografico e geofisico, ma anche dal punto di vista socio-economico (dimensione della popolazione, consumi e abitudini alimentari, cultura e sviluppo tecnologico). Tutti questi aspetti contribuiscono a spiegare l'eterogeneità del settore zootecnico (Nardone 2000; Nardone et al., 2004), sia in termini di numero e tipo di capi allevati (tabella 1.1) che di produzione (tabella 1.2). Gli aspetti climatici influenzano fortemente le differenze tra i paesi mediterranei. I paesi del nord, che beneficiano di un clima più favorevole, hanno un maggior numero di bovini rispetto ai paesi del sud dove il clima è secco e la presenza di pascoli lo rende più adatto alla produzione ovina e caprina (de Rancourt e Mottet 2006).

**Tabella 1.1:** Numero di capi dei ruminanti nel bacino del Mediterraneo (anno 2008). Fonte: FAOSTAT 2010: (1) dati stimati e calcolati, (2) dati semi-ufficiali.

	<i>Bovini</i>	<i>Bufali</i>	<i>Pecore</i>	<i>Capre</i>	<i>Cammelli</i>
<b>Albania</b>	577,000 <sup>(1)</sup>	120 <sup>(1)</sup>	1,853,000 <sup>(1)</sup>	876,000 <sup>(1)</sup>	
<b>Bosnia ed Erzegovina</b>	459,218	13,000 <sup>(1)</sup>	1,030,510	70,392	
<b>Croazia</b>	467,077		645,992	91,902	
<b>Francia</b>	19,887,458		8,187,329	1,224,391	
<b>Grecia</b>	628,000 <sup>(2)</sup>	1,392 <sup>(1)</sup>	8,904,000 <sup>(2)</sup>	5,455,000 <sup>(2)</sup>	
<b>Italia</b>	6,283,000	294,000	8,237,000	920,000	
<b>Malta</b>	19,442		12,315	6,227	
<b>Montenegro</b>	109,300		222,200		
<b>Portogallo</b>	1,442,800		3,144,600	495,900	
<b>Serbia</b>	1,057,000		1,605,000	154,575	
<b>Slovenia</b>	479,851		131,180	28,228	
<b>Spagna</b>	6,020,200		19,952,300	2,959,300	
<b><i>Paesi europei</i></b>	<b>37,430,346</b>	<b>308,512</b>	<b>53,925,426</b>	<b>12,281,915</b>	<b>0</b>
<b>Cipro</b>	54,900 <sup>(1)</sup>		267,300	318,400	
<b>Israele</b>	416,000		430,000	90,000	5,300 <sup>(1)</sup>
<b>Giordania</b>	79,380	100 <sup>(1)</sup>	2,300,000 <sup>(1)</sup>	1,083,330	5,000 <sup>(1)</sup>
<b>Libano</b>	77,400 <sup>(1)</sup>		330,000 <sup>(1)</sup>	450,000 <sup>(1)</sup>	440 <sup>(1)</sup>
<b>Repubblica Araba di Siria</b>	1,168,330 <sup>(1)</sup>	5,200 <sup>(1)</sup>	22,865,400 <sup>(1)</sup>	1,561,260 <sup>(1)</sup>	24,500 <sup>(1)</sup>
<b>Turchia</b>	11,036,753	84,705	23,974,600	5,593,560	1,057
<b><i>Paesi asiatici</i></b>	<b>12,832,763</b>	<b>90,005</b>	<b>50,167,300</b>	<b>9,096,550</b>	<b>36,297</b>
<b>Algeria</b>	1,650,000 <sup>(1)</sup>		20,000,000 <sup>(1)</sup>	3,800,000 <sup>(1)</sup>	290,000 <sup>(1)</sup>
<b>Egitto</b>	5,023,162	3,560,000	4,672,000	4,237,270	107,372

<b>Repubblica di Libia</b>	130,000 <sup>(1)</sup>		4,500,000 <sup>(1)</sup>	1,265,000 <sup>(1)</sup>	47,000 <sup>(1)</sup>
<b>Marocco</b>	2,814,000		17,077,700	5,117,900	45,000 <sup>(1)</sup>
<b>Tunisia</b>	694,660		7,300,940	1,496,290	232,000 <sup>(1)</sup>
<b>Paesi africani</b>	<b>10,311,822</b>	<b>3,560,000</b>	<b>53,550,640</b>	<b>15,916,460</b>	<b>721,372</b>
<b>Regione Mediterranea</b>	<b>60,574,931</b>	<b>3,958,517</b>	<b>157,643,366</b>	<b>37,294,925</b>	<b>757,669</b>

**Tabella 1.2:** Produzione di carne e latte (espressa in tonnellate) dei ruminanti nei paesi del bacino del Mediterraneo (anno 2008). Fonte: FAOSTAT 2010: (1) dati stimati e calcolati, (2) dati semi-ufficiali.

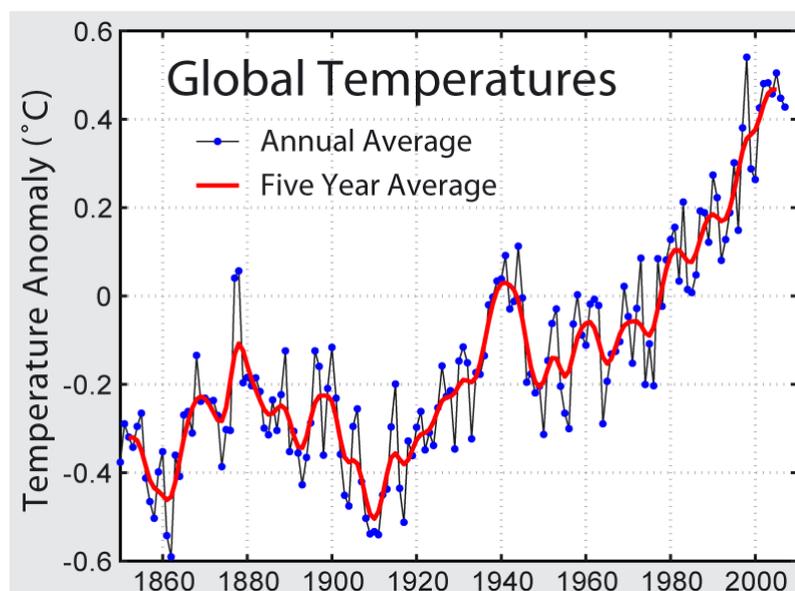
	<i>Carne</i>			<i>Latte</i>			
	<i>Bovini e Bufali</i> (t)	<i>Pecore e capre</i> (t)	<i>Cam-melli</i> (t)	<i>Bovini e Bufali</i> (t)	<i>Pecore</i> (t)	<i>Capre</i> (t)	<i>Cam-melli</i> (t)
<b>Albania</b>	49,775 <sup>(1)</sup>	22,000 <sup>(1)</sup>		890,010 <sup>(1)</sup>	75,000 <sup>(1)</sup>	73,000 <sup>(1)</sup>	
<b>Bosnia ed Erzegovina</b>	26,335	1,622		737,199	18,774		
<b>Croazia</b>	35,700 <sup>(2)</sup>	2,716 <sup>(1)</sup>		826,000	8,000	14,000	
<b>Francia</b>	1,479,300	97,400		24,516,320	247,190	572,600 <sup>(2)</sup>	
<b>Grecia</b>	68,115 <sup>(2)</sup>	146,000 <sup>(2)</sup>		800,110 <sup>(1)</sup>	785,000 <sup>(2)</sup>	505,000 <sup>(2)</sup>	
<b>Italia</b>	1,059,314	59,699		11,505,910	564,550	48,520	
<b>Malta</b>	1,479	140 <sup>(1)</sup>		39,910	2,020 <sup>(2)</sup>	1,428	
<b>Montenegro</b>	2,845 <sup>(1)</sup>	674		168,600 <sup>(1)</sup>	9,420 <sup>(1)</sup>		
<b>Portogallo</b>	108,540	25,889 <sup>(1)</sup>		1,961,000	92,000	28,310	
<b>Serbia</b>	99,000	23,000		1,580,000	14,400		
<b>Slovenia</b>	36,944	2,078 <sup>(1)</sup>		666,472	418	1,412	
<b>Spagna</b>	658,334	166,233		6,339,900	441,400	592,800	
<b>Paesi europei</b>	<b>3,625,681</b>	<b>547,451</b>	<b>0</b>	<b>50,031,431</b>	<b>2,258,172</b>	<b>1,837,070</b>	<b>0</b>
<b>Cipro</b>	4,248	7,208		151,400	15,670	23,665	
<b>Israele</b>	116,554	9,302 <sup>(1)</sup>	80 <sup>(1)</sup>	1,293,770	18,200	20,480	
<b>Giordania</b>	14,000 <sup>(1)</sup>	22,620 <sup>(1)</sup>	240 <sup>(1)</sup>	260,000 <sup>(1)</sup>	87,000 <sup>(1)</sup>	21,000 <sup>(1)</sup>	
<b>Libano</b>	46,530 <sup>(1)</sup>	12,139 <sup>(1)</sup>		183,600 <sup>(1)</sup>	24,700 <sup>(1)</sup>	34,000 <sup>(1)</sup>	
<b>Repubblica Araba di Siria</b>	65,783 <sup>(1)</sup>	212,995 <sup>(1)</sup>	333 <sup>(1)</sup>	1,707,460 <sup>(1)</sup>	873,673 <sup>(1)</sup>	96,967 <sup>(1)</sup>	
<b>Turchia</b>	371,953	317,000 <sup>(1)</sup>	14	11,286,622	746,872	209,570	
<b>Paesi asiatici</b>	<b>619,068</b>	<b>581,264</b>	<b>667</b>	<b>14,882,852</b>	<b>1,766,115</b>	<b>405,682</b>	<b>0</b>
<b>Algeria</b>	123,000 <sup>(1)</sup>	201,000 <sup>(1)</sup>	3,850 <sup>(1)</sup>	1,500,000 <sup>(1)</sup>	220,000 <sup>(1)</sup>	230,000 <sup>(1)</sup>	12,500 <sup>(1)</sup>
<b>Egitto</b>	590,000 <sup>(1)</sup>	60,500 <sup>(1)</sup>	34,900 <sup>(1)</sup>	5,852,002	93,000 <sup>(1)</sup>	15,100 <sup>(1)</sup>	
<b>Repubblica di Libia</b>	6,300 <sup>(1)</sup>	34,000 <sup>(1)</sup>	3,700 <sup>(1)</sup>	130,000 <sup>(1)</sup>	56,000 <sup>(1)</sup>	15,400 <sup>(1)</sup>	2,000 <sup>(1)</sup>
<b>Marocco</b>	172,000	142,000	2,200 <sup>(1)</sup>	1,700,000	27,000 <sup>(1)</sup>	34,000 <sup>(1)</sup>	3,800 <sup>(1)</sup>

<b>Tunisia</b>	53,000	62,700	1,400 <sup>(1)</sup>	1,046,000	18,500 <sup>(1)</sup>	13,200 <sup>(1)</sup>	1,000 <sup>(1)</sup>
<i>Paesi africani</i>	<i>944,300</i>	<i>500,200</i>	<i>46,050</i>	<i>10,228,002</i>	<i>414,500</i>	<i>307,700</i>	<i>19,300</i>
<b>Regione mediterranea</b>	<b>5,189,049</b>	<b>1,628,915</b>	<b>46,717</b>	<b>75,142,285</b>	<b>4,438,787</b>	<b>2,550,452</b>	<b>19,300</b>

### 1.3 Il cambiamento climatico

Il cambiamento climatico può essere definito come una variazione statisticamente significativa dello stato medio del clima o della sua variabilità, persistente per un periodo esteso (tipicamente si parla come minimo di decenni). Quindi, un cambiamento climatico implica una variazione delle proprietà statistiche non associabile ad un singolo evento.

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) produce periodicamente rapporti sulla situazione del clima sul nostro Pianeta e, secondo gli esperti negli ultimi 50 anni, la temperatura è salita di 0.76 °C (figura 1.4) aumento che, nell'emisfero settentrionale, è stato il più alto dell'ultimo millennio. La concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera è aumentata del 31% dal 1750, con un tasso di crescita negli ultimi venti anni di circa 1.5 ppm (0.4%) all'anno, passando durante gli anni '90 dallo 0.9 a 2.8 ppm. La superficie innevata della terra è diminuita di circa il 10% dalla fine degli anni '60 e si è registrato un notevole restringimento dei ghiacciai nelle regioni non polari. Inoltre si è registrato un aumento, compreso tra 0.1 e 0.2 metri, del livello medio del mare durante il ventesimo secolo. La maggior parte di questi fenomeni è dovuta all'incremento della concentrazione di green house gases (GHG) e alle emissioni di CO<sub>2</sub> che caratterizzano il ventunesimo secolo.



**Figura 1.4:** Andamento della temperatura del precedente millennio (IPCC, 2007).

Nei prossimi 20 anni, gli scenari mostrano delle proiezioni di un riscaldamento di circa 0.2°C per decade. Gli impatti del cambiamento climatico su ambiente umano e naturale fanno ritenere che nel 2050 la disponibilità di acqua aumenterà dal 10% al 40% alle alte latitudini, mentre diminuirà in media del 20% nelle regioni a basse latitudini e ai tropici, andando a colpire la produzione agricola locale. Le zone colpite da siccità aumenteranno in estensione, e si stima che circa il 20-30% delle specie animali e piante saranno a rischio. In altre zone del mondo, soggette a cicli naturali di piovosità, le precipitazioni abbondanti e frequenti aumenteranno il rischio di allagamenti. Le coste, inoltre, saranno le zone che risentiranno maggiormente dei cambiamenti del clima (soprattutto i delta dei grandi fiumi asiatici e africani) ed entro il 2080 diversi milioni di persone dovranno lasciare la propria regione per inondazioni causate dall'innalzamento del livello del mare. Il cambiamento climatico avrà poi un forte impatto anche sulla salute umana causando malnutrizione, mortalità (dovute ad ondate di calore, inondazioni, cicloni, incendi e siccità) e malattie cardio-respiratorie legate ad una concentrazione molto alta di ozono nell'aria (IPCC, 2007).

Le condizioni meteorologiche e il clima influenzano fortemente il settore delle produzioni animali ma, nella ricerca, il problema delle interazioni tra cambiamenti climatici e settore zootecnico è relativamente trascurato. Riguardo agli impatti del cambiamento climatico su ambiente umano e naturale allo stato attuale, i dati osservativi su tutti i continenti e sulla maggior parte degli oceani, mostrano che molti sistemi naturali risentono gravemente dei cambiamenti climatici in corso e, in particolar modo, dell'aumento delle temperature (Ragab e Prudhomme, 2002).

Per il bacino del Mediterraneo, si stima che entro la fine del secolo, l'aumento della temperatura sarà tra i 2 e 6.5°C (IPCC 2007). Per proiezioni climatiche in Europa e nel Mediterraneo esiste un'ampia letteratura. A tale riguardo è possibile citare Beniston et al. (2007), che hanno analizzato le temperature estreme, ed in particolare le ondate di calore in numero, lunghezza e temperatura massima; Diffenbaugh et al. (2007) i quali hanno definito un indice (Heat Index) che combina temperatura e umidità relativa per valutare la probabilità del superamento di un valore soglia e quindi una situazione d'allarme nel clima futuro; Christensen e Christensen (2004) che hanno analizzato le precipitazioni estive concludendo che una riduzione della precipitazione media può essere compatibile con un aumento degli eventi estremi di precipitazione e Lehner et al. (2006), che hanno analizzato il

rischio sia di siccità che di inondazioni, ottenendo una riduzione di entrambi i fenomeni in molte aree d'Europa (modelli globali HadCM3 e ECHAM4).

Occorre considerare inoltre, che il cambiamento climatico atteso porterà un peggioramento agli attuali problemi di desertificazione, di scarsità d'acqua, di foraggio e di produzione delle colture, e introdurrà anche nuove minacce per la salute umana e animale. Gli impatti più gravi saranno osservati in Nord Africa e paesi del Mediterraneo orientale. In queste aree, la maggior parte dei pascoli potrebbero cedere il passo al deserto entro il 2050 spostando i loro confini sempre più a nord (Ragab e Prudhomme, 2002).

### 1.3.1 Scenari di emissione

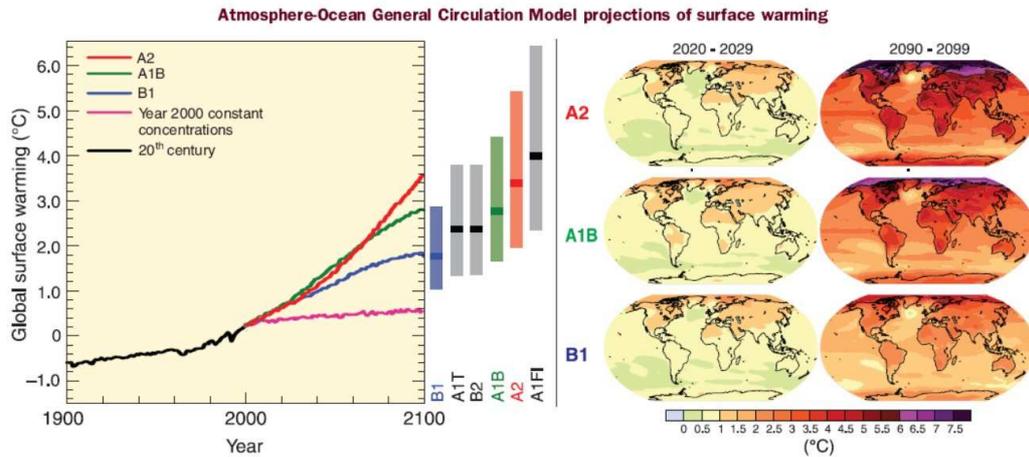
Gli scenari di emissione sono una descrizione plausibile dello sviluppo futuro delle emissioni di sostanze attive radiativamente (GHG e aerosol), basata su un insieme coerente ed internamente consistente di assunzioni sulle forze (soprattutto economiche) che lo guidano come i tassi di sviluppo tecnologico, l'andamento dei mercati, lo sviluppo demografico, etc.

Il sistema clima è particolarmente complesso e i modelli che lo descrivono cercano di valutarne le tendenze future ed è per questo che nella climatologia si parla di proiezioni e non di previsioni, come avviene invece nella meteorologia.

L'IPCC utilizza scenari di emissioni con diverse concentrazioni di gas serra per valutare quale può essere il loro impatto sul nostro sistema clima (in figura 1.5). Gli Scenari di Emissione dell'IPCC, SRES (Special Report on Emission Scenarios), sono suddivisi in quattro famiglie e dovrebbero essere considerati tutti ugualmente plausibili:

- A1. La famiglia di scenari A1 descrive un mondo futuro caratterizzato da una crescita economica molto rapida, con la popolazione globale che raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, e con una rapida introduzione di tecnologie nuove e più efficienti. I temi dominanti sono le convergenze regionali, il potenziamento delle capacità e l'aumento delle interazioni culturali e sociali, con una sostanziale diminuzione delle differenze regionali di reddito pro-capite. La famiglia di scenari A1 si sviluppa in tre gruppi che descrivono direzioni alternative dei cambiamenti tecnologici del sistema energetico. I tre gruppi si distinguono dalla loro enfasi tecnologica in: fossile intensivo (A1FI), fonti di energia non fossile (A1T) o

un bilancio fra tutte le fonti (A1B) (dove per bilancio si intende una non eccessiva dipendenza da nessun tipo particolare di fonte energetica);



**Figura 1.5:** Proiezioni di riscaldamento globale in base ai diversi scenari di emissione (IPCC, 2007).

- A2. La famiglia di scenari A2 descrive un mondo molto eterogeneo. Il tema dominante è l'auto-sufficienza e la preservazione delle identità locali, con un conseguente continuo aumento della popolazione. Lo sviluppo economico è essenzialmente orientato su base regionale e la crescita economica pro-capite e i cambiamenti tecnologici sono molto frammentati e più lenti rispetto alle altre famiglie.
- B1. La famiglia di scenari B1 descrive un mondo convergente con la stessa popolazione globale che, come per la famiglia A1, raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, ma con un rapido cambio delle strutture economiche verso un'economia dell'informazione e dei servizi, con una riduzione dell'intensità dei materiali e l'introduzione di tecnologie pulite che sfruttano le risorse in modo efficiente. Viene data molta importanza alle soluzioni globali per l'economia, alla sostenibilità sociale ed ambientale, ma senza ulteriori iniziative climatiche.
- B2. La famiglia di scenari B2 descrive un mondo in cui si dà importanza alle soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale ed ambientale. È un mondo in cui la popolazione globale cresce continuamente, ad un tasso minore della famiglia A2, con livelli intermedi di sviluppo economico e cambiamenti tecnologici meno rapidi e più diversificati rispetto a quelli delle famiglie B1 e A1.

Gli scenari SRES non includono ulteriori iniziative climatiche, il che significa che nessuno scenario include gli effetti dell'implementazione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite per i Cambiamenti Climatici (UNFCCC) o degli obiettivi di emissione del Protocollo di Kyoto<sup>2</sup>.

Le valutazioni degli scenari di cambiamento climatico e di conseguenze dei cambiamenti climatici nell'area mediterranea sono affidabili ma affette da errori dei quali bisogna tener conto. Gli errori dipendono sia dai modelli e dalle metodologie utilizzate, sia dagli scenari di evoluzione dello sviluppo socio-economico e delle emissioni antropiche di gas di serra. Lo scenario A1B è uno scenario intermedio di emissione (con 700 ppm) e preso in considerazione in molti studi in quanto il bilancio fra tutte le fonti energetiche viene visto, ad oggi, maggiormente plausibile. Secondo questo scenario, il Mediterraneo dovrebbe vedere un calo nelle precipitazioni sia nella stagione invernale che in quella estiva. Questo ha portato molti ricercatori a considerare l'area del Mediterraneo come molto sensibile (è in uso il termine *hot-spot*) ai cambiamenti climatici.

#### 1.4 Obiettivi della ricerca<sup>3</sup>

Lo scopo principale del lavoro svolto è la caratterizzazione dell'area del Mediterraneo in termini di THI.

L'analisi svolta può essere sintetizzata come segue:

- analisi retrospettiva in termini di THI del bacino del Mediterraneo e della penisola Italiana;
- analisi retrospettiva delle variazioni stagionali della mortalità e delle relazioni tra THI e mortalità nella bovina da latte;

---

<sup>2</sup> Il protocollo di Kyoto è un accordo stilato nel 1997 tra 37 paesi industrializzati più l'Unione Europea, con il fine di adottare una strategia globale per contenere il surriscaldamento del Pianeta. La stesura definitiva è stata formulata nel 2001 in Marocco, e il protocollo è entrato in vigore nel febbraio 2005. L'obiettivo è di ridurre le emissioni di gas serra, responsabili del riscaldamento globale, almeno del 5% nel periodo 2008-2012 rispetto ai livelli del 1990.

<sup>3</sup> Con riferimento agli obiettivi e a quanto pure riportato nella sezioni che seguono, si ritiene utile segnalare che al momento risulta in corso di pubblicazione il capitolo di un libro (RACCM) che riprende e integra molto di quanto riportato nel presente lavoro di tesi e che si allega sotto forma di allegato numero 5. Si ritiene pure utile segnalare che parte del lavoro svolto può pure essere ritrovato all'interno del "Libro bianco" del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, (capitolo 2 - disponibile in [www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5800](http://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5800)).

- caratterizzazione in termini di THI del bacino del Mediterraneo per il periodo 2011-2050.

Sulla base delle ricerche effettuate, e tenuto conto delle attuali conoscenze sull'interazione animale-ambiente in condizioni di clima caldo, si è cercato di caratterizzare il bacino del Mediterraneo in termini di THI con lo scopo principale di individuare ed analizzare situazioni di criticità temporali e spaziali avvenute nel passato e previste per il prossimo futuro.

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Il Temperature-Humidity Index (THI)

Come già riportato in precedenza, tutto il lavoro di ricerca svolto è stato imperniato sul Temperature Humidity Index (THI), sia per quanto riguarda la caratterizzazione dell'area di studio sia per quanto attiene allo studio delle relazioni tra ambiente termico e parametri di interesse per gli animali di allevamento.

La formula utilizzata per il calcolo del THI è riportata di seguito (National Oceanic and Atmospheric Administration, 1976):

$$\text{THI} = Ta - [0.55 - 0.55 * (RH)] * (Ta - 58)$$

dove  $Ta$  è la temperatura ambiente in °F<sup>4</sup>, e  $RH$  è l'umidità relativa espressa come frazione di unità. L'indice THI, così definito, consente quindi di riassumere temperatura ed umidità relativa in un unico valore.

### 2.2 Studio retrospettivo<sup>5</sup>

Lo studio retrospettivo di caratterizzazione in termini di THI, prima del bacino del Mediterraneo e poi della penisola italiana, è stato effettuato utilizzando i dati climatici di rianalisi (medie mensili di temperatura e umidità relativa) del National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR) Reanalysis Project - NOAA/ESRL Physical Sciences Division forniti da NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, e disponibili al sito web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Il Reanalysis Project NCEP-NCAR è un progetto congiunto tra questi due centri di ricerca al fine di produrre un dataset consistente nel tempo, con una copertura temporale a partire dal 01/01/1948 fino ad oggi, su una griglia globale (mare e terra) di copertura spaziale di 2.5° di latitudine e 2.5° di longitudine (Kalnay et al. 1996).

---

<sup>4</sup>  $(1.8 \cdot Ta + 32)$  è il fattore di conversione se  $Ta$  è espressa in °C.

<sup>5</sup> Tutto ciò che attiene a questo studio è stato oggetto della pubblicazione di cui all'allegato 2 al quale si rimanda per un esame di dettaglio.

### 2.2.1 Il bacino del Mediterraneo: caratterizzazione in termini di THI

L'area del bacino alla quale ci si è riferiti è delimitata in longitudine da 10° W-40° E, e in latitudine da 28° N-48° N come da Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Area del bacino del Mediterraneo in studio delimitata in longitudine da 10° W-40° E, e in latitudine da 28° N-48° N.

Per la caratterizzazione dell'area in studio, i dati medi mensili sono stati aggregati in tre trentenni di riferimento: 1951-1980, 1961-1990 e 1971-2000. Il trentennio 1961-1990 è, in questa analisi retrospettiva, il trentennio di riferimento denominato CliNo (dall'espressione inglese *Climate Normals*)<sup>6</sup>.

Per lo studio stagionale ci si è riferiti all'inverno considerando i mesi di dicembre, gennaio e febbraio (DGF); alla primavera considerando i mesi di marzo, aprile e maggio (MAM); all'estate considerando i mesi di giugno, luglio e agosto (GLA) e all'autunno considerando i mesi di settembre, ottobre e novembre (SON).

La variabilità del THI nel periodo considerato è stata valutata comparando i valori medi, annuali e stagionali, del THI tra il CliNo e i due periodi trentennali 1951-1981 e 1971-2000, con l'ausilio di mappe di anomalia.

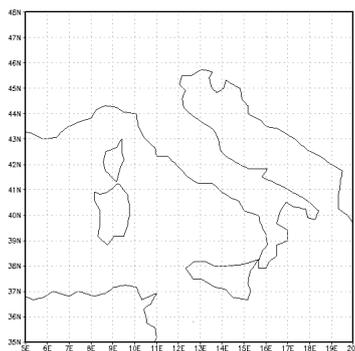
Nello studio retrospettivo sono state analizzate inoltre le anomalie del THI rispetto al CliNo considerando la decade 1998-2007 al fine di valutare eventi estremi verificatisi nell'area in studio (come la calda estate del 2003) ed ampiamente documentati (Xoplaki et al., 2005; Goubanova and Li 2006; Luterbacher et al., 2007).

---

<sup>6</sup> Il *Climate Normal* è l'elaborazione statistica su base trentennale per le variabili meteorologiche monitorate dalle stazioni al suolo scelto dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO).

## 2.2.2 La penisola italiana: caratterizzazione in termini di THI

Lo studio retrospettivo che ha interessato la penisola italiana (area in studio delimitata in longitudine da 10° W – 40° E e in latitudine da 28° N – 48° N come da Figura 2.2) in termini di THI è relativo al periodo 2002-2007.



**Figura 2.2:** Risoluzione orizzontale: 2.5° x 2.5°. Penisola italiana, area in studio delimitata in longitudine 5°E – 20°E, e in latitudine 36°N – 48°N.

I dati mensili del periodo 2002-2007 sono stati aggregati tra loro per caratterizzare la penisola italiana in termini di THI. Successivamente è stata valutata l'anomalia mensile e stagionale per ogni singolo anno rispetto all'intero periodo 2002-2007. La stagione estiva considerata in questa parte di studio comprende i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre (GLAS).

## 2.3 Studio sulla mortalità<sup>7</sup>

Lo studio retrospettivo sulla mortalità ha voluto analizzare gli effetti delle condizioni di clima caldo sulle bovine allevate per la produzione di latte. I dati di mortalità fanno riferimento al periodo 2002-2007 e sono parte del database afferente al Centro di Referenza Nazionale per le Encefalopatie Animali (CEA) che coordina le attività di sorveglianza, attiva e passiva, nei confronti della encefalopatia spongiforme bovina (BSE) per tutto il

---

<sup>7</sup> Tutto ciò che attiene a questo studio è stato oggetto della pubblicazione di cui all'allegato 1 al quale si rimanda per un esame di dettaglio.

territorio nazionale. I dati di mortalità fanno riferimento agli animali di età superiore ai 24-30 mesi morti in stalla o macellati d'urgenza nel periodo 1 gennaio 2002 - 31 dicembre 2007 e sottoposti a prelievo del tronco encefalico. Ai fini delle elaborazioni, la data del prelievo è stata considerata come la data di morte.

In prima analisi si sono acquisiti tutti i dati necessari allo studio. In particolare:

- i dati meteo-climatici di temperatura dell'aria ed umidità relativa delle stazioni meteorologiche sull'intero territorio nazionale sono stati acquisiti tramite enti quali Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) e le varie Agenzie ambientali della Regione (ARPA);
- i dati sulla mortalità dei bovini da latte sono stati acquisiti con la collaborazione dell'Istituto Zooprofilattico Sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna (IZSLER);
- i dati sulle aziende zootecniche (indirizzo e consistenza degli allevamenti sottoposti a controlli funzionali) sono stati resi disponibili dall'AIA (Associazione Italiana Allevatori);
- i dati di georeferenziazione degli allevamenti sono stati acquisiti tramite la Società DATA 4;
- i dati sulle consistenze annuali (2002 – 2007) delle bovine da latte con età superiore ai 24 mesi sono stati acquisiti dai database ISTAT.

Con i dati a disposizione sono state calcolate le distanze tra gli allevamenti georeferenziati e le stazioni meteorologiche. Ogni allevamento è stato associato alla stazione meteorologica più vicina, ponendo come limite massimo 30 km, distanza oltre la quale si è ritenuto potesse diminuire, oltre limiti accettabili, la probabilità che il dato meteorologico registrato nella stazione meteo fosse effettivamente rappresentativo delle condizioni climatiche dell'azienda. Le distanze calcolate hanno dato come risultato  $8.85 \pm 5.23$  km. E' stato realizzato infine un database in cui ad ogni evento di mortalità, è stato possibile associare il valore di THI registrato nella stazione meteorologica più vicina.

Il database riporta gli identificativi dell'azienda (codice ASL, codice AUA provinciale e il codice AUA), dell'animale (data di nascita, data di morte, età in giorni, mesi e anni), della stazione meteorologica (codice stazione, provincia, localizzazione geografica, distanza in km dall'azienda) ed il valore del THI giornaliero. Un esempio del database realizzato viene mostrato in figura 2.3. Un'analisi qualitativa del database ha evidenziato che il 98% degli

eventi riportati sono animali morti in azienda e solo il 2% morte al macello. Nello studio non viene fatta una distinzione sul tipo di decesso.

Il database realizzato ci ha consentito di analizzare l'intero territorio nazionale italiano rispetto alla distribuzione degli eventi di mortalità in relazione al THI nello spazio (regioni di maggior interesse) e nel tempo (mesi di maggior interesse).

Mortalità 2002			
codice ASL	codice AIA	codice AUA	codice AUA Provincia
047BZ131	00013882	17	1779115

Mortalità 2002						
data nascita	data decesso	mese decesso	giorno decesso	anni (giorni)	anni (mesi)	anni (anni)
07/12/1995	25/01/2002	Gennaio	Venerdì	2241	73.5	6.1

Mortalità 2002						
regione	codice Provincia	latitudine	longitudine	stazione	distanza (Km)	THI giornaliero
Trentino Alto Adige	BZ	46.70	11.93	BL004	18.10	42

**Figure 2.3:** Un esempio del database realizzato per un evento di morte dell'anno 2002.

### 2.3.1 Variazioni stagionali della mortalità

Lo studio è stato condotto su un periodo di sei anni (2002-2007). L'analisi ha riguardato uno studio stagionale sull'intero territorio nazionale italiano (figura 2.4).



**Figura 2.4:** Mappa del territorio nazionale italiana con l'indicazione delle regioni.

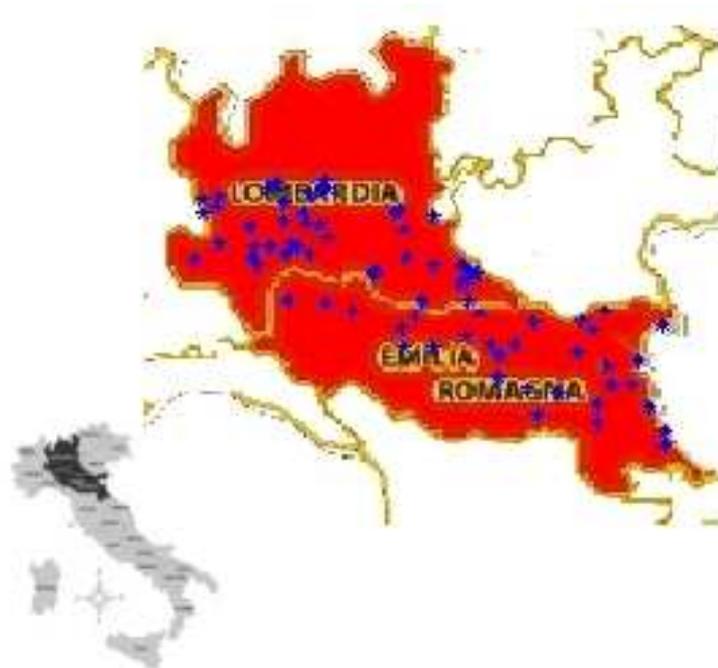
Il numero di eventi registrato nel periodo in studio (2002-2007) sull'intero territorio italiano è di 320,120; il numero di aziende interessate va da un minimo di 21,392 nel 2006 ad un massimo di 26,822 nel 2003; il numero di animali considerati nello studio va da un minimo di 1,821,370 nel 2006 ad un massimo di 1,913,424 nel 2003.

Lo studio, condotto utilizzando tutti i decessi registrati sul territorio nazionale nel periodo 2002-2007, ha riguardato il calcolo del rischio di mortalità associato alle diverse stagioni per l'intero periodo considerato e i tassi di mortalità annuale, mensile e stagionale. Il tasso di mortalità (annuale, mensile e stagionale) è stato calcolato come rapporto tra il numero di decessi (annuali, mensili e stagionali) e le consistenze annuali 2002-2007 delle bovine da latte con età superiore ai 24 mesi assumendo che le consistenze fossero costanti nel corso dell'anno.

Il test del  $\chi^2$  è stato utilizzato per verificare l'esistenza di variazioni stagionali nel numero di eventi di mortalità. Nel caso di significatività, e assumendo che il numero di morti si distribuisse uniformemente tra le quattro stagioni considerate, si è calcolato, per le stagioni con il più alto e il più basso numero di eventi di mortalità, il rischio relativo confrontandolo con quello atteso (Sheth et al., 1999).

### 2.3.2 Relazioni tra THI e mortalità

Riprendendo quanto già riportato in precedenza, questa parte dello studio è stata limitata ai territori relativi alle regioni Lombardia ed Emilia Romagna. Le due regioni sono localizzate in latitudine tra 44° N – 46°15' N e in longitudine tra 8°30' E – 12°30' E. La figura 2.5 riporta in rosso la Valle del Po, e in blu le 73 stazioni meteorologiche utilizzate in questa seconda parte dell'analisi.



**Figura 2.5:** In evidenza sulla mappa, in rosso, le due regioni della Lombardia e dell’Emilia Romagna e la localizzazione, in blu, delle 73 stazioni meteorologiche utilizzate nello studio.

L’analisi specifica su queste due regioni è stata condotta in questa particolare area sia per l’alta concentrazione delle aziende zootecniche, con un 46% della popolazione nazionale di vacche da latte (bovini di 2 anni e più, dati ISTAT 2007), sia per l’esistenza in quest’area di un certo grado di omogeneità nel sistema produttivo (intensivo), nell’alimentazione, nel numero e nel valore genetico degli animali.

Il numero di eventi registrato nel periodo in studio (2002-2007) per le regioni dell’Emilia Romagna e della Lombardia è di 51,240; il numero di aziende interessate va da un minimo di 2,008 nel 2007 ad un massimo di 2,526 nel 2003; il numero di animali considerati nello studio va da un minimo di 239,346 nel 2002 ad un massimo di 293,065 nel 2003.

Per questa analisi specifica è stato calcolato il valore del THI massimo (massimo della temperatura ambiente e minimo dell’umidità relativa) e del THI minimo (minimo della temperatura ambiente e massimo dell’umidità relativa). Il THI massimo è da considerarsi il THI diurno, mentre il THI minimo può essere ricondotto a quello notturno registrato nel corso delle primissime ore della giornata. Nel periodo considerato, il valore medio e la deviazione standard del massimo e del minimo della temperatura ambiente sono risultati  $19 \pm 9$  (°C) e  $9 \pm 7$  (°C), rispettivamente, mentre il valore medio e la deviazione standard del massimo e del minimo dell’umidità relativa sono risultati  $93 \pm 6$  (%) e  $55 \pm 14$  (%), rispettivamente. Prima dell’analisi dei dati il numero degli eventi di mortalità è stato

adattato (AND, adjusted number of deaths) al numero di volte in cui il valore corrispondente del THI era presente all'interno del database: in dettaglio, il numero di decessi registrati per un dato valore di THI è stato diviso per il numero di volte in cui il valore di THI risultava registrato. Per una facile interpretazione il valore risultante è stato moltiplicato per mille.

L'analisi della relazione tra gli eventi di mortalità adattati e il THI è stato eseguito utilizzando due approcci differenti: il primo con il calcolo della regressione a due fasi (Nickerson et al., 1989), e il secondo basato sull'analisi della varianza, l'ANOVA.

La regressione a due fasi ci permette di trovare il *break point* tra il THI (massimo e minimo) e l'AND, e cioè ci permette di fare una valutazione dell'esistenza di un cambiamento significativo tra la mortalità e il valore del THI e quindi di un valore di THI soglia al di sopra del quale il rischio di morte può aumentare.

Per l'ANOVA il THI, massimo e minimo, è stato suddiviso rispettivamente in 7 e in 6 categorie. Per il THI massimo le 7 categorie sono: 30-74, 75-77, 78-80, 81-83, 84-86, 87-89 e 90-92; per il THI minimo le categorie sono: 9-64, 65-67, 68-70, 71-73, 74-76 e 77-79. Infine per ogni categoria si è calcolata la somma degli AND. Alle categorie è stata applicata l'analisi della varianza con la procedura del modello lineare generale (GLM).

## 2.4 Studio di scenario<sup>8</sup>

Gli studi di scenario riportati di seguito hanno considerato, in prima analisi, l'intero bacino del Mediterraneo e successivamente la sola penisola italiana.

I dati utilizzati in questi studi (medie giornaliere di temperatura e umidità relativa) sono stati estratti dal database del Max Planck Institute (MPI) disponibili nell'ambito del progetto europeo CIRCE<sup>9</sup> in <http://web.lmd.jussieu.fr/~li/circe/>. I dati ricoprono il periodo 1971-

---

<sup>8</sup> Tutto ciò che attiene a questo studio è stato oggetto delle pubblicazioni di cui agli allegati 3 e 4 ai quali si rimanda per un esame di dettaglio

<sup>9</sup> Il progetto di ricerca CIRCE (Climate Impacts in the Mediterranean and the Central Eastern Europe, [www.circeproject.eu/](http://www.circeproject.eu/)), sotto il coordinamento dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è stato definito il più grande progetto di ricerca sul clima del Mediterraneo, nato per studiare l'evoluzione climatica dal punto di vista scientifico, ma anche economico e sociale. Il progetto ha coinvolto 65 partner, europei, mediorientali e nordafricani. Per l'Italia hanno partecipato, oltre all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha avuto il ruolo di coordinatore del progetto, il CMCC (Centro Euro-Mediterraneo dei Cambiamenti Climatici), la Fondazione ENI Enrico Mattei, l'ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), il CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), l'ASL di Roma (Dipartimento di Epidemiologia), le Università degli Studi della Tuscia, dell'Aquila, di Bologna e del Salento e l'OGS (Istituto nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale) di Trieste. A partire dal maggio 2007 l'obiettivo del progetto è stato quello di produrre ricerca e conoscenza sul clima del Mediterraneo e sui suoi impatti. La ricerca (frutto della collaborazione tra matematici, fisici, climatologi, agronomi, economisti e informatici) è stato strumento per supportare, con i dati scientifici la previsione di scenari futuri, le azioni di risposta e le

2050, con una risoluzione spaziale di 25 km. Lo scenario utilizzato è lo scenario intermedio di emissione A1B caratterizzato da 700 ppm di CO<sub>2</sub>.

La caratterizzazione dell'area in studio è stata eseguita a livello mensile, stagionale e annuale aggregando i dati per il trentennio di riferimento, il CliNo, che in questi studi è il trentennio 1971-2000 e per i quattro decenni futuri (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050). Per lo studio stagionale ci si è riferiti all'inverno considerando i mesi di dicembre, gennaio e febbraio (DJF); alla primavera considerando i mesi di marzo, aprile e maggio (MAM); all'estate considerando i mesi di giugno, luglio e agosto (JJA) e all'autunno considerando i mesi di settembre, ottobre e novembre (SON).

#### 2.4.1 Il bacino del Mediterraneo: scenari di THI

L'area del bacino alla quale ci si è riferiti è la stessa area dello studio retrospettivo (10° W – 40° E, e in latitudine da 28° N – 48° N).

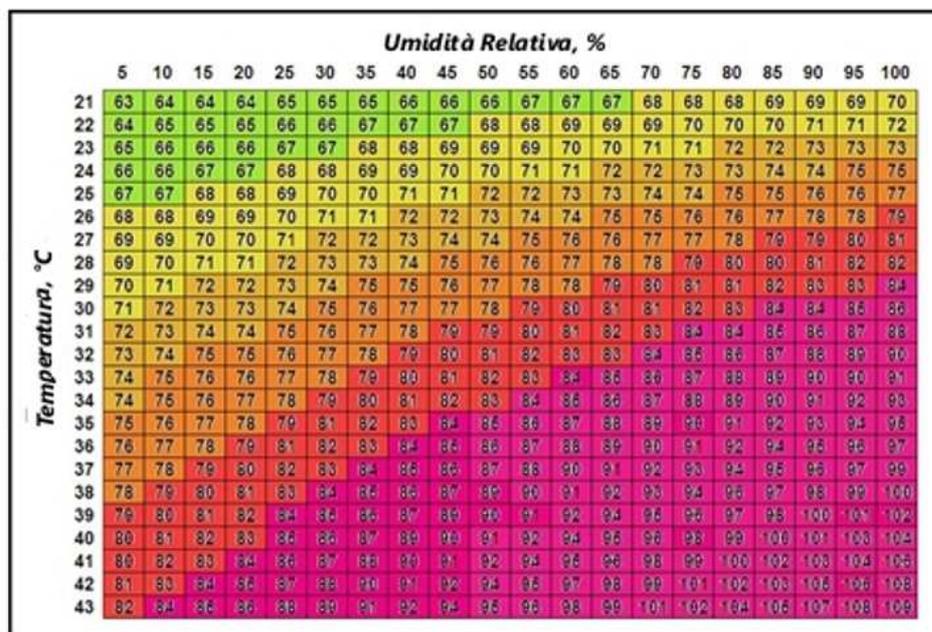
L'analisi mensile, stagionale e annuale è stata eseguita valutando le anomalie dei quattro decenni considerati rispetto al CliNo. Successivamente, per la situazione estiva (JJA), per il CliNo e per le quattro decadi, sono state considerate le mappe di THI in relazione a valori del THI che definiscono delle categorie specifiche di benessere per gli animali allevati. In altre parole, il livello di stress termico subito dalle specie di interesse zootecnico è stato valutato ripartendo i valori del THI in fasce a diverso grado di pericolosità (Fig. 2.6). Le categorie di benessere animale risultano utili per la scelta di strategie di adattamento e mitigazione.

Nel dettaglio:

- $THI < 68$  nessun rischio;
- $68 \leq THI < 72$  leggero rischio;
- $72 \leq THI < 75$  disagio;
- $75 \leq THI < 79$  allarme;
- $79 \leq THI < 84$  pericolo;
- $THI \geq 84$  emergenza.

---

strategie di mitigazione ai mutamenti indotti dai cambiamenti climatici. I risultati saranno messi a disposizione sia della comunità scientifica che dei decisori politici attraverso il Final Report - Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean (RACCM) nella prossima primavera.



**Figura 2.6:** Temperature-Humidity Index (THI). Le categorie di benessere animale sono identificate:  $THI < 68$  nessun rischio;  $68 \leq THI < 72$  leggero rischio;  $72 \leq THI < 75$  disagio;  $75 \leq THI < 79$  disagio;  $79 \leq THI < 84$  pericolo e  $THI \geq 84$  emergenza.

Inoltre anche per la decade 2041-2050, che rappresenta la situazione estrema, è stata analizzata la stessa caratterizzazione per singolo mese estivo.

Per l'intero periodo (1971-2050) sono stati calcolati i valori medi stagionali e le deviazioni standard del THI.

#### 2.4.2 La penisola italiana: scenari di THI

L'area della penisola italiana alla quale ci si è riferiti è la stessa area considerata nello studio retrospettivo (10° W – 40° E e in latitudine da 28° N – 48° N).

L'analisi mensile, stagionale e annuale è stata eseguita valutando le anomalie dei quattro decenni considerati rispetto al CliNo. Successivamente, per la situazione estiva (GLA), sono state considerate le mappe di THI in relazione alle categorie di benessere descritte in precedenza:  $THI \leq 68$  (nessun rischio),  $68 \leq THI < 72$  (leggero rischio),  $72 \leq THI < 75$  (disagio),  $75 \leq THI < 79$  (allerta),  $79 \leq THI < 84$  (pericolo) e  $THI \geq 84$  (emergenza). Inoltre per la decade 2041-2050, che rappresenta la situazione estrema, è stata analizzata la stessa caratterizzazione per singolo mese estivo.

## 2.5 Software utilizzato

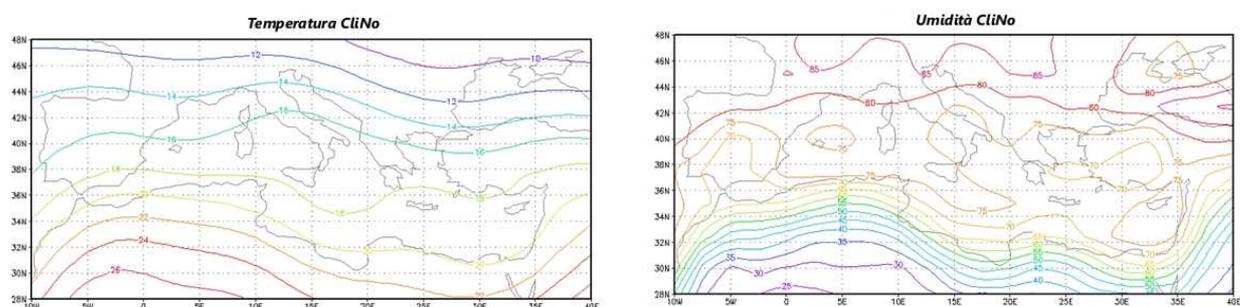
L'elaborazione e la visualizzazione grafica dei risultati presentati sono stati realizzati attraverso lo script language in ambiente GRADS (GRids Analysis Display Sistem). Si tratta di un software specifico, Free-Ware distribuito sotto la GNU General Public License con dati a 4 dimensioni (latitudine, longitudine, livello, tempo) e con operazioni espresse in linee di comando Fortran.

Il software, elaborato dalla NASA Advanced Information System Research Program, è disponibile alla pagina web [www.iges.org / grads /](http://www.iges.org/grads/).

### 3. Risultati e discussione

#### 3.1 Studio retrospettivo

Lo studio retrospettivo ha consentito la caratterizzazione in termini di THI dell'area di studio. Nella figura 3.1. si riporta la descrizione in isolinee della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa riferite al CliNo (arco temporale 1961-1990). L'analisi di queste due mappe di isolinee mostra una differenza tra le due variabili sul bacino: mentre la temperatura mostra un gradiente nord-sud effetto principale della latitudine, l'umidità relativa è fortemente influenzata dalla presenza del Mediterraneo.



**Figura 3.1:** Distribuzione media annuale della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990).

##### 3.1.1 Il bacino del Mediterraneo

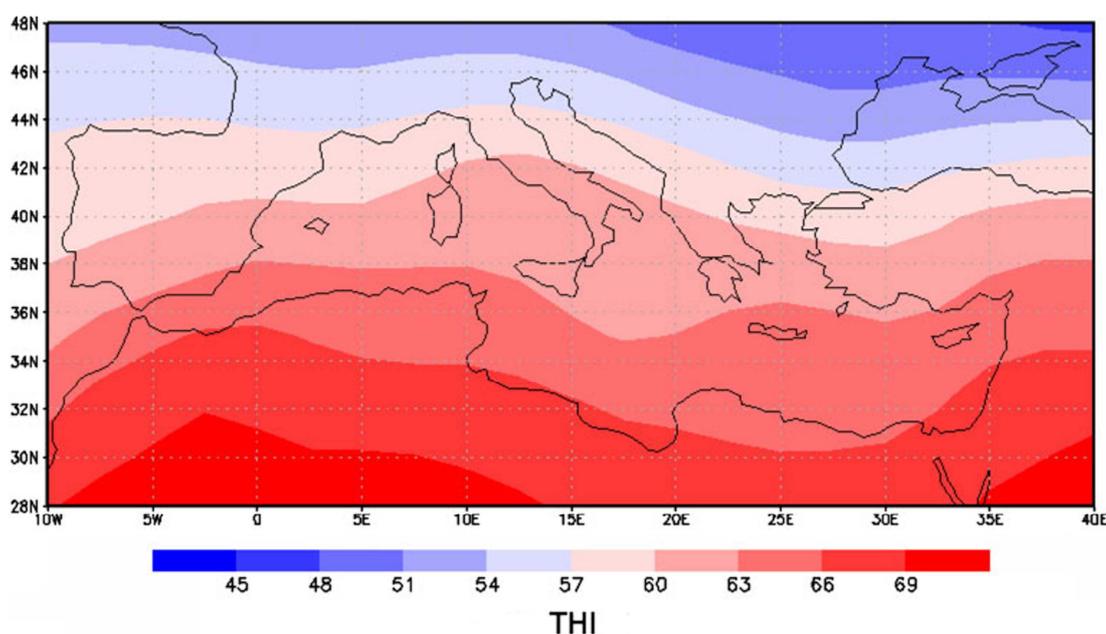
Il valore del THI medio, annuale e stagionale, per i tre periodi in studio è riportato in tabella 3.1, mentre la caratterizzazione del bacino del Mediterraneo in termini di THI, annuale e stagionale, per il CliNo (1961-1990) è stata analizzata attraverso le mappe di isolinee in figura 3.2 e 3.3.

**Tabella 3.1:** Valori medi, annuali e stagionali, del THI (Temperature Humidity Index) per l'area mediterranea nei tre periodi di riferimento (1951-1960, 1961-1990 e 1971-2000).

Trentennio	THI annuale	THI stagionale
1951-1980	61.07	DGF 50.35 MAM 59.11

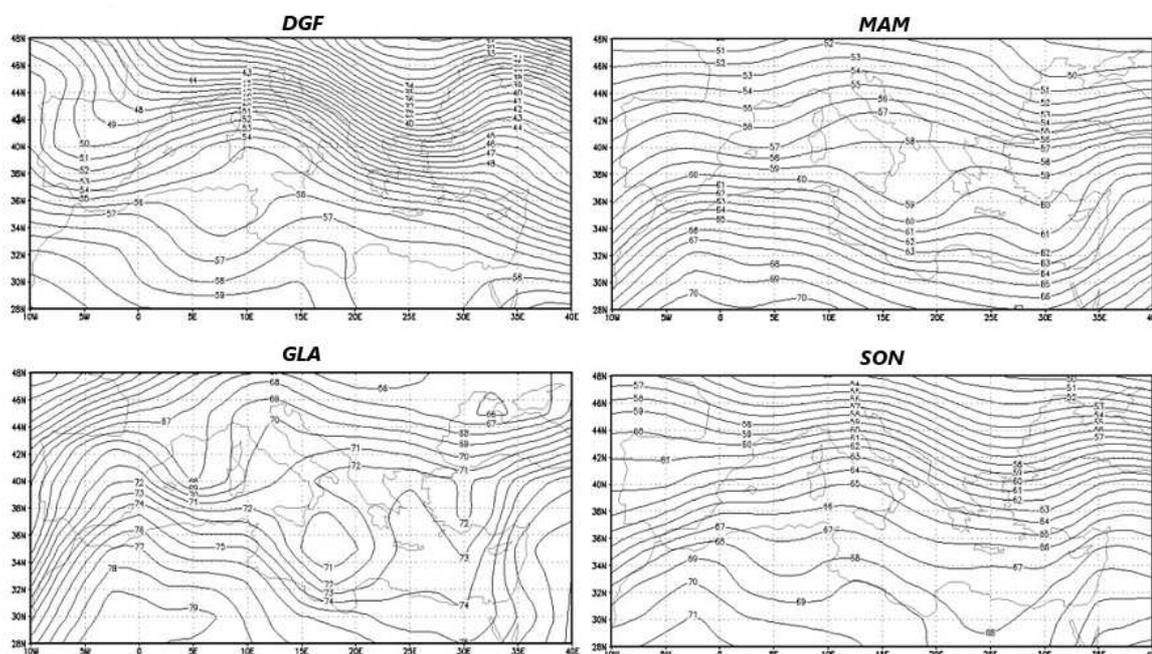
		GLA 71.72 SON 63.12
1961-1990 (CliNo)	61.13	DGF 50.25 MAM 59.23 GLA 71.78 SON 63.28
1991-2000	61.23	DGF 50.32 MAM 59.33 GLA 71.99 SON 63.26

Dalla figura 3.2 si può vedere che il valore annuale del THI sul bacino del Mediterraneo varia da un valore di 42 ad un valore di 72. Inoltre si nota chiaramente un gradiente nord-sud (effetto riscontrabile anche nella caratterizzazione dell'area per la variabile temperatura in figura 3.1), che porta a considerare un rischio da stress termico maggiore per i paesi della costa sud del bacino.



**Figura 3.2:** Distribuzione media annuale del THI sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990).

L'analisi stagionale sul bacino mostra che il THI nella stagione invernale (DGF) varia da 30 a 60, nella stagione primaverile (MAM) da 50 a 70, nella stagione estiva (GLA) da 60 a 79 e in quella autunnale (SON) da 50 a 71 (figura 3.3).



**Figura 3.3:** Distribuzione media stagionale del THI sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990). Le stagioni sono state contraddistinte per l'inverno in DGF (mesi di dicembre, gennaio e febbraio); per la primavera in MAM (mesi marzo, aprile e maggio); per l'estate in GLA (mesi di giugno, luglio e agosto) e per l'autunno in SON (mesi di settembre, ottobre e novembre).

In tabella 3.2 sono riportati i valori di anomalia annuale e stagionale del THI calcolati confrontando i tre trentenni considerati nello studio. L'analisi di questi dati mette in evidenza un riscaldamento dell'area in studio (+0.16) e, a livello stagionale, un incremento massimo del THI nella stagione estiva con un + 0.27 unità di THI (+0.22 in primavera e +0.14 in autunno) e una lieve diminuzione (-0.03 unità) di THI durante la stagione invernale (1971-2000 vs 1951-1980) .

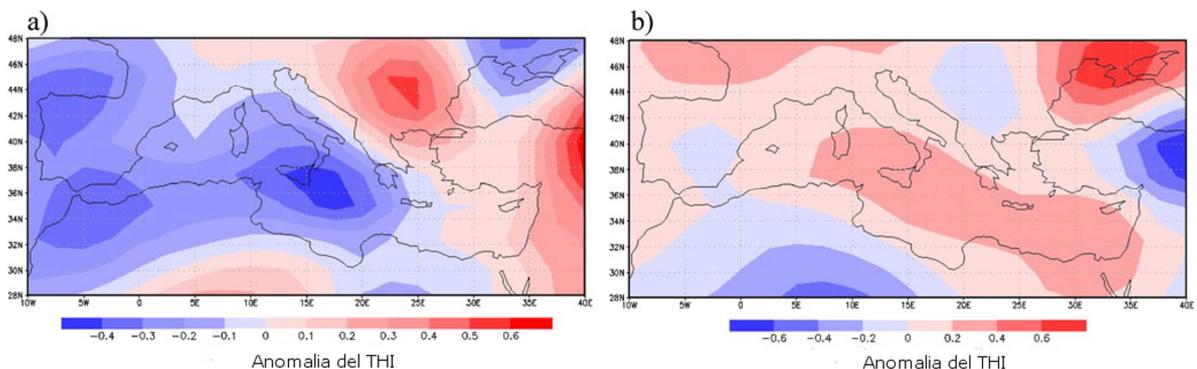
**Tabella 3.2:** Anomalie dei valore medi, annuali e stagionali, del THI per l'area mediterranea nei tre periodi di riferimento (1951-1960, 1961-1990 e 1971-2000).

Periodi confrontati	Annuale	Stagionale
1951-1980 vs 1961-1990 (CliNo)	-0.06	DGF + 0.10 MAM -0.12

		GLA -0.06 SON -0.16
1971-2000 vs 1961-1990 (CliNo)	+ 0.10	DGF +0.07 MAM +0.10 GLA +0.21 SON -0.02
1971-2000 vs 1951-1980	+0.16	DGF -0.03 MAM +0.22 GLA +0.27 SON +0.14

In figura 3.4 sono riportate le isolinee delle anomalie del THI annuale tra il CliNo e i due periodi trentennali di riferimento considerati nello studio (1951–1980 e 1971–2000). Per il trentennio 1951–1980 (figura 3.4a) le anomalie variano da  $-0.5$  a  $+0.7$  unità di THI, mentre per il trentennio 1971–2000 (figura 3.4b) variano da  $-0.8$  a  $+0.8$  unità di THI. Nel dettaglio:

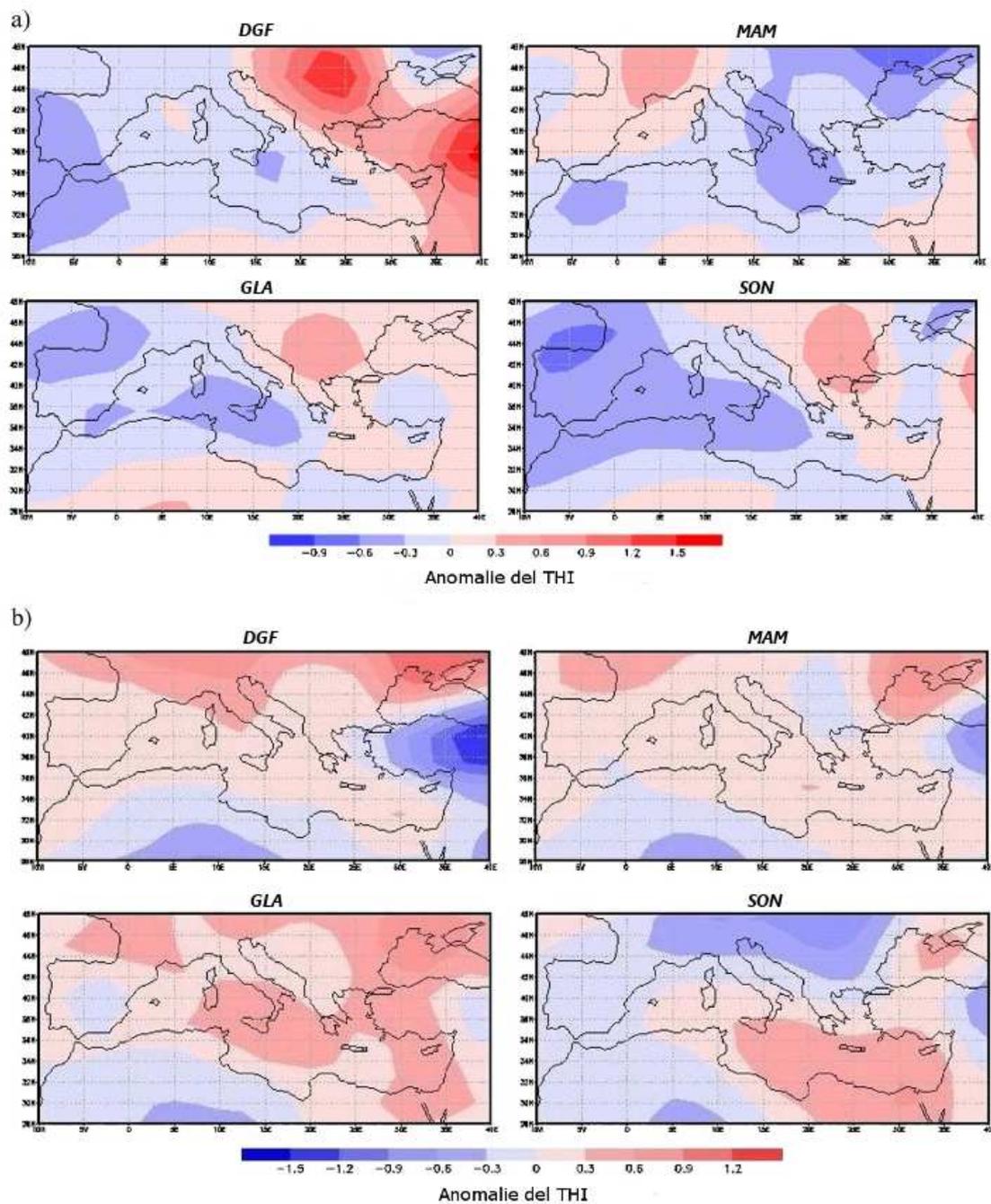
- il trentennio 1951–1980 è stato più freddo del CliNo nella zona centrale e occidentale del bacino (in blu) con un  $-0.5$  unità di THI, mentre nella parte orientale (in rosso), ed in particolar modo nell'area Balcanica si è registrato un riscaldamento con un  $+0.7$  unità di THI;
- il trentennio 1971-2000 mostra un'anomalia negativa di  $-0.8$  unità di THI nella zona sud-ovest dell'area e sull'est della Turchia, mentre un'anomalia positiva di  $+0.8$  unità di THI nella zona centrale e nel nord-est del bacino.



**Figura 3.4:** Isolinee delle anomalie annuali del THI tra CliNo (1961-1990) e i due periodi di riferimento considerati nello studio (1951-1980 in **a**, e 1971-2000 in **b**).

La lettura di queste mappe consente di affermare come la parte centrale del bacino abbia subito un progressivo riscaldamento dal 1951 al 2000.

Le isolinee delle anomalie stagionali tra il CliNo e i due trentenni di riferimento sono riportate nella figura 3.5.



**Figura 3.5:** Isolinee delle anomalie stagionali del THI tra CliNo (1961-1990) e i due periodi di riferimento considerati nello studio (1951-1980 in a, e 1971-2000 in b).

L'analisi del trentennio 1951-1980 (Fig. 3.5a) mostra per la stagione invernale una notevole variabilità che risulta compresa tra -0.6 (Penisola Iberica) e +1.8 unità di THI (Turchia orientale). Per la primavera, la variazione registrata è tra -0.9 (nord-est del bacino) e +0.6 (nella parte orientale del bacino e al nord-ovest della Francia), per l'estate tra -0.6 (nella parte centrale del bacino, sulla Sicilia e sul nord-ovest della Spagna) e +0.6 (sull'area balcanica) e per l'autunno tra -0.9 (parte centrale e occidentale del bacino) e +0.6 (area balcanica).

L'analisi del trentennio 1971-2000 (Fig. 3.5b) mostra per la stagione invernale una variabilità compresa tra -1.8 (Turchia orientale) e +1.5 (nord-est del bacino), per la primavera, tra -0.9 e +0.9 (Turchia orientale e nord-est del Mar Nero, rispettivamente), per l'estate tra -0.6 (Spagna, Marocco, Algeria e Libia) e +0.9 (a nord-est del Mar Nero) e per l'autunno tra -0.9 (al Nord e sull'area balcanica) e +0.6 (nella parte orientale del bacino e nel Mar Nero).

I risultati riportati in questo studio in termini di THI sono in linea con quelli ottenuti da studi precedenti riferiti alla temperatura (Klein Tank e Können, 2003; Xoplaki et al., 2005, 2006; Luterbacher et al., 2007). L'accordo generale tra i risultati ottenuti con quelli di precedenti analisi basate sulla temperatura non è sorprendente, perché nella formula del THI il peso della temperatura è superiore rispetto a quello dell'umidità relativa (dal 2 al 18%) e questo avviene indipendentemente dalla formula scelta per il calcolo (Bohmanova et al., 2007). Tuttavia, la caratterizzazione di un'area geografica in termini di THI permette una previsione più accurata degli effetti del caldo ambientale sugli animali allevati perché tiene conto del ruolo dell'umidità quale fattore in grado di influenzare le perdite corporee di calore attraverso le vie evaporative.

La nostra analisi sulle dinamiche stagionali THI nel periodo retrospettivo (1951-2000) ha sottolineato un aumento del THI in estate e una lieve diminuzione nei valori invernali, e anche differenze tra l'area centro-occidentale e orientale del bacino. Questi risultati sono in linea con quelli riportati da Klein Tank and Können (2003) che hanno indicato che il riscaldamento registrato in Europa nel periodo 1976-1999 è stato probabilmente associato ad un aumento nelle condizioni di eventi estremi caldi ed una diminuzione di eventi estremi freddi. Inoltre, i risultati riportati sono in accordo con quelli di Xoplaki et al. (2006), che hanno indicato che nel periodo 1950-1999 si è registrato un aumento significativo delle temperature estive nella parte occidentale e centrale del Mediterraneo, ma non nelle zone orientali. Brunetti et al. (2002) studiando le differenze tra le pressioni occidentali e orientali del Mediterraneo, hanno mostrato la maggiore frequenza di anticicloni sulla parte centro-

occidentale del bacino. Inoltre è risultato dallo studio che la caratterizzazione dell'area non è spazialmente né temporalmente omogenea. L'eterogeneità del clima del bacino del Mediterraneo è dovuta alle complesse relazioni tra la circolazione generale dell'atmosfera (che incide sulle *storm track*), la temperatura dell'aria, le precipitazioni, la distribuzione della pressione, le temperature superficiali del mare (SST) dell'Atlantico e del Mediterraneo, le interazioni terra-mare, l'altitudine, la latitudine e l'orografia (Frei e Schär, 1998).

Quando si studiano le variazioni climatiche, una particolare attenzione viene rivolta anche alle oscillazioni naturali interne al sistema e al loro possibile effetto sulla tendenza delle variabili climatiche. Tra queste ricordiamo ad esempio il NAO (North Atlantic Oscillation). Questo indice rappresenta a grande scala i comportamenti dell'atmosfera, ma ha anche un carattere regionale riguardante il contesto del Mediterraneo in quanto può fornire qualche informazione sul tipo di massa d'aria che insiste sull'area mediterranea. L'intensità e il segno della NAO sono espressi da un indice calcolato come differenza tra le anomalie medie mensili di pressione al livello del mare a Punta Delegada (Azzorre) e le corrispondenti anomalie osservate ad Akureyri (Islanda). Stabilito un valore medio di riferimento, vengono misurati gli scarti che si verificano nell'arco di un anno rispetto ad esso. Nel caso il NAO sia positivo (NAO+), le due figure bariche si intensificano notevolmente e le perturbazioni atlantiche si muovono alle alte latitudini, (Nord Europa), mentre l'area mediterranea è avvolta da un regime di alta pressione. A NAO+ corrispondono quindi periodi piovosi e miti in Europa centro-settentrionale, mentre sull'Europa meridionale e sul Mediterraneo il clima sarà secco e anch'esso mite, anche se più accentuato sull'Europa sud-occidentale (Folland et al., 2009). In Italia un indice NAO+ è responsabile di inverni siccitosi e relativamente miti (condizioni che sono più marcate per il nord). Con una NAO negativa (NAO-), invece, la pressione, sia al suolo che in quota, aumenta nella zona islandese sino ad interessare la Russia e la Scandinavia. In questo caso, il getto scorre più a sud trasportando il suo carico di precipitazioni verso la Penisola Iberica e conseguenti irruzioni fredde in area Mediterranea. L'abbassamento di latitudine delle perturbazioni atlantiche determina inverni più secchi nel Nord Europa, e al contrario più piovosi nell'Europa meridionale.

Da diversi studi è emerso come il NAO abbia una notevole influenza sul clima dell'Europa e del Mediterraneo; esiste infatti una correlazione tra l'indice NAO e la temperatura dell'aria (Pokrovsky, 2009). Linderholm et al. (2009) hanno mostrato una correlazione, a partire dal 1960, tra il trend positivo del NAO, e l'aumento della siccità nel nord Europa.

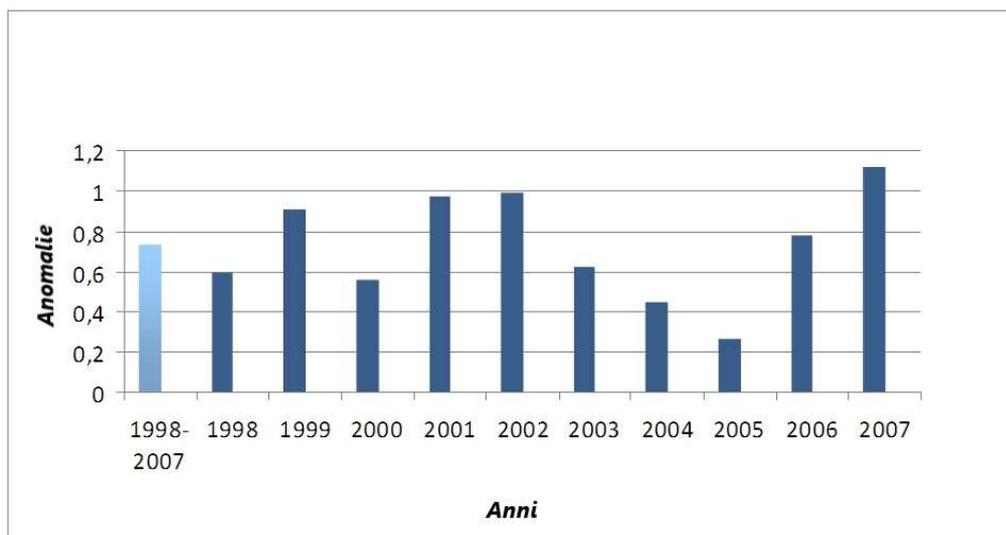
Lo studio retrospettivo prosegue con l'analisi del decennio 1998-2007. In tabella 3.3 sono riportati i valori medi del THI annuale e stagionale.

**Tabella 3.3:** Valori medi, annuali e stagionali, del THI per l'area mediterranea nella decade 1998-2007.

Anno di riferimento	THI annuale	THI stagionale
1998-2007	61.86	DGF 50.49 MAM 60.10 GLA 72.89 SON 63.95
1998	61.73	DGF 51.80 MAM 59.66 GLA 71.78 SON 63.46
1999	62.04	DGF 50.05 MAM 60.32 GLA 73.08 SON 63.90
2000	61.69	DGF 49.83 MAM 60.20 GLA 72.40 SON 63.86
2001	62.10	DGF 52.18 MAM 61.13 GLA 72.74 SON 63.90
2002	62.12	DGF 50.48 MAM 60.26 GLA 72.57 SON 64.46
2003	61.75	DGF 49.59

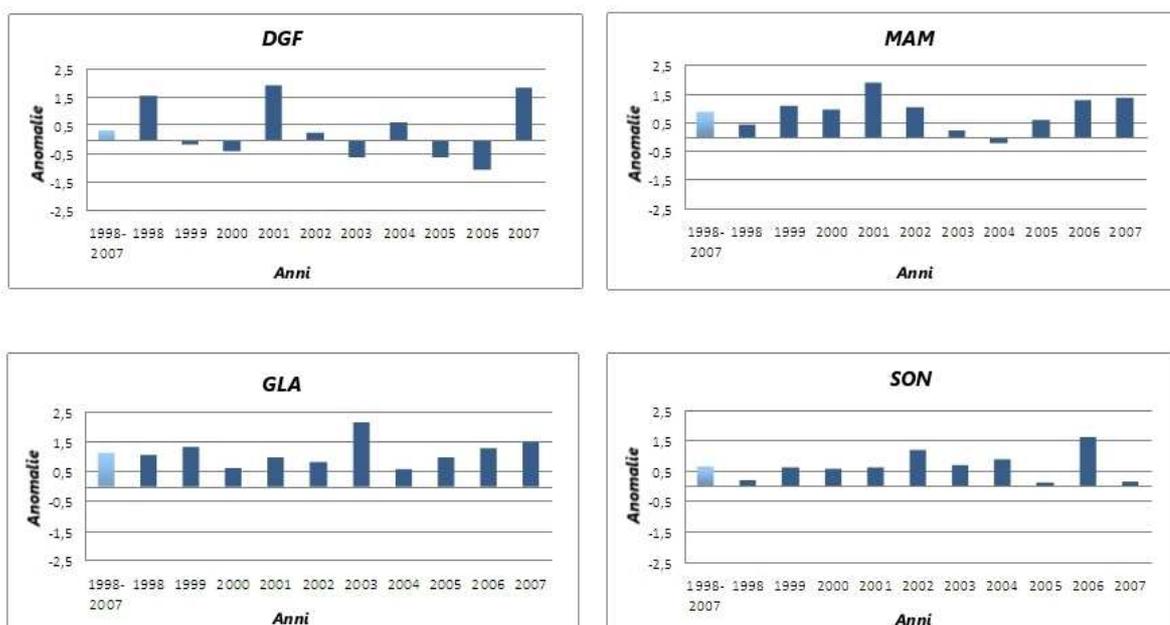
		MAM 59.46 GLA 73.92 SON 63.98
2004	61.58	DGF 50.83 MAM 59.01 GLA 72.36 SON 64.16
2005	61.40	DGF 49.62 MAM 59.81 GLA 72.73 SON 63.41
2006	61.91	DGF 49.16 MAM 60.50 GLA 73.04 SON 64.89
2007	62.25	DGF 52.10 MAM 60.59 GLA 73.24 SON 63.45

La figura 3.6 mostra le anomalie annuali e stagionali del THI per il decennio 1998-2007 rispetto al CliNo. Il valore medio annuo dell'anomalia di THI per il decennio considerato, indica un riscaldamento generale con un'anomalia positiva di +0.73. Dalla stessa figura si può vedere che per ogni singolo anno del decennio si sono registrate anomalie positive, con il valore più basso (+0.27) nel 2005, e con il valore più alto (+1.12) registrato nel 2007.



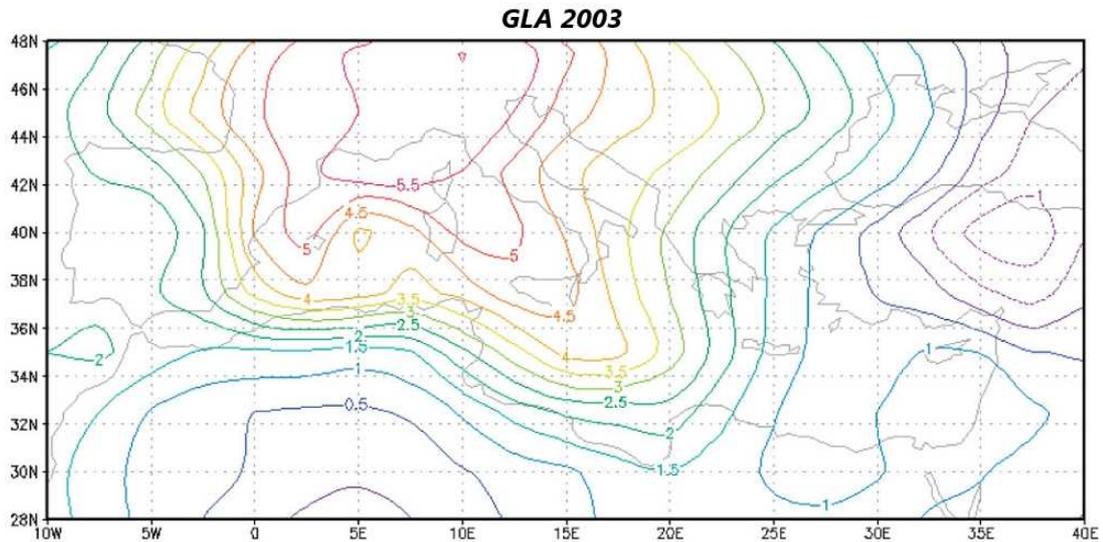
**Figura 3.6:** Anomalie annuali del THI tra CliNo (1961-1990) e la decade 1998-2007.

L'analisi delle anomalie stagionali (Fig. 3.7) ha mostrato, nella stagione invernale, anomalie positive per gli anni 1998, 2001, 2002, 2004, 2007 e negative negli anni 1999, 2000, 2003, 2005, 2006. Per la stagione primaverile è stata registrata una sola anomalia negativa nell'anno 2004 (-0.22) e anomalie positive per i restanti anni con un valore massimo registrato nel 2001 (+1.9). Nella stagione estiva sono state registrate tutte anomalie positive con un valore massimo nell'estate 2003 (+2.14). Anche la stagione autunnale ha fatto registrare tutte anomalie positive da un minimo di + 0.13 nel 2005, ad un massimo di +1.61 nel 2006.



**Figura 3.7:** Anomalie stagionali del THI tra CliNo (1961-1990) e la decade 1998-2007.

Per l'estate 2003 si riporta la mappa (figura 3.8) di isolinee di anomalie del THI rispetto al CliNo (1961-1990). L'area in studio rivela una forte eterogeneità con anomalie positive da un valore di +0.5 ad un valore di +5.5 sulla maggior parte del bacino, ma con un'anomalia negativa di -1 sulla Turchia orientale.



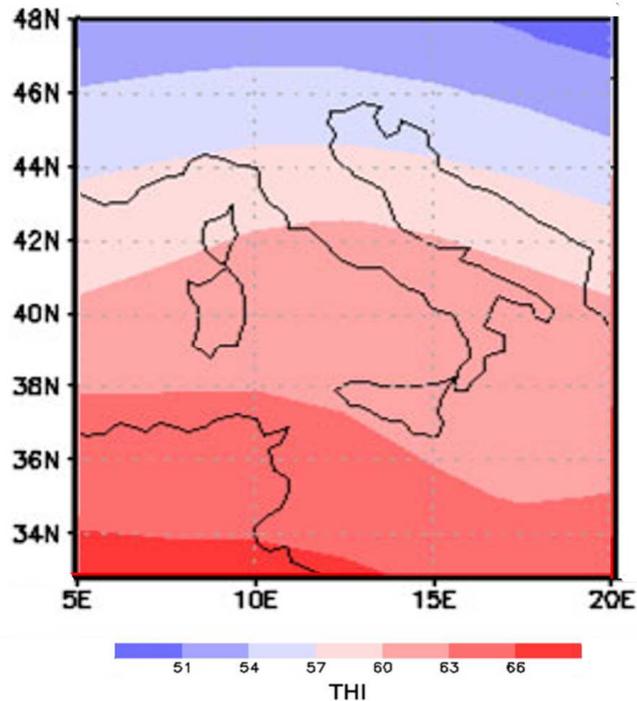
**Figura 3.8:** Isolinee delle anomalie del THI estivo per l'anno 2003 rispetto al CliNo (1961-1990).

Il presente studio mette in evidenza che il riscaldamento del bacino del Mediterraneo in termini di THI è stato particolarmente intenso nel decennio 1998-2007, e che l'estate del 2003, l'autunno 2006 e l'inverno 2007 sono stati i periodi durante i quali i valori delle anomalie positive sono risultati più alti rispetto a CliNo. Xoplaki et al. (2005) hanno mostrato che il decennio 1995-2004 è stato il più caldo della seconda metà del millennio scorso, e Luterbacher et al. (2007) hanno indicato che l'autunno 2006 e l'inverno 2007 sono stati anche i più caldi degli ultimi 500 anni. Infine, diversi studi hanno documentato come l'estate del 2003 sia stata la più calda estate mai registrata sull'Europa occidentale e centrale, ed è stata caratterizzata da gravi problemi di salute umana ed animale (Beniston, 2004; Fink et al., 2004; Díaz Jiménez et al., 2005). Nell'estate 2003, un anticiclone ha stazionato sull'Europa occidentale impedendo le precipitazioni che di solito provengono sul continente dall'Oceano Atlantico. Temperature massime di 35-40°C sono state ripetutamente registrate in luglio e in misura maggiore nel mese di agosto. Sia i risultati di questo studio che i dati forniti dal Centro Europeo per le previsioni meteorologiche (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)) hanno indicato l'anomalia estiva centrata sulla Svizzera, la Germania meridionale, il nord dell'Italia e nella Francia sud-orientale (aree geografiche interessate dalla produzione animale).

Come già riportato in precedenza, il THI è stato ampiamente utilizzato per prevedere gli effetti del caldo sulle vacche da latte. In uno studio effettuato in Tunisia, Bouraoui et al. (2002) hanno indicato che l'esposizione degli animali a valori con THI medi giornalieri superiori a 69 è responsabile degli effetti negativi sulla produzione del latte, e che, la portata di questi effetti, è proporzionale al numero di unità di THI al di sopra della soglia. Johnson (1980) ha riportato invece che la produzione di latte comincia a diminuire quando il THI raggiunge il valore di 72. Alcuni studi basati su modelli globali (Klinedinst et al., 1993; Hahn et al., 2005) hanno indicato una riduzione nella produzione di latte nella stagione estiva e nei tassi di concepimento. Nienaber e Hahn (2007) hanno indicato che, a seguito di stress termico, le funzioni immunologiche e fisiologiche sono potenzialmente compromesse, così come quelle metaboliche e digestive (Mader, 2003). Inoltre, diversi studi regionali effettuati nel bacino del Mediterraneo hanno sottolineato gli effetti negativi del caldo sulla funzione riproduttiva, sui parametri di crescita, la produzione di latte e la salute degli animali allevati nella regione (Bouraoui et al., 2002; West et al., 2003; Yeruham et al., 2003; Aharoni et al., 2005; Atasever e Erdem, 2009; Santolària et al., 2009; Marai e Haeeb, 2010; Shehab-El-Deen et al., 2010). Il presente studio ha indicato che, in diverse regioni del bacino del Mediterraneo, i valori estivi di THI rappresentano una grande sfida per il settore delle produzioni animali. In particolare, il forte gradiente nord-sud indica che le vacche da latte allevate in paesi del centro e del sud del bacino possono essere soggette a stress durante i mesi estivi, stress che può compromettere gravemente le prestazioni, la salute e la loro sopravvivenza.

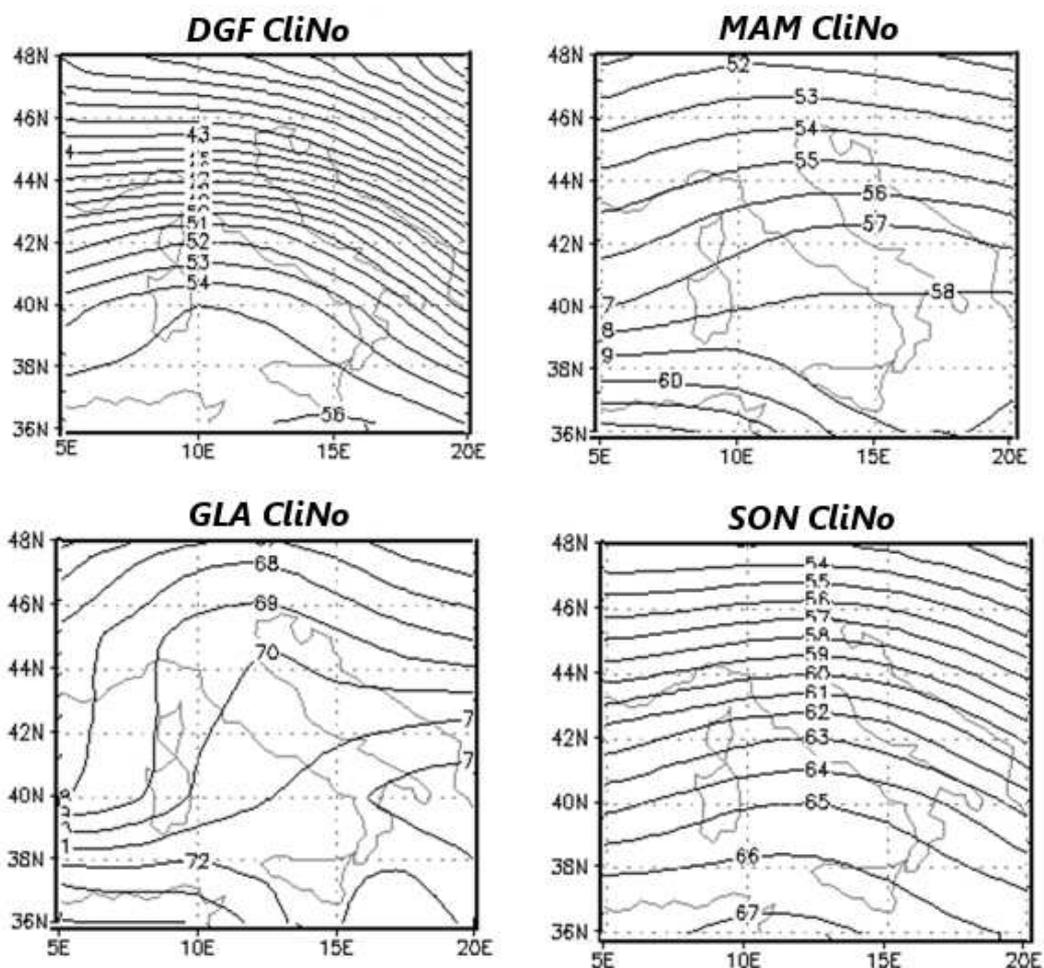
### 3.1.2 La penisola italiana

In figura 3.9 è riportata la distribuzione media annuale del THI per la penisola italiana per il CliNo (1961-1990). Dal punto di vista medio annuale in tutto il territorio nazionale non si evidenziano situazioni di rischio, il THI rimane compreso tra i valori di 51 e 63.



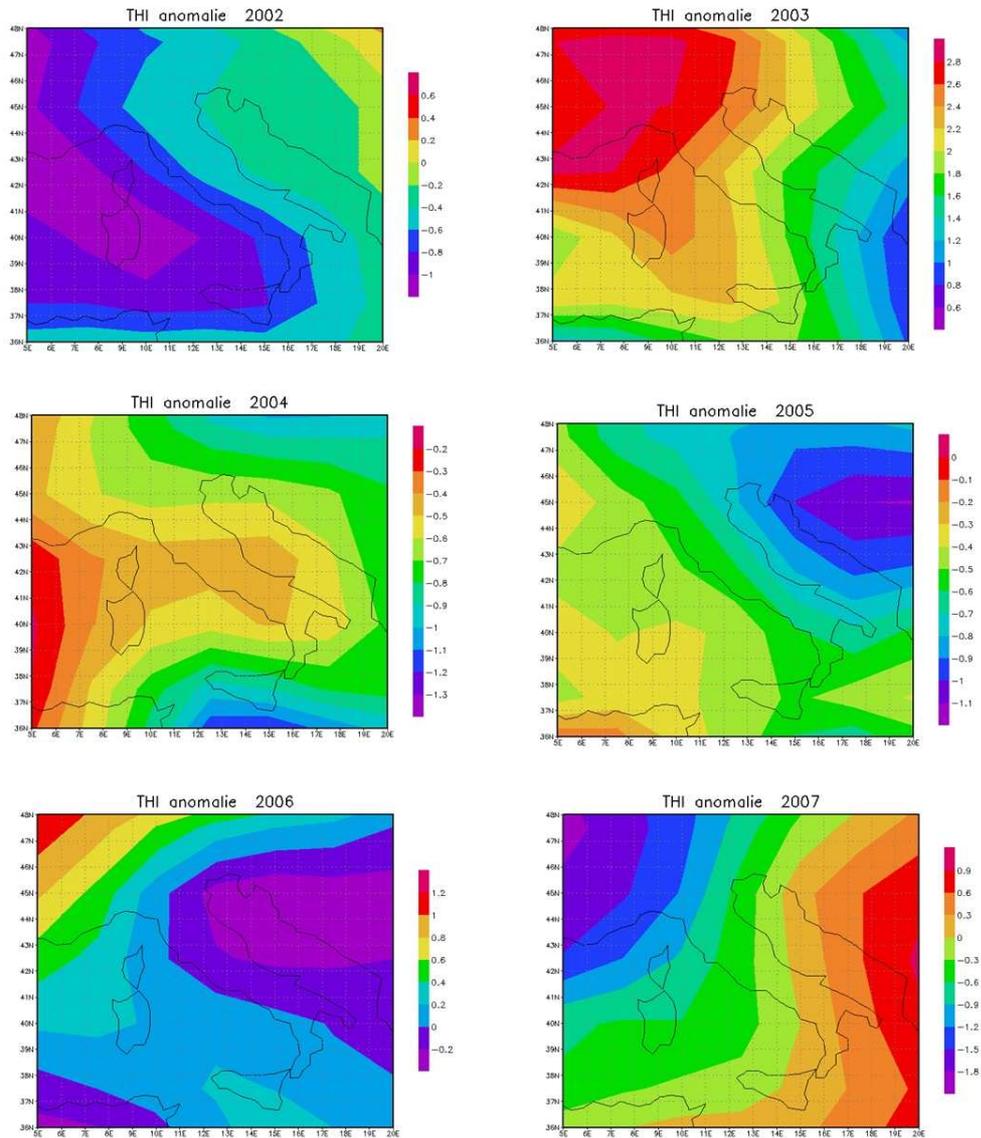
**Figura 3.9:** Distribuzione media annuale del THI per la penisola italiana per il CliNo (1961-1990).

L'analisi stagionale sull'area (figura 3.10) mostra che nella stagione invernale (DGF) il THI varia da 39 a 56, nella stagione primaverile (MAM) da 51 a 59, in quella estiva (GLA) da 67 a 72 e in quella autunnale (SON) da 53 a 67. Il periodo maggiormente critico, quindi, per la penisola italiana è la stagione estiva in cui i valori del THI superano il valore soglia di 68 ( $\text{THI} < 68$  è la categoria di nessun rischio). Durante il periodo estivo infatti, in Italia, la media mensile della temperatura massima risulta più alta del limite superiore della temperatura della zona di termo neutralità.



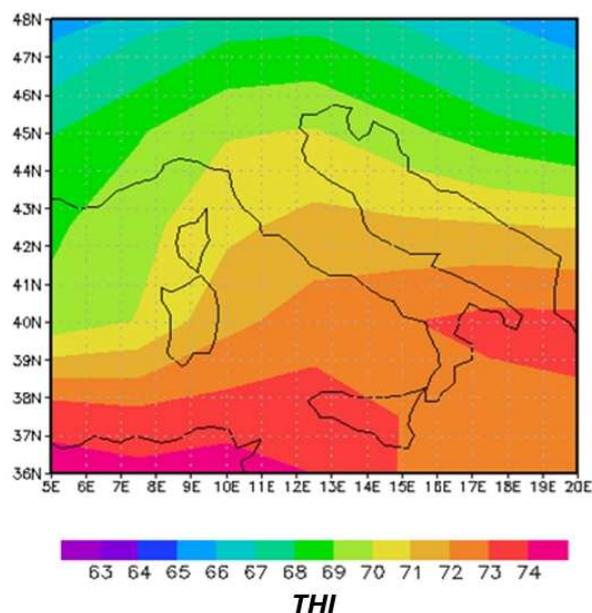
**Figura 3.10:** Valori del THI stagionali per il CliNo (1961-1990).

In figura 3.11 sono riportate le anomalie di ogni singolo anno del periodo in studio (2002-2007) rispetto al periodo stesso. Se si analizzano qualitativamente i dati si può subito notare che il 2003 è l'unico anno del periodo in cui tutte le anomalie sono positive; sul territorio si registrano infatti valori che vanno da un +1 ad un +3. Per gli anni 2002, 2004 e 2005 invece si registrano solo anomalie negative che vanno, rispettivamente, da -1.2 a -0.2, da -1.1 a -0.4 e da -0.9 a -0.3. Gli anni 2006 e il 2007 sono interessati da aree con anomalie negative e aree con anomalie positive, rispettivamente, da -0.4 a +1 e da -1.8 a + 0.9 ma spazialmente differenti. Infatti nel 2006 le anomalie positive si registrano al nord, sulle isole e sulla Calabria mentre il 2007 registra l'anomalia positiva solo al sud.



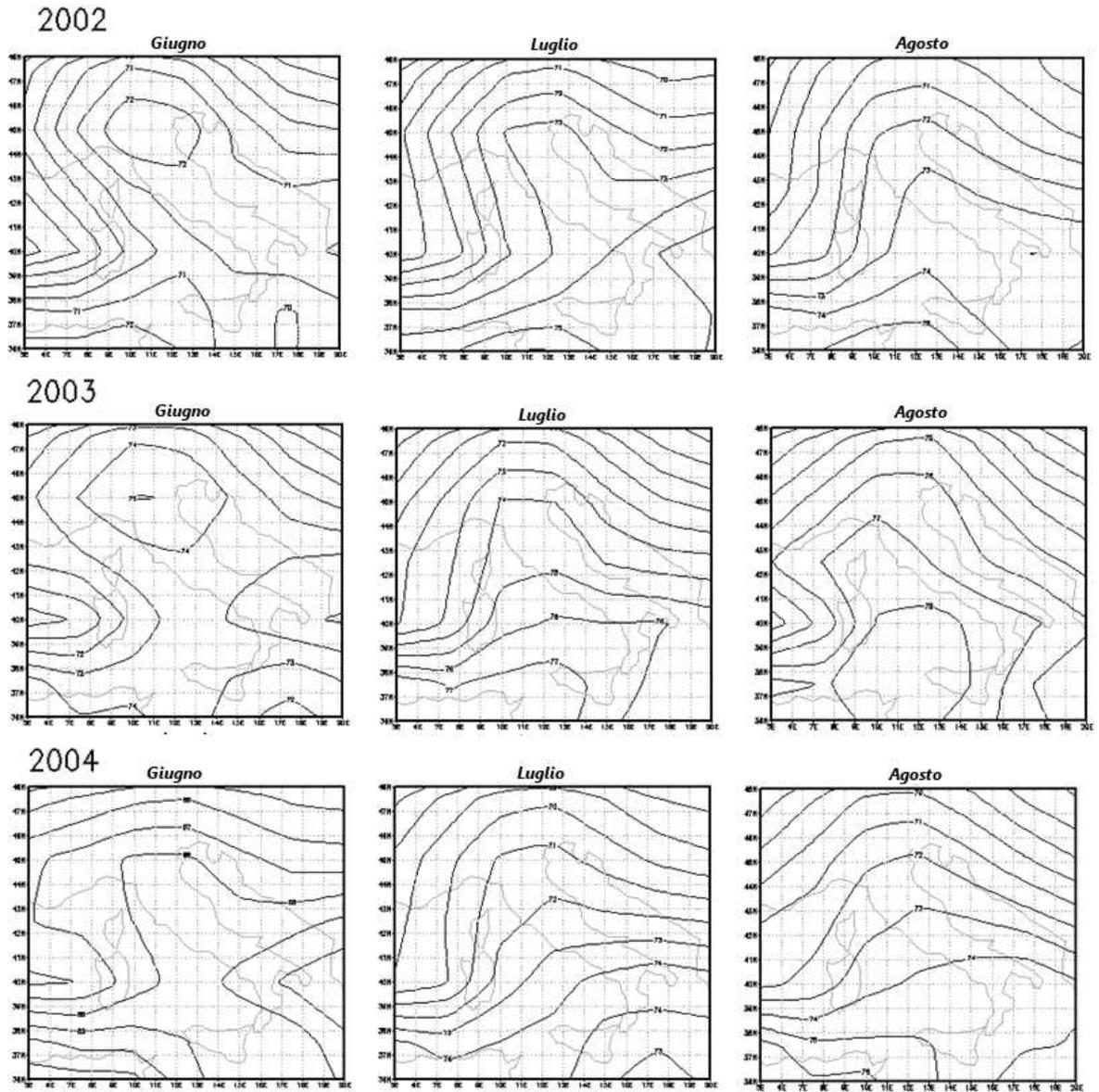
**Figura 3.11:** Isolinee delle anomalie annuali del THI tra ogni singolo anno e il periodo considerato (2002-2007).

In figura 3.12 viene riportata la caratterizzazione estiva (GLA) in termini di THI della penisola italiana per il periodo 2002-2007. Il valore medio stagionale estivo del THI sulla penisola italiana mette in evidenza una situazione tra il leggero rischio (nord e centro) e il rischio (sud).

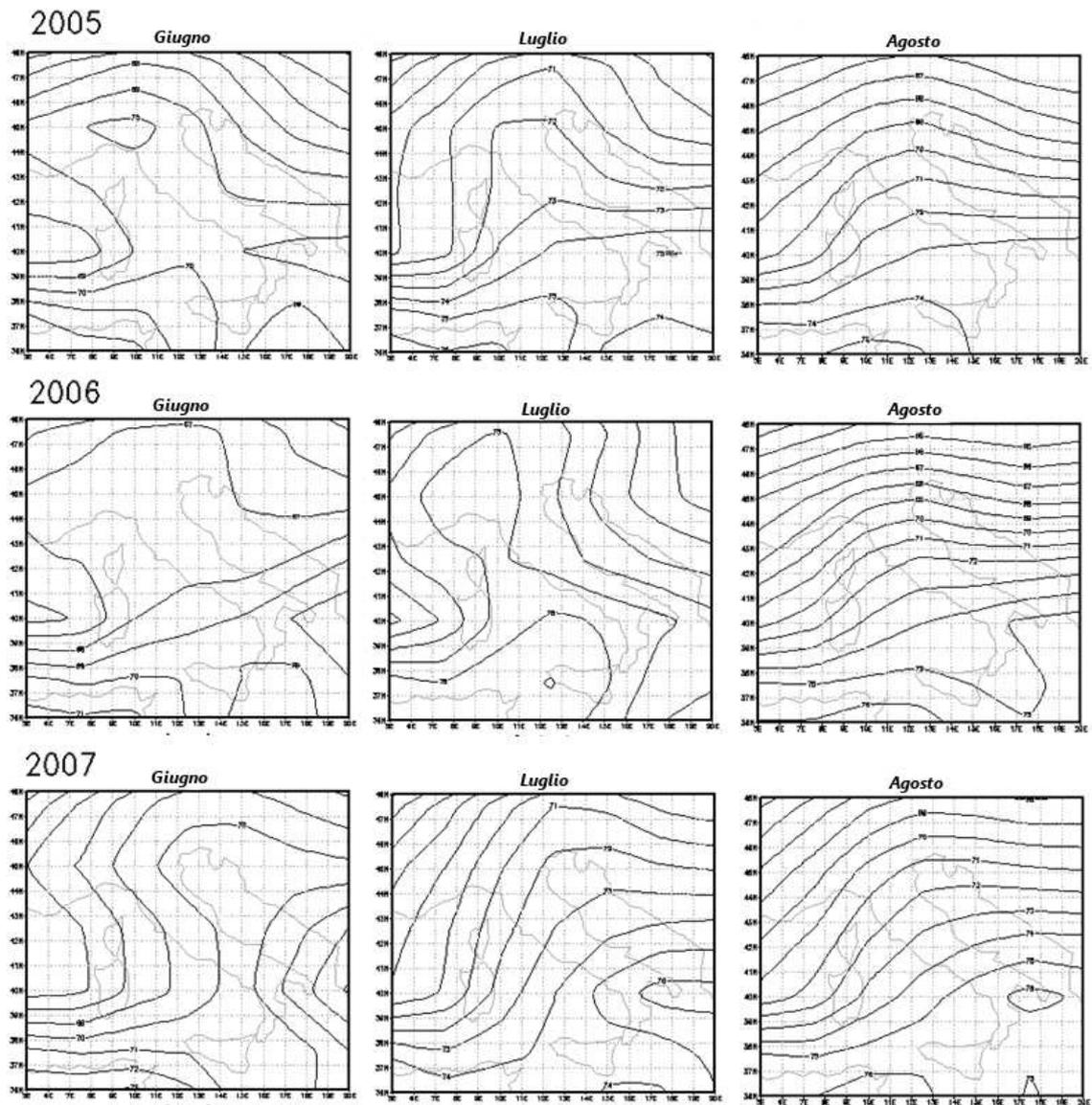


**Figura 3.12:** Valori del THI estivo (GLA) nel periodo 2002-2007.

Nelle figure 3.13 e 3.14 sono riportate le isolinee del valore medio di THI per i mesi di giugno, luglio, agosto di ogni singolo anno del periodo considerato (2002-2007), rispettivamente in figura 3.13 gli anni 2002, 2003 e 2004 ed in figura 3.14 gli anni 2005, 2006 e 2007. Anche in questa analisi l'anno 2003 si differenzia dai restanti cinque anni, infatti i valori medi mensili del THI che descrivono la penisola italiana per cinque dei sei anni in studio, per il mese di giugno si registrano valori di THI di 71-72, per il mese di luglio 72-74 e per il mese di agosto 71- 73 e quindi nelle categorie leggero rischio-rischio. Per il 2003 il mese di giugno registra valori di THI di 73-74, il mese di luglio di 74-76 e quello di agosto di 76-78 arrivando quindi ad una situazione di allarme già nel mese di luglio e protraendosi fino al mese di agosto.



**Figura 3.13:** Valori del THI per i mesi di giugno, luglio ed agosto per gli anni 2002, 2003 e 2004.



**Figura 3.14:** Valori del THI per i mesi di giugno, luglio ed agosto per gli anni 2005, 2006 e 2007.

## 3.2 Studio sulla mortalità

### 3.2.1 Variazioni stagionali della mortalità

La verifica retrospettiva degli effetti delle condizioni climatiche sulla mortalità delle bovine da latte sulla penisola italiana, nel periodo 2002-2007, ha evidenziato una associazione significativa ( $P < 0.001$ ) tra mortalità e stagioni per l'intero periodo di studio.

In tabella 3.4 sono riportati gli eventi di mortalità per stagione ed i valori dell'analisi sul rischio relativo per le stagioni con il più alto e il più basso numero di eventi registrato.

**Tabella 3.4:** Numero di eventi di mortalità per stagione e, in parentesi, indicazione del rischio relativo per le stagioni con il più alto e il più basso numero di eventi registrato.

Anno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Totale
2002	12,562	<b>11,775 (0,87)</b>	<b>15,652 (1.16)</b>	14,180	54,169
2003	13,850	<b>13,077 (0.83)</b>	<b>21,830 (1,39)</b>	14,106	62,863
2004	13,095	<b>11,974 (0,90)</b>	<b>15,020 (1.13)</b>	13,264	53,326
2005	11,930	<b>11,063 (0.93)</b>	<b>12,773 (1,07)</b>	11,982	47,748
2006	11,529	<b>10,579 (0.86)</b>	<b>14,200 (1.16)</b>	12,778	49,086
2007	<b>11,259 (0.85)</b>	11,275	15,165	<b>15,229 (1.15)</b>	52,928
2002-2007	74,225	<b>69,716 (0.87)</b>	<b>94,640 (1.18)</b>	81,539	320,120

La stagione primaverile e quella estiva, ad eccezione dell'anno 2007, sono state rispettivamente le stagioni con il più basso e il più alto numero di decessi. Il rischio relativo di mortalità per l'estate è compreso tra 1.07 (anno 2005;  $P < 0.001$ ) e 1.39 (anno 2003;  $P < 0.001$ ). Nel 2003 l'incremento dei decessi tra la stagione primaverile e quella estiva è stato di circa il 67 %. Considerando l'intero periodo (2002 - 2007), il rischio relativo per l'estate e la primavera è rispettivamente di 1.18 ( $P < 0.001$ ) e di 0.87 ( $P < 0.001$ ). Comparato con la primavera, il rischio di morte durante la stagione estiva è stato superiore del 36%.

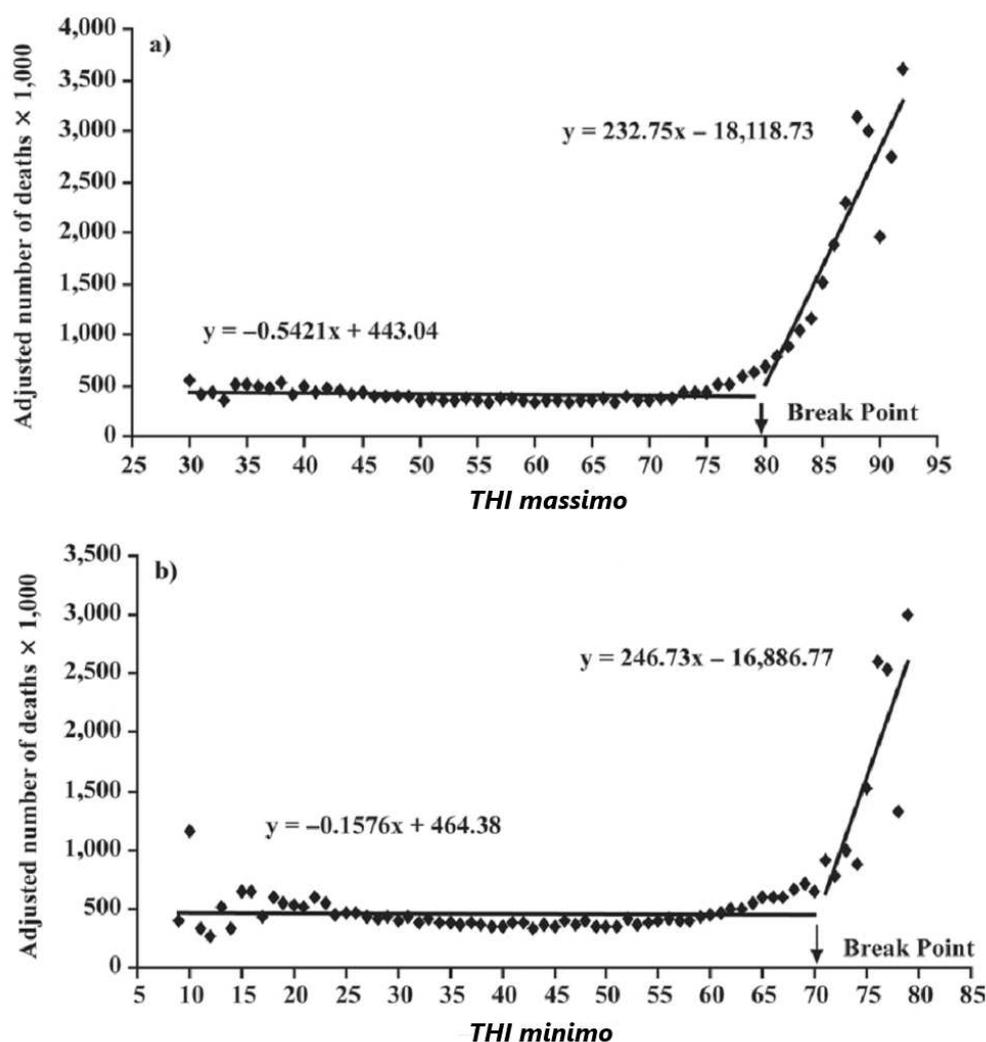
Il tasso di mortalità annuale è compreso tra 2.6% (anno 2005) e il 3.3% (anno 2003). Mentre nel corso dell'intero periodo di studio il tasso di mortalità medio stagionale registrato è stato rispettivamente di 0.85 e di 0.62% ( $P < 0.001$ ) per l'estate e la primavera.

Se si considerano gli eventi di mortalità verificatisi nei soli mesi estivi, l'analisi della varianza mostra che il mese di agosto ( $5,756 \pm 676.2$ ) ha la più alta mortalità rispetto ai mesi di giugno ( $4,839 \pm 344.8$ ) e luglio ( $5,435 \pm 284$ ) e che tra i mesi di luglio e agosto il numero di decessi non risulta diverso in modo significativo. Il 2003 è stato l'anno con il maggior numero di eventi di mortalità registrato sia per la stagione primaverile che per la stagione estiva (rispettivamente le stagioni con il più basso e il più alto numero di decessi). Diversi studi su gli umani hanno riportato il 2003 come l'anno in cui si è registrato un elevato numero di eventi di mortalità nei paesi europei associato alle elevate temperature registrate (Díaz Jiménez et al., 2005; Michelozzi et al., 2005; Robine et al., 2008). Inoltre, l'aumento

della mortalità durante l'estate del 2003 è stata riportata in diversi paesi europei per una varietà di specie animali da allevamento (Fink et al, 2004; <http://lists.envirolink.org/pipermail/ar-news/Week-of-Mon-20030804/004707.html>)

### 3.2.2 Relazioni tra THI e mortalità

I risultati della prima parte di questo studio, realizzato utilizzando la regressione a due fasi, sono riportati in figura 3.15 rispettivamente per il THI massimo e il THI minimo.



**Figura 3.15:** Numero adattato degli eventi di mortalità (AND, adjusted number of deaths) in relazione al THI massimo e minimo.

Sia per il THI massimo che per il THI minimo è stato possibile individuare due regressioni distinte. Per il THI massimo, nel range dei valori compresi tra 30 e 92 (valori registrati nelle 73 stazioni meteorologiche utilizzate per l'intero periodo di studio 2002-2007, a cui è stato possibile associare almeno un decesso), è stato individuato un *break point* di 79.6 ( $R^2 = 0.968$ ). Il modello utilizzato ha evidenziato 2 regressioni distinte di seguito riportate:

1) la prima retta di regressione che rappresenta il range dei valori di THI (da 30 a 79.6 THI) al di sotto del limite soglia è:

$$AND = 443.04 - 0.5421E-04 \times THI \quad (R^2 = 0.0119; \text{n.s.})$$

2) la seconda retta di regressione rappresenta il range dei valori di THI (da 79.6 a 92 THI) al di sopra del limite soglia è:

$$AND = -18.119 + 232.75 \times THI \quad (R^2 = 0.838; P < 0.01)$$

Analogamente per il THI minimo, nel range dei valori compresi tra 9 e 79 (valori registrati nelle 73 stazioni meteorologiche utilizzate per l'intero periodo di studio 2002 -2007, a cui è stato possibile associare almeno un decesso), è stato individuato un *break point* di 70.3 ( $R^2 = 0.892$ ). Il modello utilizzato ha evidenziato 2 regressioni distinte di seguito riportate:

1) la prima retta di regressione che rappresenta il range dei valori di THI (da 9 a 70.3 THI) al di sotto del limite soglia è:

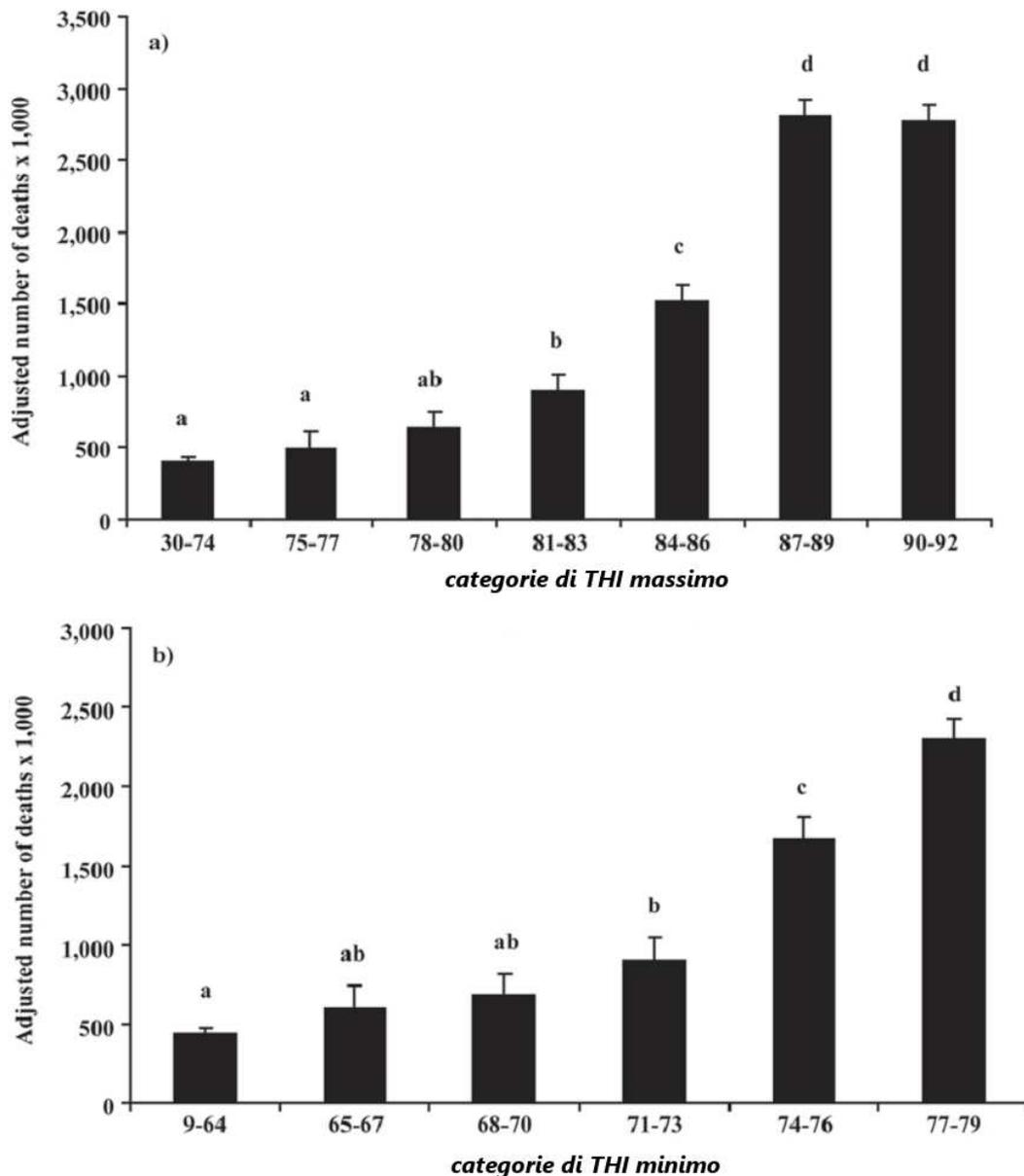
$$AND = 464.38 - 0.1576 \times THI \quad (R^2 = 0.0004; \text{n.s.})$$

2) la seconda retta di regressione che rappresenta il range dei valori di THI (da 70.3 a 79 THI) al di sopra del limite soglia è:

$$AND = -16,886.77 + 246.73 \times THI \quad (R^2 = 0.6151; P < 0.01)$$

I risultati suggeriscono che un significativo aumento della mortalità nella bovina da latte si ha quando il valore del THI massimo giornaliero è superiore a 80 e il THI minimo notturno è superiore a 70 (THI massimo = 79.6; THI minimo = 70.3).

I risultati relativi al secondo approccio di studio, l'ANOVA, sono riportati in figura 3.16.



**Figura 3.16:** Media  $\pm$  SE del numero adattato (AND, adjusted number of deaths) di eventi di mortalità raggruppati per categorie di THI massimo e THI.

Confrontando con la categoria di THI massimo 30-74, l'AND è stato significativamente più alto per le categorie 81-83, 84-86, 87-89, e 90-92. Inoltre, il valore di AND registrato per le categorie 87-89 e 90-92 non ha evidenziato differenze significative tra loro ma è risultato significativamente più alto dell'AND registrato per tutte le altre categorie. Confrontando con la categoria di THI minimo 9-64, l'AND è stato significativamente più alto per le categorie 71-73, 74-76 e 77-79. Inoltre, l'AND per la categoria 77-79 è risultato significativamente più

alto di quello registrato per tutte le altre categorie. Questi stessi risultati rimangono invariati per l'ANOVA eseguita su singolo anno.

Non esistono studi che valutano il valore di THI massimo al di sopra del quale il rischio di morte aumenta. Studi precedenti hanno stabilito i valori di THI per i quali le funzioni produttive e fisiologiche (produzione di latte e riproduzione) sono negativamente influenzate dallo stress termico (Kadzere et al., 2002; West, 2003). Inoltre, Nienaber e Hahn (2007) hanno indicato un valore di THI di 79 oltre il quale le vacche da latte si trovano in uno stato di pericolo con effetti sulla respirazione. I risultati ottenuti, con un valore critico di THI massimo di 80 al di sopra del quale lo stress da caldo può diventare pericoloso e compromettere la sopravvivenza stessa, sono in linea con quanto riportato da Silanikove (2000) che ha indicato un valore di THI di 80 per una fase dannosa e con un THI > 80 la fase è estrema. Per quanto riguarda l'analisi sul THI minimo, i dati mostrano che per valori di THI da 9 a 35 non viene associata una significativa variazione della mortalità, ma il valore soglia di THI minimo trovato è un elemento importante durante i periodi caldi ed è essenziale non solo per la produzione e l'efficienza riproduttiva ma anche per la sopravvivenza stessa. I risultati indicano infatti che quando il THI minimo giornaliero è maggiore di 70, si verificano incrementi nei decessi senza considerare il valore del THI massimo. Inoltre, se un valore di THI pari a 64 è valore limite di sicurezza per ridurre gli effetti dello stress termico sulla produzione di latte e sull'efficienza produttiva nella bovina da latte (West et al., 2003) il valore di THI minimo trovato per ridurre il rischio di morte è di 6 unità superiore. Il THI minimo è legato al recupero notturno di cui l'animale ha bisogno per non aggravare la sua situazione di stress.

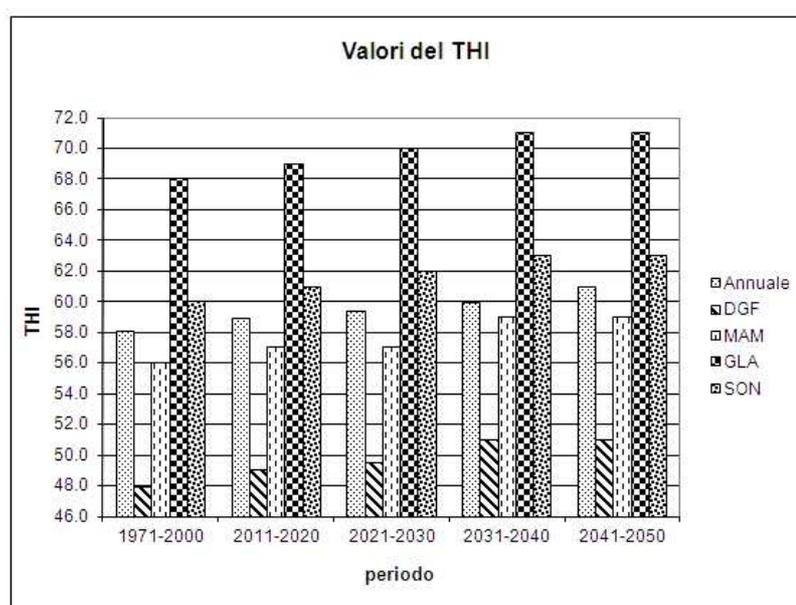
I risultati dell'ANOVA supportano quelli derivati dall'analisi di regressione; infatti i valori di THI al di sopra dei due break-point sono raggruppati nella categoria di pericolo. L'analisi sul THI massimo ha evidenziato che la mortalità è iniziata ad aumentare ad un valore di THI di 81 ed è diventata massima tra i valori di 87 e 92. In base alle categorie suggerite da Nienaber e Hahn (2007) un valore di THI di 84 è considerato un valore al di sopra del quale gli animali si trovano in uno stato di emergenza e necessitano di un aiuto per la loro sopravvivenza (Silanikove, 2000). I risultati riportati mostrano che con un THI di 84 ci si trovi in uno stato di emergenza. Nella categoria di THI > 84 (84-86) il rischio di morte è elevato e per il valore di 87 il rischio di morte è massimo. Per il THI minimo la mortalità inizia ad aumentare per un valore di THI di 71 continuando fino a raggiungere un massimo nella categoria 77-79.

Questi risultati, insieme alle previsioni meteo, consentirebbero di applicare misure di mitigazione per lo stress da caldo o interventi di emergenza per assicurare la sopravvivenza. I valori di riferimento forniti possono permettere un uso efficace dei sistemi di raffrescamento nei periodi di caldo; infatti anche il valore di THI registrato durante la parte fresca della giornata può essere critico per la sopravvivenza se è al di sopra di quello minimo e sarebbe possibile applicare misure di raffreddamento per prevenire un peggioramento nelle condizioni.

### 3.3 Studio di scenario

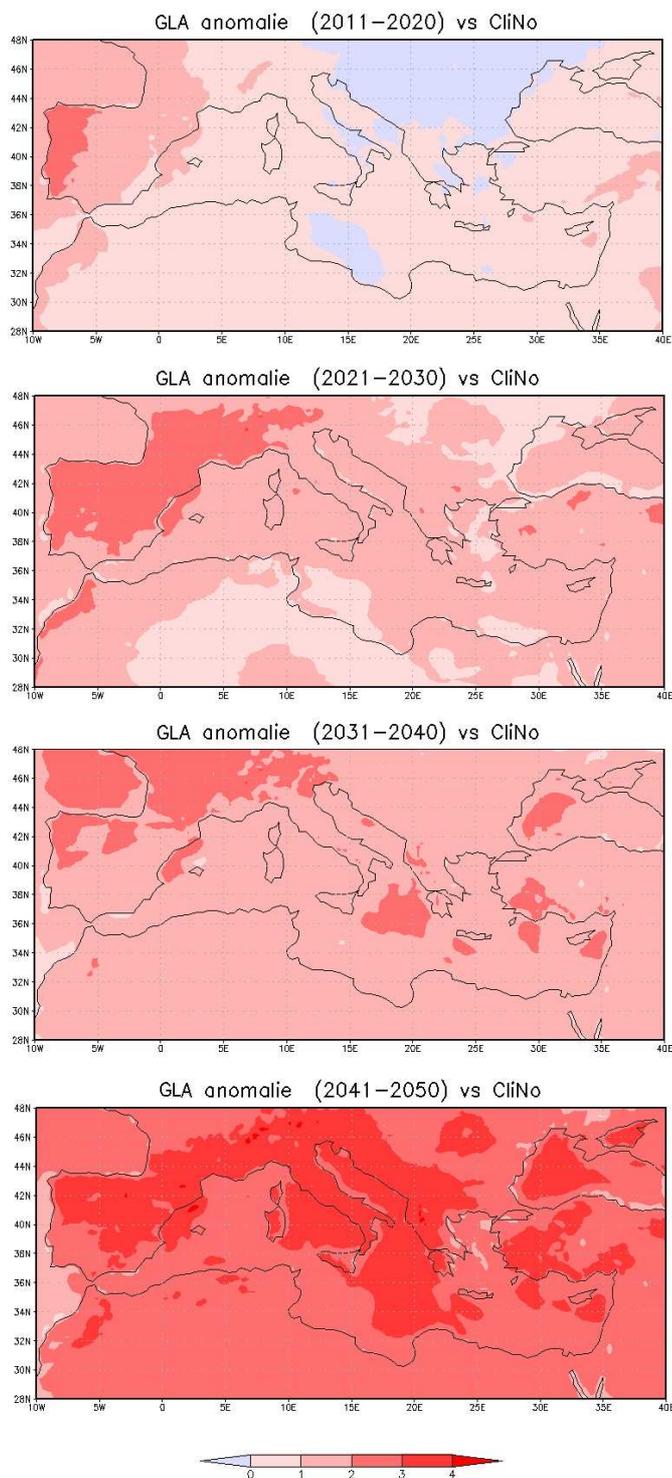
#### 3.3.1 Il bacino del Mediterraneo

L'analisi dei valori del THI annuale e stagionale per il CliNo (1971-2000) e per le quattro decadi 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050 sono riportati nella figura 3.17. Nel periodo 1971-2050 i valori annuali del THI variano da 58.1 a 60.9, nella stagione invernale (DGF) da 47.9 a 51, in quella primaverile (MAM) da 56 a 59, in quella estiva (GLA) da 68 a 71 e in quella autunnale (SON) da 60 a 63.



**Figura 3.17:** Valori del THI annuale e stagionale calcolato per il CliNo (1971-2000) e per le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 su tutta l'area in studio.

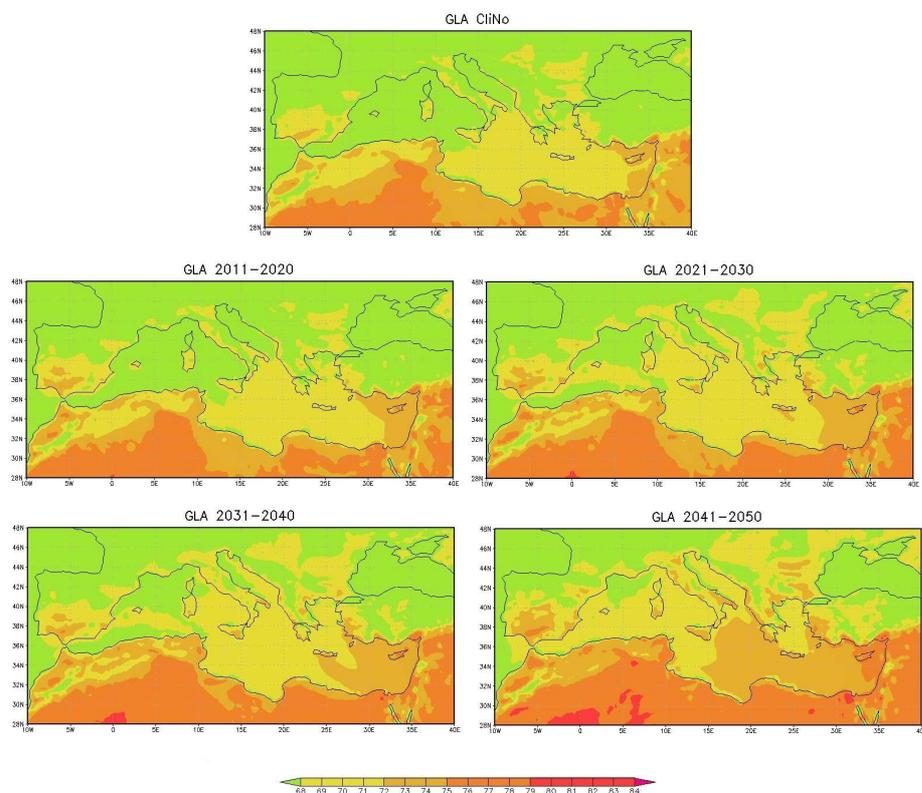
Sulla base dei risultati ottenuti durante lo studio e dei dati di letteratura relativi ai valori di THI critico per la salute degli animali, il loro benessere e le loro performance, l'area presenta caratteristiche di rischio di stress termico per gli animali solo durante la stagione estiva. In questo contesto si riportano in figura 3.18 i risultati delle anomalie di THI per l'estate (GLA) dei quattro decenni considerati rispetto al Clino (1971-2000).



**Figura 3.18:** Anomalie del THI estivo (GLA) del le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 rispetto al Clino (1971-2000).

Considerando l'intero bacino è previsto un riscaldamento generale dell'area anche se in modo non omogeneo. Con la sola eccezione della prima decade in studio (2011-2020) durante la quale si prevede un'anomalia negativa nell'area balcanica e nel centro del Mediterraneo, la stagione estiva dei quattro decenni sarà caratterizzata da anomalie positive su tutta l'area del bacino. La prima decade analizzata (2011-2020), mostra un incremento di un'unità di THI nella maggior parte del bacino e da due a tre unità di THI nella parte occidentale (penisola iberica, Algeria e Marocco). Nella decade 2021-2030 l'incremento da due a tre unità di THI si espande e copre l'intero territorio italiano. Infine, la mappa di anomalia riferita alla decade 2041-2050 indica un incremento da tre a quattro unità di THI nella penisola iberica, nella Francia meridionale, in nord Africa, in Italia, in Grecia, in Turchia e nell'area balcanica.

I risultati dell'analisi dei valori THI estivo (GLA) per il CliNo e le quattro decadi effettuata considerando le categorie del benessere animale è riportata in figura 3.19 (i diversi colori nelle mappe identificano le differenti categorie di benessere animale).



**Figura 3.19:** Valore del THI estivo (GLA) in relazione alle categorie di benessere animale per il CliNo (1971-2000) e per le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050). I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale:  $THI < 68$ ,  $68 \leq THI < 72$ ,  $72 \leq THI < 75$ ,  $75 \leq THI < 79$ ,  $79 \leq THI < 84$ , and  $THI \geq 84$ .

I risultati di questo studio evidenziano come le mappe relative ai quattro decenni sono molto simili tra loro, ma differiscono in modo significativo dalla mappa del CliNo. Principalmente la mappa del CliNo mostra che il 36mo parallelo Nord marca una linea di confine tra la categoria che non causa problemi alla salute degli animali ( $THI < 68$ ) e le altre categorie. Lo stesso confine tra queste categorie si sposta, approssimativamente al 40mo parallelo Nord se si considerano le mappe di scenario. Inoltre è possibile notare un incremento di rischio per la salute, il benessere e la produttività (condizione di pericolo,  $79 \leq THI < 84$ ) nella zona sud-ovest. Infine, le mappe di scenario indicano che l'area balcanica e le coste e le isole italiane passano da zone in cui non ci sono rischi ( $THI < 68$ ) a zone in cui è percepito un leggero disagio ( $68 \leq THI < 72$ ). In termini generali, le mappe scenario indicano un allargamento delle aree nel bacino dove i valori del THI estivo provocheranno disagio negli animali da allevamento. Nel dettaglio, se si osserva la decade 2041-2050, solo il nord della Spagna, la Francia, le regioni alpine e la Turchia orientale avranno valori medi del THI estivo al di sotto del valore critico ( $THI < 68$  in verde nella mappa). Inoltre, la maggior parte del bacino sarà caratterizzato da un cambiamento di categoria che indica un rischio più elevato per la salute, il benessere e le performance degli animali. In particolare, nelle aree del nord africane e nei paesi orientali si prevedono valori medi del THI estivo in condizioni di allarme ( $75 \leq THI < 79$ ).

Per l'intero periodo 1971-2050 i valori medi stagionali e deviazione standard di THI nel bacino del Mediterraneo sono in DGF  $49 \pm 1$ , in MAM  $57 \pm 4$ , in GLA  $69 \pm 2$  e in SON  $61 \pm 6$ . L'analisi mostra che l'estate (GLA) è l'unica stagione in cui THI raggiunge valori critici per la salute animale. Nella stagione autunnale, si nota invece una forte variabilità tra mesi. Un approfondimento sui dati relativi ai singoli mesi autunnali suggerisce che il mese di settembre può essere considerato come un mese estivo. Nella tabella 3.5 si riportavano i valori del THI nel bacino del Mediterraneo per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre.

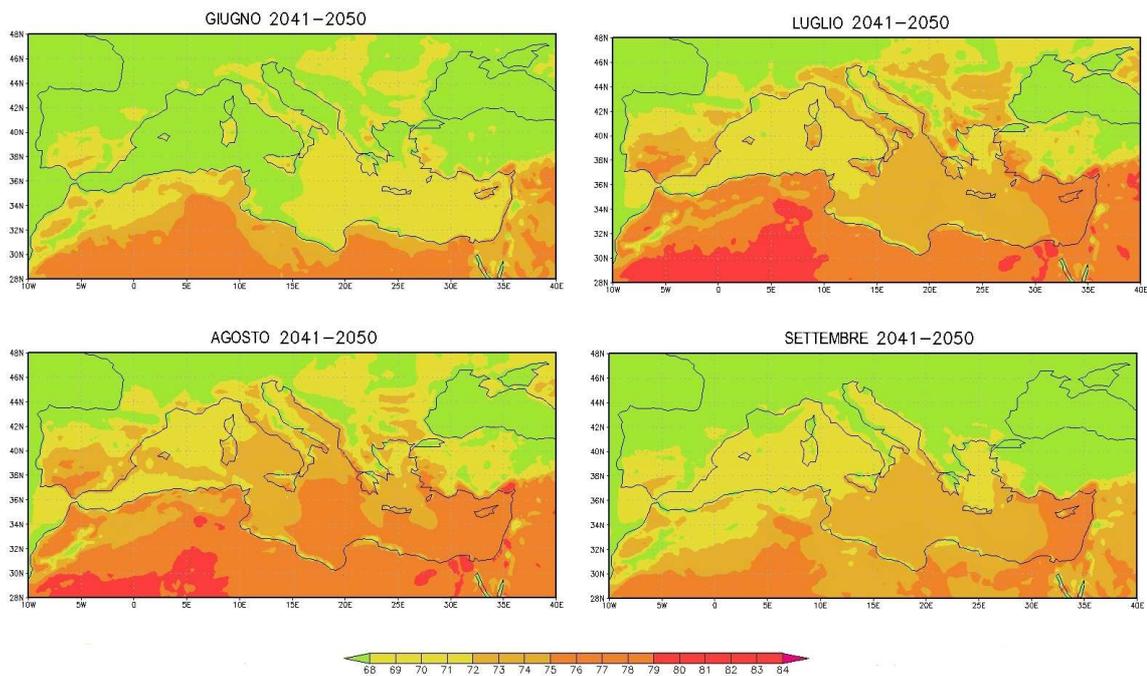
**Tabella 3.5:** Valori medi  $\pm$  deviazioni standard del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre per il CliNo e le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050) nell'area mediterranea.

Periodo	Mese	THI	SD
1971-2000 (CliNo)	Giugno	65.8	0.7
	Luglio	69.2	0.7

	Agosto	69.7	0.7
	Settembre	66.5	0.8
2011-2020	Giugno	66.0	1.0
	Luglio	70.0	0.7
	Agosto	70.3	0.8
	Settembre	67.1	0.8
2021-2030	Giugno	67.2	0.5
	Luglio	70.7	0.3
	Agosto	70.8	0.5
	Settembre	67.9	0.5
2031-2040	Giugno	67.4	0.6
	Luglio	71.0	0.7
	Agosto	71.1	0.5
	Settembre	68.3	0.8
2041-2050	Giugno	68.4	0.7
	Luglio	72.2	0.5
	Agosto	72.3	0.6
	Settembre	69.2	0.7

L'analisi quantitativa mostra come il mese nel di settembre si registra un valore del THI più alto rispetto a quello di giugno per ogni periodo analizzato fino ad un massimo di +1.1 nel decennio 2021-2030. Il mese più caldo è agosto che, rispetto al mese di luglio, registra un +0.1 nei decenni 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050, un +0.3 nel decennio 2011-2020 e +0.5 nell'intero periodo considerato (1971-2050). I mesi di luglio ed agosto risultano quindi i mesi più caldi ma molto simili tra loro.

In figura 3.20 è riportata la caratterizzazione del THI per la decade 2041-2050 per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre.



**Figura 3.20:** Valore del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre in relazione alle categorie di benessere animale per la decade 2041-2050. I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale:  $THI < 68$ ,  $68 \leq THI < 72$ ,  $72 \leq THI < 75$ ,  $75 \leq THI < 79$ ,  $79 \leq THI < 84$ , and  $THI \geq 84$ .

E' possibile notare subito che anche il mese di settembre risulta caratterizzato da vaste aree di disagio ( $72 \leq THI < 75$ ) come per il mese di giugno, con un peggioramento nelle condizioni allerta, ( $75 \leq THI < 79$ ) nella parte orientale del bacino. Dall'analisi risulta che i mesi di luglio ed agosto saranno i mesi in cui il rischio risulterà maggiore (condizioni di pericolo,  $79 \leq THI < 84$ ) e gli impatti più gravi si faranno sentire in Nord Africa e nei paesi del Mediterraneo orientale. Anche la Penisola Iberica, l'Italia e i Balcani saranno interessate dalla condizione di disagio ( $72 \leq THI < 75$ ).

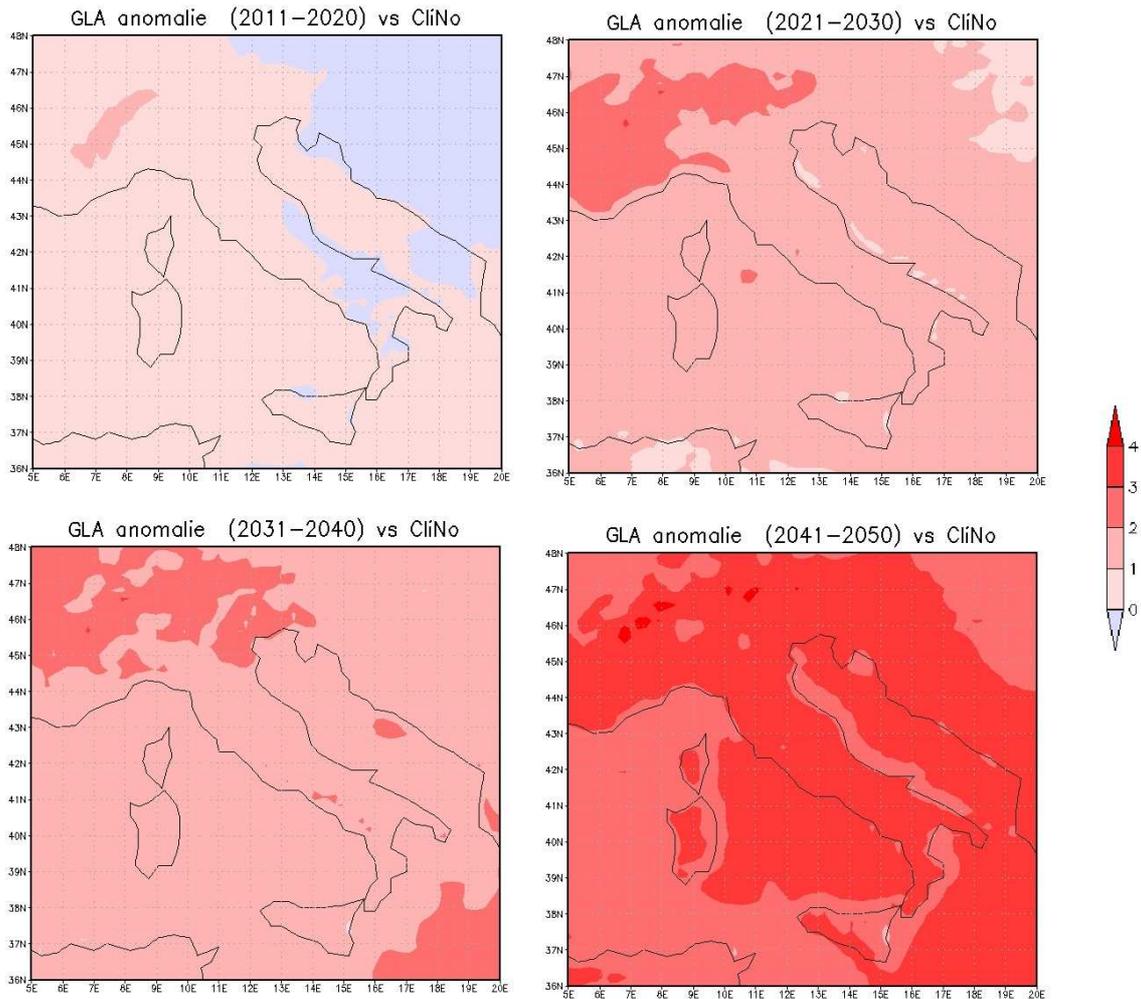
Nonostante la grande variabilità dell'area, il presente studio mostra quindi un aumento complessivo THI nel bacino del Mediterraneo per l'intero periodo 1951-2050. Secondo l'IPCC, un aumento della temperatura globale di  $2^{\circ}C$  porterà, nella regione mediterranea, ad un rialzo delle temperature da 1 a  $3^{\circ}C$ . Il riscaldamento sarà più risentito nell'entroterra che nella fascia costiera. Il maggiore aumento lo subiranno le temperature estive, ed è prevedibile che in quel periodo il numero di giornate estremamente calde e la presenza di ondate di caldo possa aumentare soprattutto nell'entroterra e nelle località settentrionali del Mediterraneo (IPCC, 2007). Lionello e Giorgi (2007) hanno mostrato i risultati di una simulazione con scenario A1B, e le mappe evidenziano un notevole incremento termico in

tutte le stagioni, ed in particolare in estate, in tutta l'area mediterranea, leggermente inferiore soltanto al centro del bacino. Per quanto riguarda la piovosità, invece, i loro risultati mostrano come l'Europa meridionale abbia una caratterizzazione nettamente diversa: la metà superiore appare più umida e quella inferiore più arida e la linea di demarcazione appare oscillare, a seconda delle stagioni, tra le regioni dell'Italia settentrionale (in inverno e primavera) e la Scandinavia (in estate). Inoltre, in estate, l'intera Europa sud-occidentale appare in condizioni di maggiore siccità, con valori estremi in Portogallo, Grecia e in Italia.

L'area meridionale del Mediterraneo, inclusa la maggior parte della penisola iberica, il centro e il sud d'Italia, la Grecia e la Turchia, il Medio Oriente e dell'Africa settentrionale sono a maggior rischio di stress termico nel settore zootecnico. Inoltre, in linea con altri studi (Paeth and Hense, 2005; Goubanova and Li, 2007; Somot et al., 2008, 2009), queste zone sono particolarmente a rischio per aumenti di stress idrico in l'agricoltura e per il rischio di desertificazione. L'area del Mediterraneo, in assenza di strategie di mitigazione e di adattamento, rimane una regione vulnerabile ai cambiamenti climatici previsti, soprattutto un'intensificazione degli eventi estremi come le ondate di calore in estate su tutta l'Europa, che si prevedono nel prossimo futuro maggiormente intense per numero e portata, avranno un impatto notevole sull'aumento di mortalità e sulle risorse agricole nel loro complesso (Kuglitsch et al., 2010) con gravi implicazioni socio-economiche. Altri eventi estremi previsti durante l'estate riguardano la mancanza prolungata di precipitazioni (siccità) sull'Europa meridionale e, durante l'inverno, le precipitazioni estreme (alluvioni) su tutta l'Europa che creeranno una marcata differenza fra abbondanza e scarsità d'acqua fra nord e sud Europa e, per l'Italia, fra nord e sud Italia.

### 3.3.2 La penisola italiana

Sempre sulla base dei risultati ottenuti durante lo studio e dei dati di letteratura relativi ai valori di THI critico per la salute degli animali, il loro benessere e le loro performance, anche per la penisola italiana si riportano i risultati dell'analisi stagionale estiva. In figura 3.21 si riportano i risultati delle anomalie di THI dei quattro decenni considerati rispetto al CliNo (1971-2000).

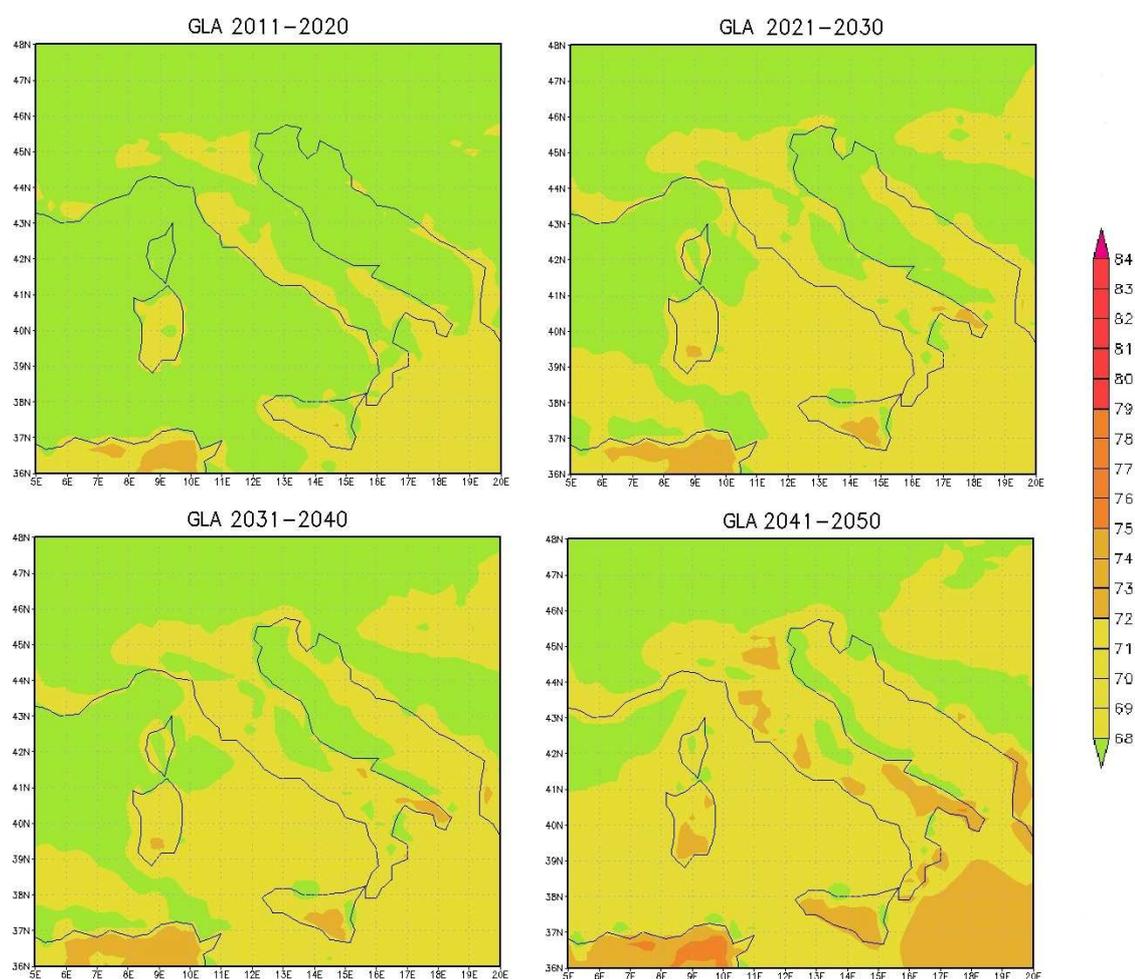


**Figura 3.21:** Anomalie del THI estivo (GLA) del le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 rispetto al CliNo (1971-2000).

Anche per la penisola italiana è previsto un generale riscaldamento dell'area. L'anomalia negativa per la decade 2011-2020, già analizzata per l'intero bacino, tocca l'Italia nella parte centro-meridionale. Nelle decadi successive l'incremento di THI si estende su tutta l'area. Nella decade 2021-2030 l'incremento da due a tre unità di THI copre l'intero italiano con un peggioramento al nord. Nella decade successiva, 2031-2040 continua il peggioramento al nord, per arrivare alla situazione riferita alla decade 2041-2050 in cui tutta la penisola è interessata da un incremento dei valori di THI da tre a quattro unità.

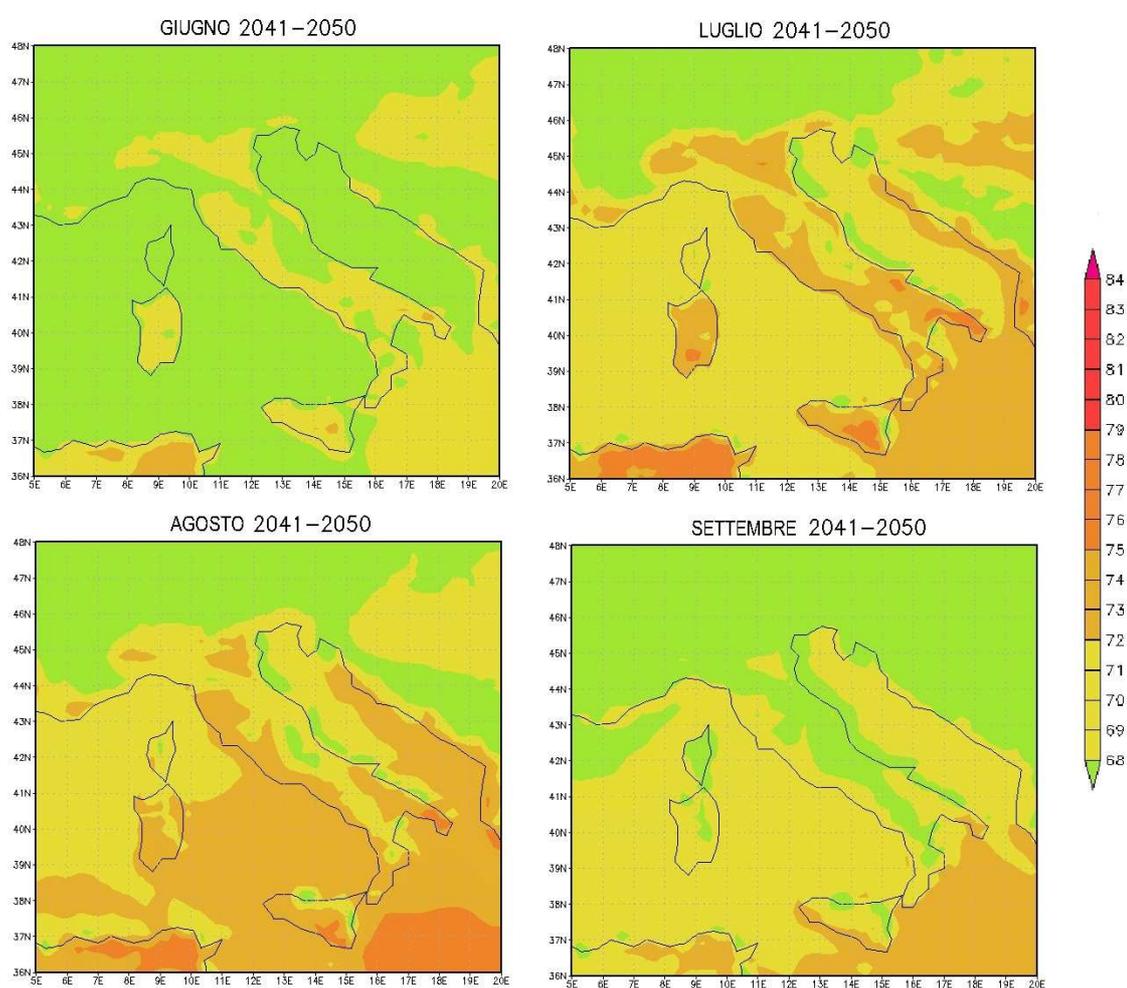
I risultati dell'analisi dei valori THI estivo (GLA) per le quattro decadi effettuata considerando le categorie del benessere animale è riportata in figura 3.22 (i diversi colori nelle mappe identificano le differenti categorie di benessere animale). Per la stagione estiva, già nella decade 2011-2020, le regioni di Lombardia, Veneto, Emilia Romagna e parte del

Piemonte al nord, Toscana e Lazio al centro, Puglia e Calabria al sud e le due isole saranno interessate da leggero disagio ( $68 \leq \text{THI} < 72$ ). Le mappe relative ai decenni 2021-2030 e 2031-2040 sono molto simili tra loro e, durante questo periodo, la situazione di disagio si estende nel nord d'Italia ed interessando le regioni di Molise, Campania e Basilicata, mentre la Puglia, la Sicilia (zone di Ragusa, Catania e Caltanissetta) e la Sardegna (zona Cagliari) hanno un peggioramento nelle condizioni passando da leggero rischio alla categoria di rischio ( $72 \leq \text{THI} < 75$ ). Osservando la caratterizzazione dell'area per la decade 2041-2050, si nota un'estensione delle aree a rischio. In particolare l'Emilia Romagna, parte della Toscana e del Lazio, tutto il territorio pugliese, la Sicilia in modo esteso e la zona meridionale della Sardegna. Sugli Appennini abruzzesi rimane una zona in cui non ci sarebbero rischi ( $\text{THI} < 68$ ).



**Figura 3.22:** Valore del THI estivo (GLA) in relazione alle categorie di benessere animale per le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050). I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale:  $\text{THI} < 68$ ,  $68 \leq \text{THI} < 72$ ,  $72 \leq \text{THI} < 75$ ,  $75 \leq \text{THI} < 79$ ,  $79 \leq \text{THI} < 84$ , and  $\text{THI} \geq 84$ .

In figura 3.23 è riportata la caratterizzazione del THI per la decade 2041-2050 per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre. E' possibile notare subito che il mese di luglio, per la penisola italiana, risulta maggiormente dannoso con aree a rischio più ampie da nord a sud e aree (parte della Puglia, della Sicilia e della Sardegna) in cui esiste una situazione di allarme ( $75 \leq \text{THI} < 79$ ). Nel mese di giugno le aree con un leggero rischio risultano maggiori rispetto al mese di settembre, in cui rimangono a rischio le coste tirreniche della penisola e le isole.



**Figura 3.23:** Valore del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre in relazione alle categorie di benessere animale per la decade 2041-2050. I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale:  $\text{THI} < 68$ ,  $68 \leq \text{THI} < 72$ ,  $72 \leq \text{THI} < 75$ ,  $75 \leq \text{THI} < 79$ ,  $79 \leq \text{THI} < 84$ , and  $\text{THI} \geq 84$ .

Un fenomeno aggiuntivo da non sottovalutare è la desertificazione che non riguarda solamente le aree africane (zona Sahariana e sub-Sahariana) e le altre aree desertiche del

globo, ma anche ai paesi del nord Mediterraneo. La desertificazione, alle nostre latitudini, è un processo di degrado delle terre lento, ma allo stesso tempo in sensibile evoluzione. Questo fenomeno è determinato soprattutto dall'impatto antropico, e si riferiscono a problemi di degrado dei suoli delle aree agricole e naturali legati ai processi di urbanizzazione, di abbandono delle terre, della perdita di aree naturali ed ai conseguenti fenomeni di erosione dei suoli. Anche il territorio italiano è interessato dai problemi di degradazione, da imputare soprattutto ad una gestione territoriale non sempre sostenibile (Zerbi, 2002; Di Fazio et al., 2005). La desertificazione interessa circa il 5.5% del territorio italiano, ed in particolar modo sono state individuate diverse regioni a rischio: la Basilicata, la Calabria la Puglia, la Sardegna e la Sicilia. Inoltre, il 51.8% del territorio italiano, in base ad elaborazioni climatiche è stato considerato potenzialmente a rischio, in particolare la totalità delle regioni già interessate e parte delle regioni di Campania, Lazio, Abruzzo, Molise, Toscana, Marche e Umbria (Corona, 2005). La definizione di efficaci azioni di mitigazione della desertificazione richiede la disponibilità di stime e diagnosi affidabili.

## 4. Conclusioni

### 4.1 Strategie di mitigazione e di adattamento

Il settore dei ruminanti fornisce circa il 60% della produzione totale di proteine in tutta l'area mediterranea (Nardone et al., 2004) e la crescente domanda di proteine animali rende necessarie strategie di adattamento e di mitigazione per salvaguardare l'ambiente, la salute umana e il benessere degli animali. Secondo il report IPCC del 2007 il riscaldamento globale è *inequivocabile*, e lo stress da caldo determina una significativa riduzione dell'attività metabolica, della produzione, un calo del tasso di concepimento e delle difese immunitarie e quindi una maggiore predisposizione alle malattie. Esiste una vasta letteratura sugli impatti futuri dei cambiamenti climatici sulle malattie e la salute umana. Dal punto di vista zootecnico gli impatti dei cambiamenti climatici sulle malattie del bestiame sono estremamente complessi, ad esempio variazioni di temperatura o cambiamenti nel regime delle precipitazioni possono aumentare lo sviluppo di agenti patogeni o parassitari (zanzare, mosche, zecche, etc.) e aumentare la probabilità di trasmissione di alcune malattie (BTV Bluetongue virus).

Le proiezioni dei cambiamenti climatici in generale sull'area in studio sono chiari, ma non lo è altrettanto chiara la loro portata. E' previsto un riscaldamento delle temperature nella stagione invernale ed in quella estiva e un aumento, sia in frequenza che in intensità, di eventi meteorologici estremi che rimangono più difficili da prevedere. Le analisi degli impatti diretti e indiretti del cambiamento climatico sulla produzione zootecnica ad oggi sono poche, ma naturalmente, per le avverse condizioni meteo-climatiche sulla produzione, si prevede una sostanziale diminuzione del reddito dell'azienda agricola.

Dal punto di vista zootecnico le principali strategie per ridurre gli effetti dello stress termico e le perdite economiche sono:

- il miglioramento delle condizioni ambientali di allevamento;
- l'adozione di idonei accorgimenti alimentari e nutrizionali;
- il miglioramento genetico dei bovini da latte.

Le strategie possono essere di tipo ambientale e/o alimentare. Tra le prime è indispensabile una corretta progettazione della stalla che deve tenere in considerazione i fattori che permettono di salvaguardare il più possibile il comfort termico degli animali:

- Orientamento: il giusto orientamento dell'edificio fornisce una protezione maggiore nei confronti della luce solare diretta e consente un livello sufficiente di zone d'ombra. In mancanza di venti (esempio in Pianura Padana) è da preferirsi un orientamento est-ovest in quanto si limita l'esposizione alla radiazione solare degli elementi di chiusura (tamponamenti, serramenti, copertura) e, quindi, il surriscaldamento dell'edificio, favorendo la ventilazione naturale interna, indotta dalla differenza di temperatura tra le due pareti lunghe, mentre in presenza di venti dominanti, è opportuno disporre l'edificio con orientamento nord-sud per sfruttarne al meglio l'effetto;
- Copertura: Una buona coibentazione del tetto (lane minerali, poliuretano espanso ed altri materiali simili) limita efficacemente il surriscaldamento (la temperatura della superficie di copertura può raggiungere i 60-70°C per effetto dell'irraggiamento solare), e una inclinazione adeguata favorisce la fuoriuscita di gas e dell'umidità della stalla.
- Ombreggiatura: Se esiste uno spazio esterno (paddock) per gli animali la protezione dalla radiazione solare è indispensabile per ridurre l'effetto dello stress termico. Il paddock dovrebbe essere dotato di alberi o reti ombreggianti.
- Ventilazione naturale: una buona ventilazione migliora la dissipazione di calore all'interno dell'edificio. La ventilazione naturale dipende da fattori strutturali come l'altezza, larghezza, pendenza del tetto, apertura del culmo del tetto (effetto camino) e la velocità del vento, e quindi si cerca di trarre vantaggio dalle correnti e dall'effetto camino dell'aria calda attraverso aperture sufficientemente grandi (magari con pareti mobili, che possono essere tenute aperte o chiuse a seconda della temperatura) e collocate in punti strategici;
- Ventilazione forzata: l'installazione di ventilatori all'interno di una stalla ha lo scopo di favorire il raffrescamento degli animali attraverso l'allontanamento dell'aria calda. I ventilatori sono in genere collocati uno di fianco all'altro e orientati verso il basso con un angolo di 30° (Collier et al., 2006). Tuttavia, va notato che dal punto di vista del bilancio energetico e delle emissioni questo sistema è da considerarsi negativo.
- Ventilazione forzata con impianto a goccia (raffrescamento diretto o bagnatura degli animali): oltre a ventilazione forzata, una tecnica eccellente per ridurre lo stress da calore è l'uso di acqua come agente di raffreddamento, attraverso aspersione diretta o doccette a bassa pressione, che producono gocce d'acqua di grandi dimensioni che bagnano il mantello fino alla cute. Con questo tipo di sistema oltre al bilancio energetico si deve considerare anche il consumo di acqua.

- Raffrescamento indiretto: il sistemi più frequentemente impiegato per raffrescare gli animali sono i nebulizzatori ad alta pressione (producono gocce piccolissime che evaporano velocemente e raffreddano l'aria). Si deve essere sicuri che l'acqua evapori abbastanza rapidamente altrimenti si rischia di avere un incremento di umidità, un peggioramento del THI ed accumulo di acqua sul pavimento. Il sistema è utile nei climi aridi ma è meno adatto in clima con elevata umidità relativa, perché riduce la sua efficacia se l'aumento di umidità relativa superiore al 70%. Questo sistema richiede meno acqua rispetto al precedente.

Minore è la produzione di calore da parte dell'animale, maggiore è la quota di energia destinata alle produzioni zootecniche. Il rapporto ottimale tra temperatura ambientale e umidità relativa in relazione alla massima produzione di latte è di 23-24°C al 55% di umidità; superando detti valori si nota che a 29-30°C si verificano cali di produzione del 20%. Se si arriva a valori di 39-40°C con umidità relativa del 60% ecco che il calo produttivo arriva al 40-45%.

Le strategie alimentari riguardano la somministrazione serale dell'alimento facendo in modo che la produzione di calore associata alle fermentazioni ruminali avvenga prevalentemente durante le ore più fresche del giorno, sebbene sembrerebbe più importante evitare l'ingestione irregolare che porta ad una modificazione della flora ruminale, ad un abbassamento del pH e ad una caduta del tenore di grasso del latte. Dal punto di vista nutrizionale andrebbe fornita agli animali una razione che minimizzi la quantità di calore prodotto ma al contempo fornisca un adeguato apporto di nutrienti. Tuttavia è importante mantenere equilibrata la razione di alimenti per prevenire anomalie digestive, prima tra tutte l'acidosi ruminale sub acuta che potrebbe scatenarsi a seguito di uno squilibrio delle fermentazioni ruminali. Va infine ricordata l'importanza fondamentale che vi sia sempre a disposizione acqua pulita a volontà: i fabbisogni idrici infatti, che già in condizioni normali sono elevati (73.8 litri a 25°C), aumentano in modo drastico durante un situazione di stress da caldo (106 litri quando la temperatura è maggiore di 40°C).

Il miglioramento genetico dei bovini da latte è una tecnica che consente l'aumento delle prestazioni produttive e riproduttive degli allevamenti e mira alla selezione genetica di razze meno sensibili al caldo e/o al freddo. Il problema principale di questa tecnica è legato alla naturale complessità del fenomeno dell'adattamento termico e alle difficoltà di selezionare contemporaneamente la capacità di adattamento e la produzione.

Per adattamento si intendono tutte le modifiche possibili nella gestione di un sistema in risposta ai cambiamenti climatici effettivi o previsti (Watson et al., 1996). Si parla quindi di

scelte tecnologiche (come colture resistenti alla siccità), comportamentali (come cambiamenti nella scelta dell'alimentare) e gestionali (come ad esempio le diverse pratiche di gestione agricola). L'adattamento può essere spontaneo o pianificato. Nel 2001, l'IPCC Working Group II (Third Assessment), ha descritto diverse forme di adattamento:

- adattamento anticipatorio, che si svolge prima del cambiamento climatico che anticipa e prepara;
- adattamento reattivo, che si svolge dopo l'osservazione e l'analisi dei cambiamenti climatici;
- adattamento autonomo, che è un adattamento spontaneo che si attiva nei sistemi naturali e nella società;
- adattamento previsto, che risulta da una decisione politica deliberata, basata sulla consapevolezza che le condizioni sono cambiate o stanno cambiando;
- adattamento privato, che è iniziativa di individui, famiglie o società private per proprio interesse;
- adattamento pubblico, che è iniziativa di un ente pubblico per le necessità della collettività.

In conclusione, i risultati di questo studio suggeriscono che, agricoltori e politici, dovrebbero tenere in considerazione la variabilità del THI nel momento in cui debbano pianificare gli investimenti nel settore delle produzioni animale. In particolare, nelle aree del bacino THI dove l'aumento è stato più pronunciato o che hanno dimostrato di essere sottoposto ad eventi climatici estremi, gli investimenti dovrebbero, almeno in parte, essere diretti alla realizzazione di misure di adattamento, in modo da ridurre, dove possibile, l'impatto dello stress da caldo sul benessere e la salute degli animali e sulle loro prestazioni. Il bacino del Mediterraneo è un'area altamente eterogenea in termini di THI e i futuri cambiamenti climatici influiranno probabilmente non in modo uniforme le diverse aree del bacino. Le misure di adattamento descritte, che servono per moderare l'impatto del clima sul settore zootecnico, ed i risultati qui riportati testimoniano che la loro attuazione non è uniformemente distribuita all'interno dell'area. Dovrebbero essere sviluppati misure di mitigazione e di adattamento appropriate per contesti specifici in termini di cultura, società, o sistemi politici, e che possono contribuire alla sostenibilità ambientale, nonché allo sviluppo economico e alla lotta della povertà. Inoltre, gli interventi sulle misure di adattamento e mitigazione dovrebbero essere supportati da adeguate informazioni scientifiche quantitative sulle future condizioni ambientali. Questo consentirebbe sia modifiche nel management aziendale, per poter ridurre le conseguenze dirette ed indirette

dell'aumento delle temperature, sia la creazione di sistemi di allerta che permetterebbero di mitigare gli effetti di eventi climatici estremi consentendo agli allevatori di predisporre per tempo gli interventi necessari. Conoscere in anticipo il verificarsi di condizioni climatiche avverse, infatti, permetterebbe agli agricoltori di attuare misure volte a contrastare gli effetti negativi del tempo. Sistemi di previsione sono ora disponibili per gli agricoltori in Australia ([www.katstone.com.au / MLA / index.html](http://www.katstone.com.au/MLA/index.html)) e in USA ([www.ars.usda.gov/Main/site\\_main.htm?modecode=54-38-05-60](http://www.ars.usda.gov/Main/site_main.htm?modecode=54-38-05-60) ). Come risultato di un progetto di ricerca (CLIMANIMAL) un sistema di allerta sullo stress da caldo per i produttori di latte sarà attivato anche in Italia nel prossimo futuro.

## **Elenco delle figure**

<b>Figura 1.1:</b> Rappresentazione schematica di interazioni stress ambientali-animale (Hahn, 1999).....	<b>1</b>
<b>Figura 1.2:</b> Rappresentazione schematica del range di neutralità termica (modificata da Bianca, 1976).....	<b>2</b>
<b>Figura 1.3:</b> Classificazione dei climi di Köppen (1936). ....	<b>9</b>
<b>Figura 1.4:</b> Andamento della temperatura del precedente millennio (IPCC, 2007).....	<b>13</b>
<b>Figura 1.5:</b> Proiezioni di riscaldamento globale in base ai diversi scenari di emissione (IPCC, 2007).....	<b>16</b>
<b>Figura 2.1:</b> Area del bacino del Mediterraneo in studio delimitata in longitudine da 10° W-40° E, e in latitudine da 28° N-48° N.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.2:</b> Risoluzione orizzontale: 2.5° x 2.5°. Penisola italiana, area in studio delimitata in longitudine 5°E – 20°E, e in latitudine 36°N – 48°N.....	<b>21</b>
<b>Figura 2.3:</b> Un esempio del database realizzato per un evento di morte dell'anno 2002.....	<b>23</b>
<b>Figura 2.4:</b> Mappa del territorio nazionale italiana con l'indicazione delle regioni.....	<b>23</b>
<b>Figura 2.5:</b> In evidenza sulla mappa, in rosso, le due regioni della Lombardia e dell'Emilia Romagna e la localizzazione, in blu, delle 73 stazioni meteorologiche utilizzate nello studio.....	<b>25</b>
<b>Figura 2.6:</b> Temperature-Humidity Index (THI). Le categorie di benessere animale sono identificate: $THI < 68$ nessun rischio; $68 \leq THI < 72$ leggero rischio; $72 \leq THI < 75$ disagio; $75 \leq THI < 79$ disagio; $79 \leq THI < 84$ pericolo e $THI \geq 84$ emergenza.....	<b>28</b>
<b>Figura 3.1:</b> Distribuzione media annuale della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990).....	<b>30</b>
<b>Figura 3.2:</b> Distribuzione media annuale del THI sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990).....	<b>31</b>

<b>Figura 3.3:</b> Distribuzione media stagionale del THI sul bacino del Mediterraneo per il CliNo (1961-1990). Le stagioni sono state contraddistinte per l'inverno in DGF (mesi di dicembre, gennaio e febbraio); per la primavera in MAM (mesi marzo, aprile e maggio); per l'estate in GLA (mesi di giugno, luglio e agosto) e per l'autunno in SON (mesi di settembre, ottobre e novembre).....	<b>32</b>
<b>Figura 3.4:</b> Isolinee delle anomalie annuali del THI tra CliNo (1961-1990) e i due periodi di riferimento considerati nello studio (1951-1980 in <b>a</b> , e 1971-2000 in <b>b</b> ).....	<b>33</b>
<b>Figura 3.5:</b> Isolinee delle anomalie stagionali del THI tra CliNo (1961-1990) e i due periodi di riferimento considerati nello studio (1951-1980 in <b>a</b> , e 1971-2000 in <b>b</b> ).....	<b>34</b>
<b>Figura 3.6:</b> Anomalie annuali del THI tra CliNo (1961-1990) e la decade 1998-2007.....	<b>39</b>
<b>Figura 3.7:</b> Anomalie stagionali del THI tra CliNo (1961-1990) e la decade 1998-2007....	<b>39</b>
<b>Figura 3.8:</b> Isolinee delle anomalie del THI estivo per l'anno 2003 rispetto al CliNo (1961-1990).....	<b>40</b>
<b>Figura 3.9:</b> Distribuzione media annuale del THI per la penisola italiana per il CliNo (1961-1990).....	<b>42</b>
<b>Figura 3.10:</b> Valori del THI stagionali per il CliNo (1961-1990).....	<b>43</b>
<b>Figura 3.11:</b> Isolinee delle anomalie annuali del THI tra ogni singolo anno e il periodo considerato (2002-2007) .....	<b>44</b>
<b>Figura 3.12:</b> Valori del THI estivo (GLA) nel periodo 2002-2007.....	<b>45</b>
<b>Figura 3.13:</b> Valori del THI per i mesi di giugno, luglio ed agosto per gli anni 2002, 2003 e 2004.....	<b>46</b>
<b>Figura 3.14:</b> Valori del THI per i mesi di giugno, luglio ed agosto per gli anni 2005, 2006 e 2007.....	<b>47</b>
<b>Figura 3.15:</b> Numero adattato degli eventi di mortalità (AND, adjusted number of deaths) in relazione al THI massimo e minimo.....	<b>49</b>
<b>Figura 3.16:</b> Media $\pm$ SE del numero adattato (AND, adjusted number of deaths) di eventi di mortalità raggruppati per categorie di THI massimo e THI.....	<b>51</b>
<b>Figura 3.17:</b> Valori del THI annuale e stagionale calcolato per il CliNo (1971-2000) e per le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 su tutta l'area in studio.....	<b>53</b>

<b>Figura 3.18:</b> Anomalie del THI estivo (GLA) del le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 rispetto al CliNo (1971-2000).....	<b>54</b>
<b>Figura 3.19:</b> Valore del THI estivo (GLA) in relazione alle categorie di benessere animale per il CliNo (1971-2000) e per le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050). I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale: $THI < 68$ , $68 \leq THI < 72$ , $72 \leq THI < 75$ , $75 \leq THI < 79$ , $79 \leq THI < 84$ , and $THI \geq 84$ .....	<b>55</b>
<b>Figura 3.20:</b> Valore del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre in relazione alle categorie di benessere animale per la decade 2041-2050. I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale: $THI < 68$ , $68 \leq THI < 72$ , $72 \leq THI < 75$ , $75 \leq THI < 79$ , $79 \leq THI < 84$ , and $THI \geq 84$ .....	<b>58</b>
<b>Figura 3.21:</b> Anomalie del THI estivo (GLA) del le quattro decadi in studio 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 e 2041-2050 rispetto al CliNo (1971-2000).....	<b>60</b>
<b>Figura 3.22:</b> Valore del THI estivo (GLA) in relazione alle categorie di benessere animale per le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050). I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale: $THI < 68$ , $68 \leq THI < 72$ , $72 \leq THI < 75$ , $75 \leq THI < 79$ , $79 \leq THI < 84$ , and $THI \geq 84$ .....	<b>61</b>
<b>Figura 3.23:</b> Valore del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre in relazione alle categorie di benessere animale per la decade 2041-2050. I differenti colori identificano le differenti categorie di benessere animale: $THI < 68$ , $68 \leq THI < 72$ , $72 \leq THI < 75$ , $75 \leq THI < 79$ , $79 \leq THI < 84$ , and $THI \geq 84$ .....	<b>62</b>

## **Elenco delle tabelle**

<b>Tabella 1.1:</b> Numero di capi dei ruminanti nel bacino del Mediterraneo (anno 2008). Fonte: FAOSTAT 2010: (1) dati stimati e calcolati, (2) dati semi-ufficiali.....	<b>11</b>
<b>Tabella 1.2:</b> Produzione di carne e latte (espressa in tonnellate) dei ruminanti nei paesi del bacino del Mediterraneo (anno 2008). Fonte: FAOSTAT 2010: (1) dati stimati e calcolati, (2) dati semi-ufficiali.....	<b>12</b>
<b>Tabella 3.1:</b> Valori medi, annuali e stagionali, del THI (Temperature Humidity Index) per l'area mediterranea nei tre periodi di riferimento (1951-1960, 1961-1990 e 1971-2000).....	<b>30</b>
<b>Tabella 3.2:</b> Anomalie dei valore medi, annuali e stagionali, del THI per l'area mediterranea nei tre periodi di riferimento (1951-1960, 1961-1990 e 1971-2000).....	<b>32</b>
<b>Tabella 3.3:</b> Valori medi, annuali e stagionali, del THI per l'area mediterranea nella decade 1998-2007.....	<b>37</b>
<b>Tabella 3.4:</b> Numero di eventi di mortalità per stagione e indicazione del rischio relativo per le stagioni con il più alto e il più basso numero di eventi registrato.....	<b>48</b>
<b>Tabella 3.5:</b> Valori medi $\pm$ deviazioni standard del THI per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre per il CliNo e le quattro decadi in studio (2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050) nell'area mediterranea.....	<b>56</b>

## **Bibliografia**

Abeni F, Calamari L, Stefanini L (2007) Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress. *International Journal of Biometeorology* 52(2): 87-96

Aharoni Y, Orlov A, Brosh A, Granit R, Kanner J (2005) Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: Effects on intake, milk yield and energy expenditure. *Livest Prod Sci* 92:207-219

Atasever S, Erdem H (2009) Relationship between hygienic aspects and milk production characteristics of holstein cows. *J Appl Anim Res* 35: 185-188

Beniston M (2004) The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophys Res Lett* 31 L02202. doi:10.1029/2003GL018857

Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Gollete S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81:71–95. DOI 10.1007/s10584-006-9226-z

Bernabucci U, Calamari L (1998) Effects of heat stress on bovine milk yield and composition. *Zootecnica e Nutrizione Animale*, 24, 247-257

Bernabucci U, Bani P, Ronchi B, Lacetera N, Nardone A (1999) Influence of short- and long-term exposure to hot environment on rumen passage rate and diet digestibility by Friesian heifers. *J Dairy Sci* 82:967–973

Berry IL, Shanklin MD, Johnson HD (1964) Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. ASAE* 7:329-331

Bianca W, (1976) The significance of meteorology in animal production. *International Journal of Biometeorology* 20:139-156

Black JL, Mullan BP, Lorschy ML, Giles LR (1993) *Liv. Prod. Sci.* 35:153

Bohmanova J, Misztal I, Cole JB (2007) Temperature-Humidity Indices as indicator of milk Production losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 90:1947–1956

- Bolle HJ (2002) *Mediterranean climate: Variability and trends*. Springer, New York
- Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Djemali M, Belyea R (2002) The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim Res* 51:479–491. doi:10.1051/animres:200236
- Boyazoglu J, Nardone A (2003) The relationship between environment and animal production. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 11(1): 57-64
- Brunetti M, Maugeri M, Nanni T (2000) Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theor Appl Climatol* 65:165–174
- Brunetti M, Maugeri M, Nanni T (2002) Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years. *Int J Climatol* 22:1455– 1471. doi:10.1002/joc.805
- Buffington DE, Collazo-Arocho A., Canton GH, Pitt D., Thatcher WW, Collier RJ (1981) Black Globe-Humidity Index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE* 24(4): 711-714
- Calamari L, Mariani P (1998) Effects of the hot environment conditions on the main milk cheesemaking properties. *Zoot Nutr Anim* 24, 259-271
- Calamari L, Abeni F, Calegari F, Stefanini L (2007) Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 2. Blood minerals and acid-base chemistry. *International Journal of Biometeorology* 52(2): 97-107
- Christensen OB, Christensen JH (2004) Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44:107-117
- Collier RJ, Doelger SG, Head HH, Thatcher WW, Wilcox CJ (1982) *J. Anim. Sci.* 54:309
- Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ (2006) Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J Dairy Sci* 89:1244-1253
- Corona P (2005) Desertificazione, siccità, foreste e ricerca. *Forest@* 2(3): 256-257
- De la Casa AC, Ravelo AC (2003) Assessing temperature and humidity conditions for dairy cattle in Córdoba, Argentina. *Int J Biometeorol* 48:6–9. doi:10.1007/s00484-003-0179-x
- Díaz Jiménez J, Linares Gil C, García Herrera R (2005) Impact of extreme temperatures on public health. *Rev Esp Salud Pública* 79:145–157

- Di Fazio S, Malaspina D, Modica G (2005) La gestione Territoriale dei paesaggi agrari terrazzati tra conservazione e sviluppo. In: AIIA2005, L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea
- Diffenbaugh NS, Jeremy SP, Giorgi F, Gao X (2007) Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters* 34, L11706. DOI:10.1029/2007GL030000
- Fink AH, Brücher T, Krüger A, Leckebusch GC, Pinto JG, Ulbrich U (2004) The 2003 European summer heatwaves and droughts: synoptic diagnosis and impacts. *Weather* 59:209–216
- Folland CK, Knight J, Linderholm HW, Fereday D, Ineson S, Hurrell JW (2009) The summer North Atlantic oscillation: past, present, and future. *J Clim* 22:1082–1103
- Frei C, Schär C (1998) A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *Int J Climatol* 18:873–900
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A (2008) A new heat load index for feedlot cattle. *J Anim Sci* 86:226–234. doi:10.2527/jas.2007-0305
- Giorgi F, Bi X (2005) Update regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophys Res Lett* 32 L21715
- Giorgi F (2006) Climate change hot-spots *Geophys Res Lett* 33 L08707
- Goubanova K, Li L (2006) Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Glob Planet Chang* 57:27–42. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.012
- Hahn GL (1999) Dynamic responses of cattle to thermal loads. *J Anim Sci* 77:10-20
- Hahn GL, Mader TL, Eigenberg RA (2003) Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *EAAP Technic Ser* 7:31–44
- Hahn GL, Brown-Brandl T, Eigenberg RA, Gaughan JB, Mader TL, Nienaber JA (2005) Climate change and livestock: challenges and adaptive responses of animals and production systems. In: Proceedings of the 17th international conference on biometeorology, Garmisch-Partenkirchen, Bavaria, Germany
- Holton JR (1977) *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press

IPCC, 2001. Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, The IPCC scientific assessment, working group II [Houghton, J.T., G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 280 pp.

IPCC, Climate Change 2007 - Synthesis Report

Johnson HD (1980) Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *Int J Biometeorol* 24:65–78

Johnson HD (1985) Physiological responses and productivity of cattle. in: Yousef M.K. (Ed.), *Stress physiology in livestock. Basic principles*, Vol. 1, 4-19, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1985, pp. 4–19

Johnson HD (1987a) Bioclimates and Livestock. In *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*, p 3. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam

Johnson HD (1987b) Bioclimates Effects on Growth, Reproduction and Milk Production. In *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*, p 35. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam

Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E (2002) Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest Prod Sci* 77:59–91

Kalnay et al (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc* 77:437–470

Kibler HH (1964) *MO Agr. Exp. Sta. Res. Bull. No. 862*

Klein Tank AMG, Können GP (2003) Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J Clim* 16:3665–3680

Klinedinst PL, Wilhite DA, Hahn GL, Hubbard KG (1993) The potential effects of climate change on summer season dairy cattle milk production and reproduction. *Clim Change* 23:21–36

Köppen W (1936) *Das geographische System der Klimate*. (eds Köppen W, Geiger R) Band 5, Teil c. Gebrüder Bornträger, Berlin

Kuglitsch FG, Toreti A, Xoplaki E, Della-Marta M, Zerefos CS Türkeş M, Luterbacher J (2010) Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters* 37:L04802 doi:10.1029/2009GL041841

- Lacetera N, Bernabucci U, Ronchi B, Nardone A (1995) Proc. 46th Ann. Meet. EAAP, Prague, 90 (abstr)
- Lacetera N, Nardone A (1996) Thermal environment affects physiology and productivity of intensively managed livestock. The case of heat stress in dairy cows. Proceedings 1st Korea-Italy Joint Symposium Use of Agricultural Wastes and Animal Production-Environment Interrelationship, 153-172
- Lacetera N, Bernabucci U, Ronchi B, Nardone A (2003) Physiological and productive consequences of heat stress. The case of dairy ruminants. In: Interactions between climate and animal production. Wageningen Academic Publishers - EAAP Technic Ser 7: 45-59
- Lehner B, Döll P, Alcamo J, Henrichs T, Kaspar F, (2006) Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change* 75: 273–299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4
- Linderholm HW, Folland CK, Walther A (2009) A multicentury perspective on the summer North Atlantic oscillation (SNAO) and drought in the Eastern Atlantic region. *J Quat Sci* 24:415– 425. doi:10.1002/jqs.1261
- Lionello P, Malanotte-Rizzoli P, Boscolo R (2006) *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier
- Lionello P, Giorgi F (2007) Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: Future climate scenarios in a regional simulation. *Advances in Geosciences* 12:153-158
- Luterbacher J, Liniger MA, Menzel A, Estrella N, Della-Marta PM, Pfister C, Rutishauser T, Xoplaki E (2007) Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts. *Geophys Res Lett* 34 L12704. doi:10.1029/2007GL029951
- Mader TL (2003) Environmental stress in confined beef cattle. *J Anim Sci* 81(E. Suppl. 2):110-119
- Marai IFM, Haezeb AAM (2010) Buffalo's biological functions as affected by heat stress - A review. *Livest Sci* 127(2): 89-109
- Mariani P, Summer A, Anghinetti A, Senese C, Digregorio P, Rando A, Serventi P (1995) Effetti dell'allele  $\alpha$ S1-Cn G sulla ripartizione percentuale delle caseine  $\alpha$ S1,  $\alpha$ S2,  $\beta$  e  $\kappa$  in vacche dierazze Bruna. *L'industria del latte* 31, 3-13

- McGuire MA, Beede DK, De Lorenzo MA, Wilcox CJ, Huntington GB, Reynolds CK, Collier RJ (1989) Effects of thermal stress and level of feed intake on portal plasma flow and net fluxes of metabolites in lactating Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 67:1050-1060
- Michelozzi P, de Donato F, Bisanti L, Russo A, Cadum E, DeMaria M, D'Ovidio M, Costa G, Perucci CA (2005) The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *Euro Surveill.* 10:161–165
- Mount LE (1979) *Adaptation to the Thermal Environment*. Edward Arnold (Publishers) Limited, London
- Nardone A, Lacetera N, Ronchi B, Bernabucci U (1992) *Prod. Anim.* 5:1
- Nardone A, Lacetera N, Ronchi B, Bernabucci U (1994) *Proc. 45th Ann. Meet. EAAP, Edinburgh*, 193 (abstr)
- Nardone A (2000) Weather condition and genetics of breeding systems in the Mediterranean area. *Proceedings of the XXXV Int Symp It Soc Prog della Zootec. Ragusa, Italy*, pp 67-91
- Nardone A, Ronchi B, Ranieri MS (2004) Livestock production in the Mediterranean Region. *Znanstveni Glasnik* 15: 157-173
- Nickerson DM, Facey D E, Grossman GD (1989) Estimating physiological thresholds with continuous two-phase regression. *Physiol. Zool.* 62:866–877
- Nienaber JA, Hahn GL (2007) Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol* 52:149-157
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (1976) *Livestock hot weather stress*. Oper Man Lett C-31-76, Kansas City, MO
- Pauling A, Paeth H (2007) On the variability of return periods of European winter precipitation extremes over the last three centuries. *Clim Past* 3:65–76
- Pinna M (1977) *Climatologia*. UTET
- Pokrovsky OM (2009) European rain rate modulation enhanced by changes in the NAO and atmospheric circulation regimes. *Comput Geosci* 35:897–906. doi:10.1016/j.cageo.2007.12.005
- Putney DJ, Mullins S, Thatcher WW, Drost M, Gross TS (1989) Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Anim. Reprod. Sci.* 19:37-51

- Ragab R, Prudhomme C (2002) Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosyst Eng* 81:3–34
- de Rancourt M, Mottet A (2006) Mediterranean animal production: development or decline? *Options Méditerran* 78:13–22
- Robertshaw D (1985) *Proc. Nucl. Rel. Techn. Improv. Prod. Indig. Anim. Horsh Env.*, 39
- Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.* 331:171–178
- Ronchi B, Bernabucci U, Lacetera N, Nardone A, Bertoni G (1995) *Zoot. Nutr. Anim.* 21:209
- Ronchi B, Lacetera N (1997) Caldo e riproduzione nei bovini da latte. *Bianco e Nero*, 8: 41-44
- Santolaria P, López-Gatius F, García-Ispierto I, Bech-Sàbat G, Angulo E, Carretero T, Sánchez-Nadal JA, Yániz J (2010) Effects of cumulative stressful and acute variation episodes of farm climate conditions on late embryo/early fetal loss in high producing dairy cows. *Int J Biometeorol* 54:93–98
- Scherrer SC, Appenzeller C, Liniger MA (2006) Temperature trend in Switzerland and Europe: implication for Climate Normal. *Int J Climatol* 26:565–580. doi:10.1002/joc.1270
- Shehab-El-Deen MAMM, Leroy JLMR, Fadel MS, Saleh SYA, Maes D, Van Soom A (2010) Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Anim Reprod Sci* 117 (3-4), pp. 189-200
- Silanikove N (2000) Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 67:1–18
- Siple PA, Passel CF (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 89: 177-99
- Somot S, Sevault F, Déqué M, Crépon M (2008) 21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model. *Glob Planet Chang* 63:112-126
- Somot S, Sevault F, Déqué M (2009) Design and first simulation with a tri-coupled AORCM dedicated to the Mediterranean study. *Research activities in atmospheric and oceanic*

modelling. CAS/JSC Working group on numerical experimentation. Report No.39. (available at <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/wgne/index.html>)

Somparn P, Gibb MJ, Markvichitr K, Chaiyabutr N, Thummabood S, Vajrabukka C (2004) Analysis of climatic risk for cattle and buffalo production in northeast Thailand. *Int J Biometeorol* 49:59–64. doi:10.1007/s00484-004-0206-6

Thom EC (1959) The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-60

Touchan R, Xoplaki E, Funkhouser G, Luterbacher J, Hughes MK, Erkan N, Akkemik Ü, Stephan J (2005) Reconstructions of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation. *Clim Dyn* 25:75–98

Yamamoto S (1983) The assessment of thermal environment for farm animals. *Proceedings the Fifth World Conference on Animal Production*, 1, 197-204

Yeruham I, Elad D, Friedman S, Perl S (2003) *Corynebacterium pseudotuberculosis* infection in Israeli dairy cattle. *Epidemiol Infect* 131:947–95

Watson RT, Zinwera-Mrufa C, and Moss RH (1996) Technologies, policies and measures for mitigating climate change. *Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC 1996*, pp 84

West JW (2003) Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144

West JW, Mullinix BG, Bernard JK (2003) Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232-242

Sheth T, Nair C, Muller J, Yusuf S (1999). Increased winter mortality from acute myocardial infarction and stroke: The effect of age. *J. Am. Coll. Cardiol.* 33:1916–1919

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006) *Livestock's Long Shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome

Xoplaki E, González-Rouco JF, Luterbacher J, Wanner H (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of largescale dynamics and trends. *Clim Dyn* 23:63–78. doi:10.1007/ s00382-004-0422-0

Xoplaki E, Luterbacher J, Paeth H, Dietrich D, Steiner N, Grosjean M, Wanner H (2005) European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium. *Geophys Res Lett* 32:15713. doi:10.1029/2005GL023424

Xoplaki E, Luterbacher J, González-Rouco JF (2006) Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Il Nuovo Cimento C* 29(1):45–54. doi:10.1393/ncc/ i2005-10220-4

Yousef MK (1985) Thermoneutral zone, stress physiology in Livestock. M.K.Yousef (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL, 1, 47-54

Zerbi MC (2002) Futuro del paesaggio e paesaggio del futuro. In: *Valutazione Ambientale*, n. 1/2002; pp. 36-42

[www.aia.it/aia-website/it/home](http://www.aia.it/aia-website/it/home)

[www.circeproject.eu/](http://www.circeproject.eu/)

[www.cra-cma.it/](http://www.cra-cma.it/)

[www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)

[www.esrl.noaa.gov/psd/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/)

[www.fao.org/](http://www.fao.org/)

[www.iges.org / grads/](http://www.iges.org/grads/)

[www.istat.it/it/](http://www.istat.it/it/)

## Allegati

- 1) Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera L (2009) Seasonal Pattern of Mortality and Relationships Between Mortality and Temperature Humidity Index in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 92:3781-3790

*J. Dairy Sci.* 92:3781–3790

doi:10.3168/jds.2009-2127

© American Dairy Science Association, 2009.

## Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows

A. Vitali,\* M. Segnalini,\* L. Bertocchi,† U. Bernabucci,\* A. Nardone,\* and N. Lacetera\*<sup>1</sup>

\*Dipartimento di Produzioni Animali, Università della Tuscia, Viterbo, Italy

†Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lombardia and Emilia Romagna, Brescia, Italy

### ABSTRACT

The 2 studies described investigated seasonal variations of mortality and temperature-humidity index (THI)–mortality relationships in dairy cows. Mortality data were extracted from the Italian Bovine Spongiform Encephalopathy databases, which contain records on cows older than 24 mo that died on a farm from all causes (98% of total records), were slaughtered in an emergency state, or were sent for normal slaughter but were sick in the preslaughter inspection (2% of total records). Both studies evaluated mortality data during a 6-yr period (2002 to 2007). The seasonal pattern study was conducted throughout Italy and was based on 320,120 deaths. An association between season and deaths was found for all 6 yr. Summer and spring were the seasons with the highest and lowest frequency of deaths ( $15,773.3 \pm 2,861$  and  $11,619.3 \pm 792.3$ ), respectively, and within summer months, the number of deaths in July and August ( $5,435 \pm 284$  and  $5,756 \pm 676.2$ , respectively) was higher than in June ( $4,839 \pm 344.8$ ). The THI–mortality relationships study was carried out only for deaths (51,240) reported for the Lombardia and Emilia Romagna regions. For this study, the mortality databases were integrated with THI data, which were calculated by using data from 73 weather stations. Each farm where deaths were recorded was assigned the THI values (maximum and minimum) calculated at the closest weather station for each day the events (deaths) were reported. Analysis of data indicated that approximate THI values of 80 and 70 were the maximum and minimum THI, respectively, above which the number of deaths in dairy farms starts to increase. Maximum and minimum THI values of 87 and 77 were the upper critical THI above which the risk of death for dairy cows becomes maximum. This study defined quantitative relationships between mortality risk and THI in dairy cows and may help to provide emergency interventions and mitigation measures, which may ensure survival

of dairy cows and reduce replacement costs associated with heat stress-related mortality.

**Key words:** dairy cow, mortality, season, temperature-humidity index

### INTRODUCTION

Studies aimed at assessing seasonal changes of mortality in domestic ruminants are limited. Recently, Dechow and Goodling (2008) reported that the proportion of culling and deaths from all causes in transition dairy cows was higher during the hottest calving months. Furthermore, in a 2-yr study in California, Stull et al. (2008) reported that the relationship between dairy cow mortality from all causes and monthly average daily temperatures was U-shaped. In an Indian study, Purusothaman et al. (2008) reported an increase of mortality in Mecheri sheep in summer.

Another series of studies or reports on the effects of temperatures on farm animal mortality described an increase of deaths during extreme weather events. Hahn and Mader (1997), Xin and Puma (2001), and Hahn et al. (2002) described the effect on livestock from a week-long heatwave in the mid-central United States during July 1995. Furthermore, Hahn and Mader (1997) indicated that the risk of death for cows exposed to high temperatures was particularly high with little or no nighttime recovery. Those authors defined nighttime recovery on the basis of the number of hours with temperature-humidity index (THI) <72. Finally, during the severe and prolonged heatwaves that occurred in Europe during the summer of 2003, over 35,000 people, and thousands of pigs, poultry, and rabbits died in the French regions of Brittany and Pays-de-la-Loire (<http://lists.envirolink.org/pipermail/ar-news/week-of-Mon-20030804/004707.html>).

The THI incorporates the effects of both temperature and relative humidity and is commonly used to quantify the degree of heat stress on dairy cattle (NOAA, 1976). Several studies documented negative relationships between THI and productive and reproductive performances in dairy cows (Bouraoui et al., 2002; García-Ispuerto et al., 2007). Conversely, the relation-

Received February 13, 2009.

Accepted April 17, 2009.

<sup>1</sup>Corresponding author: nicgio@unitus.it



**Figure 1.** Map of Italy: The 2 dark regions represent Lombardia and Emilia Romagna. The white dots within Lombardia and Emilia Romagna indicate the 73 weather stations consulted to acquire daily temperature and relative humidity data, which were utilized for calculation of maximum and minimum temperature-humidity index.

ships between THI and mortality in dairy cows have not been established previously. Yet, even if experimental evidence supporting categorization of THI values in hazard levels were not clear, Silanikove (2000) reported that a THI of 80 would be the upper critical THI above which most domestic ruminants enter in a noxious stage, which was defined as a stage compromising their survival.

The 2 studies described were aimed at investigating seasonal variations of mortality and THI-mortality relationships in dairy cows.

## MATERIALS AND METHODS

The studies described below (seasonal pattern and THI-mortality relationships study) were conducted on mortality data collected during a 6-yr period (2002 to 2007). The seasonal pattern study was conducted throughout Italy. The THI-mortality relationship

study was carried out only on deaths in the Lombardia and Emilia Romagna regions. These regions are located between latitude 44° and 46°15' North and between longitude 8°30' and 12°30' East in an area more commonly known as the Po Valley (Figure 1). Complete descriptive statistics of the studies are in Table 1.

### Mortality Data

Mortality data were extracted from the Bovine Spongiform Encephalopathy databases available at the Italian Reference Centre for Animal Encephalopathies (Turin, Italy) and at the National Reference Centre for Animal Welfare (Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lombardia ed Emilia Romagna, Brescia, Italy). Databases contained records on cows older than 24 mo that died on a farm from all causes, were slaughtered in an emergency, or were sent for normal slaughter but were found to be sick in the preslaughter inspection.

Table 1. Descriptive statistics of seasonal and environmental studies conducted in Italy

Study period (years)	2002 to 2007
Seasonal pattern study:	
Geographic area	Entire territory of Italy
Deaths, n	320,120
Farms, n (range) <sup>1</sup>	26,822 (year 2003) to 21,392 (year 2006)
Cows, n (range) <sup>2</sup>	1,913,424 (year 2003) to 1,821,370 (year 2006)
THI-mortality relationships study:	
Geographic area	Lombardia and Emilia Romagna regions (latitude 44° to 46°15' North and longitude 8°30' to 12°30' East)
Deaths, n	51,240
Farms, n (range) <sup>1</sup>	2,526 (year 2003) to 2,008 (year 2007)
Cows, n (range) <sup>2</sup>	293,065 (year 2006) to 239,346 (year 2002)
Weather stations consulted, n	73
Weather station-farms distance, km	8.85 ± 5.23

<sup>1</sup>Number of farms where at least 1 death was recorded. The 2 values indicate the maximum and minimum number of farms involved in the 6-yr period.

<sup>2</sup>The 2 values indicate the maximum and minimum number of cows present on the farms involved in the study during the 6-yr period.

A qualitative analysis of the databases revealed that 98% of the deaths reported were cows that died on a farm and 2% were cows that died at the slaughterhouse. In the studies described below, no distinction is made between the categories of deaths. For each death reported, the databases provided cow identification number (official ear tag), date of death, the identification number of the farm where the cow was before death, and the region where the farm was located.

For the 6-yr period, the databases recorded 320,120 deaths, and the number of farms involved (farms where at least 1 death was reported in the years 2002 to 2007) ranged from 26,822 (year 2003) and 21,392 (year 2006).

### Seasonal Pattern Study

The seasonal pattern of mortality was studied by utilizing all 320,120 deaths reported in the databases. The months of December, January, and February were defined as winter; March, April, and May as spring; June, July, and August as summer; and September, October, and November as fall.

The chi-square goodness of fit was used to compare observed seasonal deaths with deaths expected under the assumption that deaths would be randomly distributed throughout the seasons. If differences calculated by the chi-square goodness of fit were significant, the seasons with the highest and lowest frequencies of deaths were tested to evaluate differences from the average of all seasons combined (Sheth et al., 1999). In practice, the overall mean was set at a relative risk (RR) of 1, and the seasonal variation in the number of deaths was expressed as the difference in RR between the seasons with the highest and lowest mortality.

The same chi-square goodness of fit analysis was carried out for mortality rates. Calculation of the

seasonal mortality rate was carried out by taking into consideration cow numbers (all cows), which was obtained for each year from the National Institute of Statistics (ISTAT, [http://www.istat.it/dati/dataset/20080630\\_00/](http://www.istat.it/dati/dataset/20080630_00/)). It was assumed that deaths were randomly distributed throughout the seasons or that cow numbers did not vary with season. The latter assumption was supported from the analysis of data relative to monthly cow numbers, which were obtained for a restricted number of farms (approximately 2,300; 10% of total farms). Monthly data of cow numbers were provided by the Italian Animal Breeders Association. This analysis indicated that overall seasonal variation of the number of cows was below 2.5%, and that no significant seasonality was observed for this parameter (data not shown).

Finally, an ANOVA was carried out to compare the number of deaths among summer months. Data were reported as least squares means ± SE, and differences between means were considered significant at  $P < 0.05$ .

### THI-Mortality Relationships Study

This study used data on deaths from dairy farms located in the Po Valley (Figure 1). The main reasons for limiting the THI-mortality relationships study to this geographic area were the high concentration of dairy farms (approximately 60% of the Italian dairy cow population) and the large number of weather stations, which enabled us to obtain temperature and relative humidity data. Furthermore, dairy farms located in this area were highly homogeneous for the production system adopted (intensive), number and genetic merit of cows, average milk yield per cow, and for stall design and management (total confinement free stall housing with no time at pasture, TMR as feeding practices, and year-round calving patterns).

After calculating several thousand distances, meteorological data from 73 weather stations were utilized to calculate and attribute THI values to  $2,291 \pm 189$  (mean  $\pm$  SD) dairy farms. The distance between weather stations and farms was  $8.85 \pm 5.23$  km (Figure 1).

The daily maximum and minimum THI on the day of a death were calculated using the following formula (Kelly and Bond, 1971):

$$\text{THI} = (1.8 \times \text{AT} + 32) - (0.55 - 0.55 \times \text{RH}) \\ \times [(1.8 \times \text{AT} + 32) - 58],$$

where AT is the ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), and RH the relative humidity as a fraction of the unit. With respect to the original equation, this formula includes terms  $(1.8 \times \text{AT} + 32)$  that account for conversion of temperature data from degrees Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) to degrees Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Such conversion was needed because most of literature data reported the THI calculated by measuring ambient temperature on the Fahrenheit scale. Maximum AT and minimum RH were utilized for calculation of maximum THI, whereas minimum AT and maximum RH were utilized for calculation of minimum THI. Ambient temperature and RH at the weather stations were recorded at a height of 2 m by using mercury thermometers and psychrometers, respectively. In the 6-yr period, mean values and standard deviations of maximum and minimum AT were  $19 \pm 9^{\circ}\text{C}$  and  $9 \pm 7^{\circ}\text{C}$ , respectively; mean values and standard deviations of maximum and minimum RH were  $93 \pm 6\%$  and  $55 \pm 14\%$ , respectively.

A Kolmogorov-Smirnov test indicated that the frequency of maximum THI values was normally distributed (Figure 2a). The same distribution was observed when plotting the absolute number of deaths attributed to each value of the maximum THI (Figure 2b). A similar outcome was found by plotting the data (number of registrations of THI values or number of deaths) considering the minimum THI (data not shown). Therefore, before the analysis, the number of deaths associated with each THI value was adjusted (AND, adjusted number of deaths) for the number of times each THI value was present in the databases. In practice, the number of deaths recorded at a given THI was divided by number of times that the given THI was represented in the databases. Finally, before the analysis, values of the AND were multiplied by 1,000 for ease of interpretation.

The analysis of the relationships between the adjusted number of deaths and THI was carried out by using two approaches. The first approach was based on calculation of a 2-phase linear regression procedure (Nickerson et al., 1989), which detected an inflection point, if one

existed, in the relationship between the independent (maximum or minimum THI) and dependent variable (AND). This technique was chosen after plotting the data and after considering that they may have been divided in 2 distinct segments.

The second approach was based on the ANOVA. For this purpose, values of maximum and minimum THI reported were grouped into 7 and 6 categories, respectively. The 7 categories grouping maximum THI values were 30 to 74, 75 to 77, 78 to 80, 81 to 83, 84 to 86, 87 to 89, and 90 to 92; the 6 categories grouping minimum THI values were 9 to 64, 65 to 67, 68 to 70, 71 to 73, 74 to 76, and 77 to 79. Then, each category of maximum and minimum THI was assigned the sum of the AND recorded for each THI value included in that category.

The first category of maximum THI (30 to 74) grouped THI values below 74, which several authors indicated as the upper critical THI for dairy cows (Kadzere et al., 2002; West, 2003). The remaining 6 categories were 3-unit arbitrary categories. Similarly, the first category of minimum THI (9 to 64) grouped THI values below 64, which some authors indicated as the critical minimum THI during heat stress that provides a margin of safety to reduce the effects of heat stress on production in dairy cows (West et al., 2003). The remaining categories (5) were 3-unit arbitrary categories.

The AND for each of the 7 or 6 categories was analyzed by ANOVA (GLM procedure). Data were reported as least squares means  $\pm$  SE, and differences between means were considered significant at  $P < 0.05$ . Finally, the Pearson correlations between maximum and minimum THI values were calculated.

## RESULTS

### Seasonal Pattern Study

A significant association between seasonality and deaths was found for all the 6 years of the study ( $P < 0.001$ ). Results of the RR analysis for the seasons with the highest and lowest frequency of deaths are in Table 2. With the exception of 2007, summer and spring were the seasons with the highest and lowest frequency of deaths, respectively. The RR for summer varied between 1.07 (year 2005;  $P < 0.001$ ) and 1.39 (year 2003;  $P < 0.001$ ); that for spring ranged from 0.83 (year 2003;  $P < 0.001$ ) to 0.93 (years 2005;  $P < 0.001$ ). In terms of deaths, the largest difference between the season with the highest (summer) and with the lowest frequency (spring) was recorded for the year 2003. In this year, compared with spring, the number of deaths during summer was approximately 67% higher. For the year 2007, the highest and lowest frequencies of deaths were recorded in fall and winter, respectively. Considering

the entire period (2002 to 2007), the RR for summer and spring seasons was 1.18 ( $P < 0.001$ ) and 0.87 ( $P < 0.001$ ), respectively; compared with spring, the overall number of deaths during summer was approximately 36% higher.

Results did not change when considering values of the mortality rate (data not shown). Annual mortality rate ranged from 2.6% (year 2005) to 3.3% (year 2003). The largest difference ( $P < 0.001$ ) between the 2 seasons was recorded in the year 2003 (0.68 and 1.14% for spring and summer, respectively). Considering the overall 6-yr period, mortality rates for summer and spring were 0.85 and 0.62%, respectively ( $P < 0.001$ ).

The ANOVA for the number of deaths registered within the summer months revealed that the month of August had the highest mortality ( $5,756 \pm 676.2$  deaths), and that the number of deaths in July ( $5,435 \pm 284$ ) and August was higher ( $P < 0.05$ ) than in June ( $4,839 \pm 344.8$ ). The number of deaths did not differ significantly between July and August.

**THI-Mortality Relationships Study**

Results of the 2-phase regression analysis are in Figure 3. The 2-phase regression computed with maximum THI as the independent variable ( $R^2 = 0.968$ ) indicated

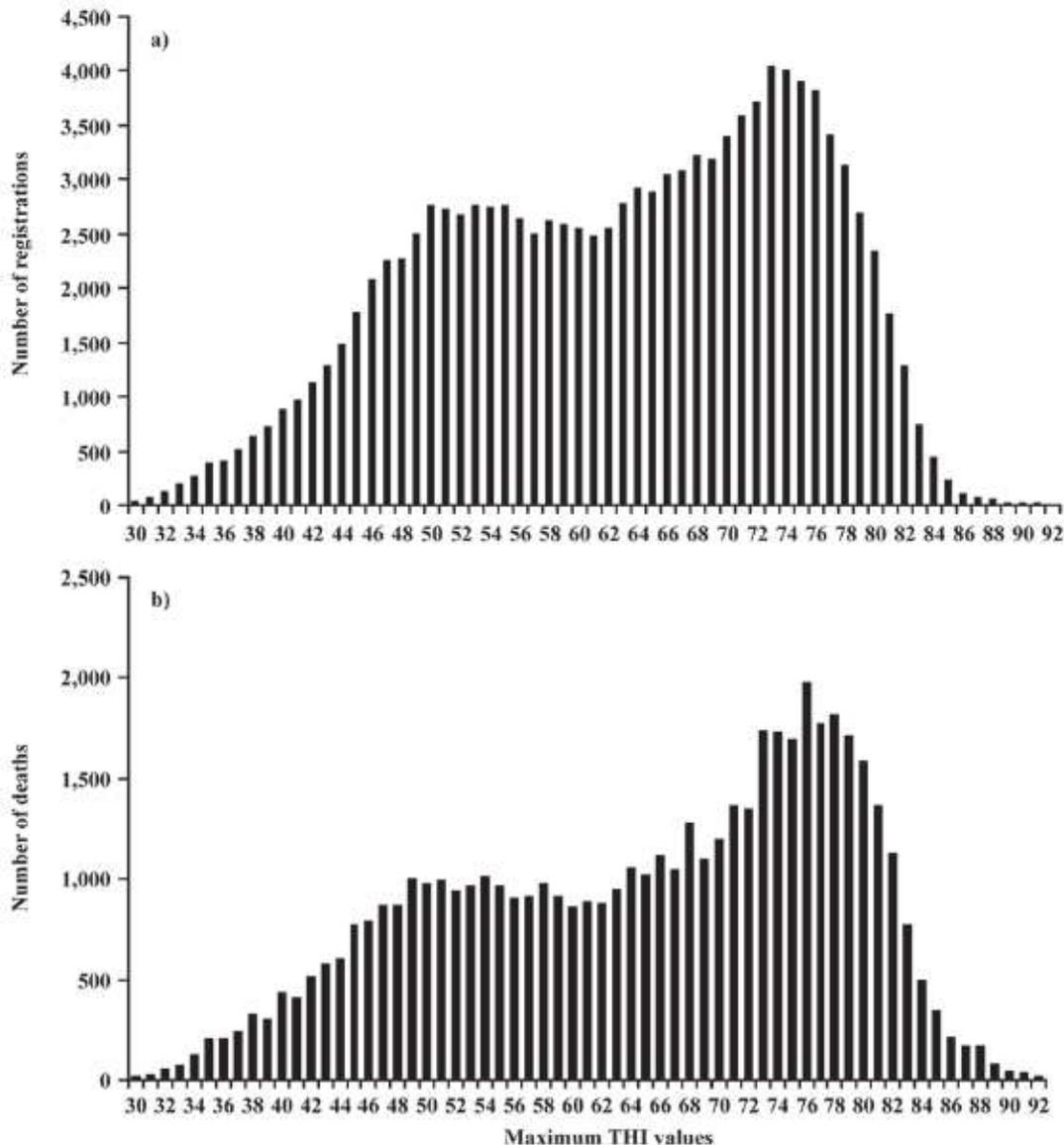


Figure 2. Frequencies of the maximum temperature-humidity index (THI) values recorded in the 6-yr period among the 73 weather stations (a) and the number of deaths attributed to each value of maximum THI (b).

Table 2. Number of deaths and relative risk (RR; in parentheses) by season<sup>1</sup>

Year	Season				Total
	Winter	Spring	Summer	Fall	
2002	12,562	11,775 (0.87) 0.85 to 0.89	15,652 (1.16) 1.13 to 1.18	14,180	54,169
2003	13,850	13,077 (0.83) 0.81 to 0.85	21,830 (1.39) 1.36 to 1.42	14,106	62,863
2004	13,095	11,947 (0.90) 0.87 to 0.92	15,020 (1.13) 1.10 to 1.15	13,264	53,326
2005	11,930	11,063 (0.93) 0.90 to 0.95	12,773 (1.07) 1.04 to 1.10	11,982	47,748
2006	11,529	10,579 (0.86) 0.84 to 0.89	14,200 (1.16) 1.13 to 1.18	12,778	49,086
2007	11,259 (0.85) 0.83 to 0.87	11,275	15,165	15,229 (1.15) 1.12 to 1.18	52,928
2002-2007	74,225	69,716 (0.87) 0.86 to 0.88	94,640 (1.18) 1.17 to 1.20	81,339	320,120

<sup>1</sup>Relative risk and confidence interval (CI; given below number and RR) for seasons with the highest and lowest number of deaths compared with the average of deaths of all seasons combined. In all cases reported, RR was significant at  $P < 0.001$ .

a break point at 79.6 with a final loss of 2,157,931.2 (lowest total sum of square errors; Figure 3a). The model provided slope and intercept of 2 distinct regression lines: the first line was  $AND = 443.04 - 0.5421E-04 \times THI$  ( $R^2 = 0.0119$ ;  $F_{1,50} = 0.910$ ;  $P = 0.5$ ) below the break point (30 to 79.6 THI range); the second line was  $AND = -18,119 + 232.75 \times THI$  ( $R^2 = 0.838$ ;  $F_{1,13} = 269.65$ ;  $P = 0.001$ ) above the break point (79.6 to 92 THI range).

The 2-phase regression calculated with minimum THI as the independent variable ( $R^2 = 0.892$ ) indicated a break point at 70.3 with a final loss of 3,415,833.9 (Figure 3b). Also, the model provided slope and intercept of 2 distinct regression lines: the first line was  $AND = 464.38 - 0.1576 \times THI$  ( $R^2 = 0.0004$ ;  $F_{1,62} = 0.930$ ;  $P = 0.5$ ) below the break point (9 to 70.3 THI range); the second line was  $AND = -16,886.77 + 246.73 \times THI$  ( $R^2 = 0.6151$ ;  $F_{1,9} = 707.01$ ;  $P = 0.001$ ) above the break point (70.3 to 79 THI range).

Results of the ANOVA are in Figure 4. Figure 4a reports results of the ANOVA carried out by considering the AND grouped according to categories of maximum THI. Compared with the THI category 30 to 74, the AND was significantly higher in the categories 81 to 83, 84 to 86, 87 to 89, and 90 to 92. Moreover, the AND did not differ between categories 87 to 89 and 90 to 92, and values of both these categories were significantly higher than those recorded in all the other categories.

Figure 4b reports results of the ANOVA carried out considering the AND grouped according to categories of minimum THI. Compared with the THI category 9 to 64, the AND was significantly higher in the categories 71 to 73, 74 to 76, and 77 to 79. Moreover, the AND of the category 77 to 79 was significantly higher than those recorded for all the other categories.

Results of the ANOVA did not change substantially when the analysis was carried out considering each single year separately (data not shown). Finally, a positive correlation was found between maximum and minimum THI value ( $r = 0.92$ ;  $P = 0.0001$ ).

## DISCUSSION

### Seasonal Pattern Study

Results of the seasonal pattern study showed a significant association between seasonality and deaths or mortality rate and indicated that a higher number of deaths should be expected during summer. Furthermore, among summer months, the number of deaths was significantly higher in July and August.

These results support those found for neonatal or mature dairy cows, buffaloes, and sheep reared in different countries. A study carried out in California reported a higher incidence of deaths in calves born during summer, winter, or periods with extreme temperatures in general (Martin et al., 1975). Recently, in dairy cows, Dechow and Goodling (2008) reported that the unfavorable effect of calving on cow survival was more pronounced during the hottest calving months, and that among the hottest months, the highest incidence of deaths or culling was in August. In a recent retrospective 11-yr study, Purusothaman et al. (2008) reported that mortality from all causes in adult sheep was higher during the summer season. However, a cow study reported no seasonal variation of mortality in adults (Faye and Pérochon, 1995). Different climatic characteristics of the geographic areas likely explain discrepancy among results found in the literature.

The mechanisms underlying the higher number of deaths during summer have not been studied in depth. However, data on heat stress and results of our THI-mortality relationships study indicate high ambient temperature, especially when combined with high relative humidity, as the key factor. Even if relative humidity alone was not indicated as a climatic factor affecting mortality, its role under conditions of high temperatures becomes important for reducing the efficiency of body temperature regulation by reducing evaporative cooling (respiratory and surface evaporation; Silanikove, 2000). Silanikove (2000) reported that most mammals die when deep body temperature reaches 42 to 45°C, which exceeds normal body temperature by 3 to 6°C.

If this happens, the animal enters into an acute phase of heat stress, which likely leads to heat stroke and death. The central role of temperature would be supported by results of our seasonal pattern study, which showed that the largest difference between the seasons with the highest and lowest number of deaths (summer and spring, respectively) was recorded in the year 2003. Several studies in humans reported an excess of deaths in European countries during the summer of the same year, which was related to the extremely high temperatures recorded (Díaz Jiménez et al., 2005; Michelozzi et al., 2005; Robine et al., 2008). In addition, increased mortality during the summer of 2003 was reported in different European countries for a variety of farm animal

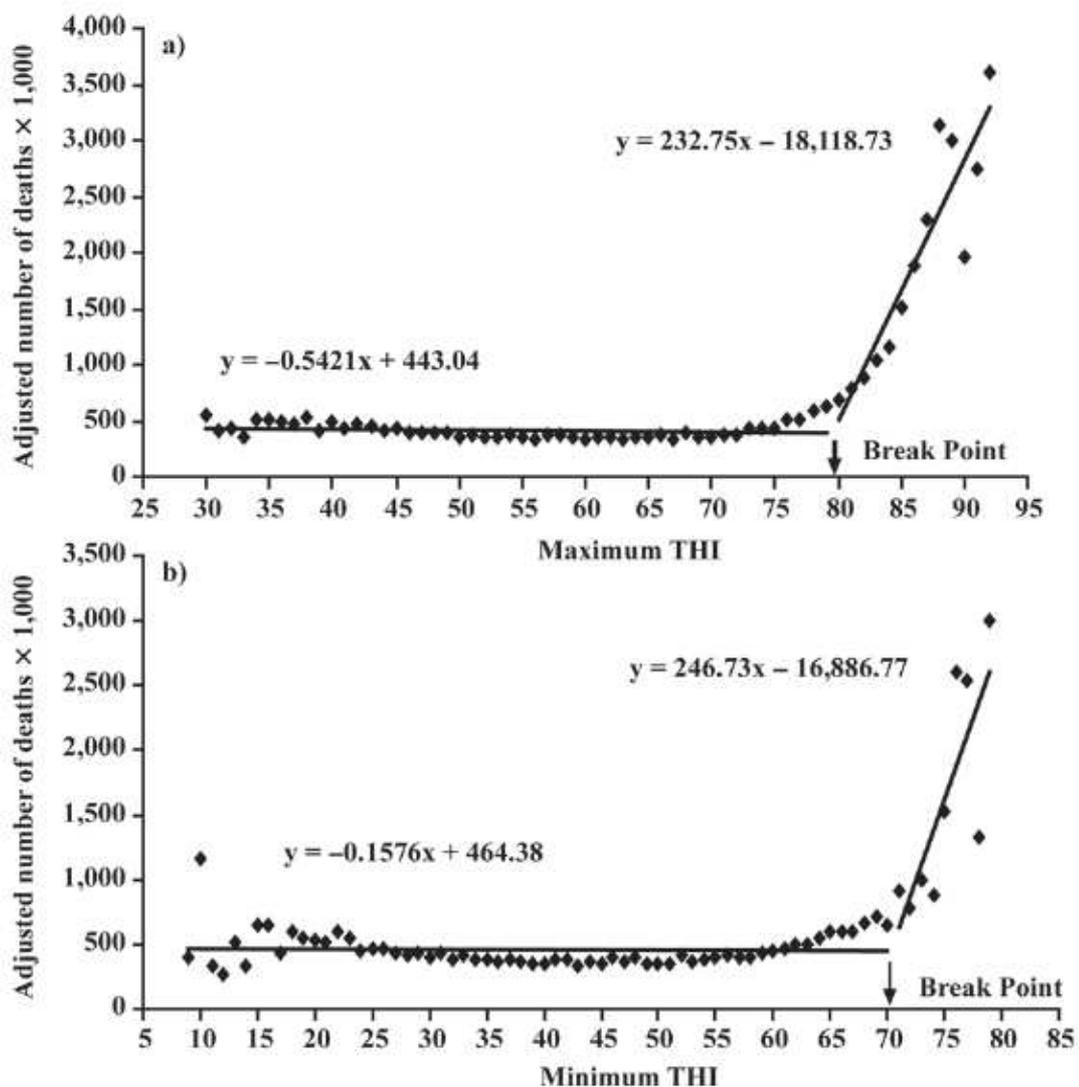


Figure 3. Adjusted number of deaths (AND) in relation to maximum (a) and minimum (b) temperature-humidity index (THI). a) A break point was detected at 79.6 THI. Below the break point, the AND was constant across THI values ( $R^2 = 0.0119$ ;  $P = 0.5$ ), whereas above a THI of 79.6, the AND rose sharply with THI ( $R^2 = 0.8382$ ;  $P < 0.001$ ). b) A break point was detected at 70.3 THI. Below the break point, the AND was constant across THI values ( $R^2 = 0.0004$ ;  $P = 0.5$ ), whereas above a THI of 70.3, the AND rose sharply with THI ( $R^2 = 0.6151$ ;  $P < 0.001$ ).

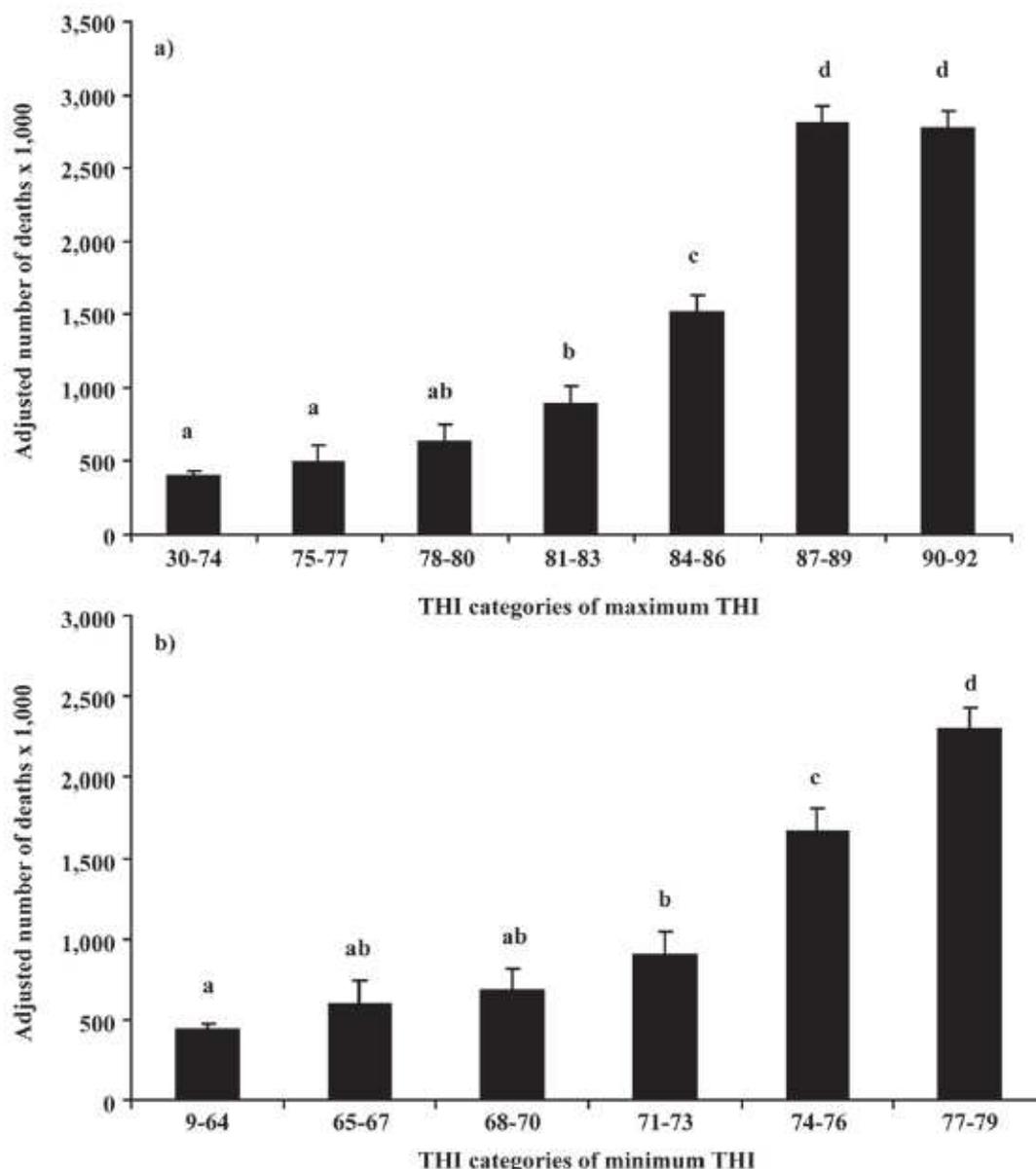


Figure 4. Least squares means ( $\pm$ SE) of the adjusted number of deaths by categories grouping values of maximum (a) and minimum (b) temperature-humidity index (THI). Data refer to the entire period of the study (2002 to 2007). \* Different letters indicate significant differences between categories ( $P < 0.05$ ).

species (Fink et al., 2004; <http://lists.envirolink.org/pipermail/ar-news/Week-of-Mon-20030804/004707.html>).

Moreover, under nonintensive husbandry conditions, which may include free-ranging animals on pasture-based systems, seasonal mortality changes may depend on the direct effects of other meteorological factors (i.e., solar radiation, precipitation), or on the effects that weather may exert on pasture and water availability in terms of quantity and quality, or on survival and growth of infectious agents (Silanikove, 2000; Kadzere et al., 2002).

#### THI-Mortality Relationships Study

The 2-phase regression analysis indicated that THI of 79.6 and 70.3 represented the break points where a significant change in the slopes describing the relationship between maximum or minimum THI, respectively, and the number of deaths in dairy cows occurs. Studies aimed at assessing the threshold of maximum THI above which the risk of death increases have not been carried out before in intensively managed dairy cows. Conversely, studies have established threshold of maximum THI for other productive or physiological functions in

dairy cows (i.e., milk yield and reproduction) that may be adversely affected from heat stress (Kadzere et al., 2002; West, 2003). However, Nienaber and Hahn (2007) indicated 79 as the threshold THI above which cows enter a danger state with respect to respiration rate. Furthermore, Silanikove (2000) indicated that a THI near 80 implied that most domestic ruminants would be in a noxious stage, and that at a THI >80 they enter into a stage defined as extreme. Our results support a THI of 80 as the critical value of maximum THI above which the degree of heat stress may become dangerous and may compromise survival.

Still less information is available on the upper critical values of minimum THI. Our data indicated that the lower THI values (9 to 35) were not associated with significant changes of the death rates. Our result supported the documented cold tolerance of cows (Johnson, 1987). Second, results of the 2-phase regression analysis represent a contribution that pointed out the importance of the minimum THI during hot periods, and showed that it was an essential element for survival and not only for maintenance of milk yield and reproductive efficiency when severe heat challenges occurred (Hahn and Mader, 1997; West, 2003; Nienaber and Hahn, 2007). Our results indicated the existence of a minimum safe THI during a 24-h period, and that when the minimum THI was above the threshold the risk of death for dairy cows increased significantly. When minimum daily THI was >70, an increase of deaths occurred regardless of the maximum THI. On the other hand, the positive correlation between minimum and maximum THI would support the hypothesis that minimum THI above the threshold were likely associated with challenging maximum THI, making the risk of death greatest. Finally, compared with a THI of 64, which was the minimum THI providing a margin of safety reducing the effects of heat stress on milk yield and reproductive efficiency in dairy cows (West et al., 2003), our results indicated that a safe minimum THI to reduce the risk of death would be approximately 6 units higher.

Results of the ANOVA supported those derived from the regression analysis. Such analysis indicated that THI values above the 2 breakpoints may be grouped into further hazard categories. The analysis by maximum THI indicated that the number of deaths started to increase at a THI of 81 and became maximum between 87 and 92. Based on THI categories suggested from Nienaber and Hahn (2007) for individually penned feedlot cattle in the absence of wind, a THI of 84 should be considered the upper threshold THI above which animals enter an emergency state. An emergency state was defined as that in which a vicious cycle of rising body temperature starts and in which external aid is needed to save the animal (Silanikove, 2000). Our

results confirm that a THI of 84 placed cows in an emergency state, and indicated a THI category >84 from 84 to 86 THI, and 87 as the upper critical THI above which the risk of death for intensively managed dairy cows is maximum. Finally, the minimum THI at which the number of deaths started to increase was 71, and continued to a maximum in the range 77 to 79 THI. These results on hazard categories for minimum THI are novel.

These results, in conjunction with warnings of dangerous weather conditions, may be of help for dairy cow producers to provide emergency interventions to ensure survival of dairy cows, as well as to adopt mitigation measures for reducing the adverse consequences of heat stress. In particular, reference values of both maximum and minimum THI were provided that may allow more effective utilization of cooling systems in intensively managed dairy farms. Above all, these findings indicated that during hot periods, the THI values recorded during the coolest part of the day may be critical for survival, and when the minimum THI is above a threshold the application of cooling measures may be totally justified.

## CONCLUSIONS

Summer was the season with the highest risk of death for dairy cows, and THI of 80 and 70 were the values of maximum and minimum THI, respectively, above which the number of deaths starts to increase significantly. Furthermore, THI of 87 and 77 should be considered the upper maximum and minimum critical THI values, respectively, above which the risk of death for dairy cows under intensive management conditions becomes maximum. These findings may have a strategic value to dairy farm managers in deciding the application of mitigation measures, which may ensure survival of dairy cows and reduce replacement costs associated with heat stress-related mortality.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially co-supported by MIPAF (CLIMANIMAL Project), EU (CIRCE Integrated Project # 036961), and Università degli Studi della Tuscia. The authors gratefully acknowledge Giuseppe Ru at the Reference Centre for Animal Encephalopathies (Turin, Italy) and Mariagrazia Guerini at Istituto Zooprofilattico Sperimentale Lombardia and Emilia Romagna (Brescia, Italy) for provision of the mortality data; Lombardia and Emilia Romagna Environmental Protection Agency and the Research Unit for Agricultural Climatology and Meteorology (CRA-CMA) for providing temperature and relative humidity data; and

the Italian Animal Breeders Association for providing data of cow numbers.

## REFERENCES

- Bouaoui, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M. Djemali, and R. Belyea. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51:479-491.
- Dechow, C. D., and R. C. Goodling. 2008. Mortality, culling by sixty days in milk, and production profiles in high- and low-survival Pennsylvania herds. *J. Dairy Sci.* 91:4630-4639.
- Díaz Jiménez, J., C. Linares Gil, and R. García Herrera. 2005. Impact of extreme temperatures on public health. *Rev. Esp. Salud Pública* 79:145-157.
- Faye, B., and L. Pérochon. 1995. Mortality of dairy cows in an ecopathologic survey in Brittany. *Vet. Res.* 26:124-131.
- Fink, A. H., T. Brücher, A. Krüger, G. C. Leckebusch, J. G. Pinto, and U. Ulbrich. 2004. The 2003 European summer heatwaves and drought—Synoptic diagnosis and impacts. *Weather* 59:209-216.
- García-Ispuerto, I., F. López-Gatius, G. Bech-Sabat, P. Santolaria, J. L. Yáñez, C. Nogareda, F. De Rensis, and M. López-Béjar. 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology* 67:1379-1385.
- Hahn, G. L., and T. L. Mader. 1997. Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Pages 563-571 in *Proc. 5th International Symp. ASAE, St Joseph, MI.*
- Hahn, G. L., T. L. Mader, J. A. Harrington, J. A. Nienaber, and K. L. Frank. 2002. Living with climatic variability and potential global change: Climatological analyses of impacts on livestock performance. Pages 45-49 in *Proc. 16th Intl. Congr. Biometeorol., Kansas City, MO. American Meteorological Society, Boston, MA.*
- Johnson, H. D. 1987. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production. Pages 35-57 in *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*. H. D. Johnson, ed. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, the Netherlands.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 77:59-91.
- Kelly, C. F., and T. E. Bond. 1971. Bioclimatic factors and their measurements. Page 7 in *A Guide to Environmental Research in Animals*. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Martin, S. W., C. W. Schwabe, and C. E. Franti. 1975. Dairy calf mortality rate: The association of daily meteorological factors and calf mortality. *Can. J. Comp. Med.* 39:377-388.
- Michelozzi, P., F. de Donato, L. Bisanti, A. Russo, E. Cadum, M. DeMaria, M. D'Ovidio, G. Costa, and C. A. Perucci. 2005. The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *Euro Surveill.* 10:161-163.
- Nickerson, D. M., D. E. Facey, and G. D. Grossman. 1989. Estimating physiological thresholds with continuous two-phase regression. *Physiol. Zool.* 62:866-877.
- Nienaber, J. A., and G. L. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52:149-157.
- NOAA. 1976. Livestock hot weather stress. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service Central Region, Regional Operations Manual Letter C-31-76.
- Purusothaman, M. R., A. K. Thiruvankadan, and K. Karunanithi. 2008. Seasonal variation in body weight and mortality rate in Mecheri adult sheep. *Livest. Res. Rural Develop.* 20, Issue 9, Article # 150. <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/thir20150.htm>
- Robine, J. M., S. L. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J. P. Michel, and F. R. Herrmann. 2008. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.* 331:171-178.
- Sheth, T., C. Nair, J. Muller, and S. Yusuf. 1999. Increased winter mortality from acute myocardial infarction and stroke: The effect of age. *J. Am. Coll. Cardiol.* 33:1916-1919.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67:1-18.
- Stull, C. L., L. L. McV. Messam, C. A. Collar, N. G. Peterson, A. R. Castillo, B. A. Reed, K. L. Andersen, and W. R. VerBoort. 2008. Precipitation and temperature effects on mortality and lactation parameters of dairy cattle in California. *J. Dairy Sci.* 91:4579-4591.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- West, J. W., B. G. Mullinix, and J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232-242.
- Xin, H., and M. C. Puma. 2001. Cooling caged laying hens in high-rise house by fogging inlet air. Pages 244-249 in *Proc. 6th Int. Symp. Am. Soc. Agric. Eng., St Joseph, MI. ASAE, St. Joseph, MI.*

- 2) Segnalini M, Nardone A, Bernabucci U, Vitali A, Ronchi B, Lacetera N (2011) Dynamics of the Temperature-Humidity Index in the Mediterranean Basin. *Int J Biometeorol*, 55:253–263 DOI 10.1007/s00484-010-0331-3

*Int J Biometeorol* (2011) 55:253–263  
DOI 10.1007/s00484-010-0331-3

ORIGINAL PAPER

## Dynamics of the temperature-humidity index in the Mediterranean basin

Maria Segnalini · Alessandro Nardone ·  
Umberto Bernabucci · Andrea Vitali · Bruno Ronchi ·  
Nicola Lacetera

Received: 28 January 2010 / Revised: 29 March 2010 / Accepted: 5 May 2010 / Published online: 4 June 2010  
© ISB 2010

**Abstract** The study was aimed at describing the temperature humidity index (THI) dynamics over the Mediterranean basin for the period 1951–2007. The THI combines temperature and humidity into a single value, and may help to predict the effects of environmental warmth in farm animals. In particular, on the basis of THI values, numerous studies have been performed to establish thresholds for heat stress in dairy cows. The THI was calculated by using monthly mean values of temperature and humidity obtained from the National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research reanalysis project. The analysis demonstrated a high degree of heterogeneity of THI patterns over the Mediterranean basin, a strong north–south gradient, and an overall warming during the study period, which was particularly marked during summer seasons. Results indicated that several areas of the basin present summer THI values which were unfavorable to cow welfare and productivity, and that risk of heat stress for cows is generally greater in the countries of the south coast of the basin. Furthermore, THI data from the summer 2003 revealed that severe positive anomalies may impact areas normally characterized by a favorable climate for animal production. In conclusion, THI dynamics should be taken into careful consideration by farmers and policy makers operating in Mediterranean countries when planning investments in the sector of animal production.

The investments should at least partially be directed towards implementation of adaptation measures, which may help to alleviate the impact of hot on farm animals welfare, performance and health.

**Keywords** Mediterranean basin · Temperature humidity index · Dynamics · Cattle

### Introduction

Weather and climate may exert negative effects on farm animal welfare, performance and health (Nardone et al. 2006). Previous studies described the complexity of heat exchanges between animals and the environment, which involve heat production, storage and dissipation, and are dependent on both biological and physical factors (Hahn et al. 2003; Nienaber and Hahn 2007). Evaluation of air temperature alone does not permit an accurate assessment of the effects of the thermal environment on physiology, welfare, health, and productivity in farm animals. For instance, high humidity in combination with high temperatures reduces the potential for evaporative heat loss (West 2003), solar radiation adds heat to that deriving from metabolic processes, and strong winds, especially in combination with precipitation, amplify the adverse effects of cold temperature (Gaughan et al. 2008).

Different approaches have been used to quantify heat stress in farm animals (Hahn et al. 2003). These include utilization of the temperature humidity index (THI), which was originally developed by Thom (1958) as a “discomfort index” to estimate the levels of discomfort for human beings during summer months. Afterwards, Berry et al. (1964) extended its use to bovine species. Hahn et al. (2003) indicated that, compared to other indexes, the THI is

M. Segnalini · A. Nardone · U. Bernabucci · A. Vitali ·  
B. Ronchi · N. Lacetera  
Dipartimento di Produzioni Animali, Università della Tuscia,  
Viterbo, Italy

N. Lacetera (✉)  
Via San Camillo De Lellis,  
01100 Viterbo, Italy  
e-mail: nicgio@unitus.it

a practical tool and a standard for many studies and applications in animal biometeorology. There are a variety of formulas to calculate THI which differ from each other in the weight given to the effects of humidity (Bohmanova et al. 2007). However, in all cases, temperature and humidity are combined in a single value. Several studies suggested that THI values may help to predict the effects of environmental warmth in farm animals. In particular, on the basis of THI values, numerous studies have been performed to establish thresholds for heat stress in dairy cows. Johnson (1980) and Bouraoui et al. (2002) reported that milk production in dairy cows begins to decline when THI reaches the value of 72 or 69, respectively. In a recent study, Vitali et al. (2009) suggested that the risk of death in dairy cows starts to increase when maximum daily THI is above 80.

The Mediterranean basin covers about 10 M km<sup>2</sup> and goes from the Atlantic coast of Portugal to the southern part of the Caspian Sea with a core area that stretches over about 20° latitude and 46° longitude (Nardone 2000). In biogeography, the Mediterranean basin refers to the lands around the Mediterranean sea that have a Mediterranean climate, with mild, rainy winters and hot, dry summers, which support characteristic Mediterranean forests, woodlands, and shrub vegetation (Köppen 1936). However, it is widely accepted that the Mediterranean basin is a highly heterogeneous region, with a climate characterized by a great diversity of features, resulting in a variety of climate types due to its unique geographic location: a transition zone between the hot and dry African climate regime in the south, and the mild and humid European climate in the north (Pinna 1977). Furthermore, the climate of the Mediterranean basin is also very sensitive to meteorological events originating in other parts of the world, such as the North Atlantic Oscillation (NAO), the Indian monsoon and the dust transported from the Sahara to the Atlantic ocean through the Mediterranean basin (Holton 1992). In general terms, the basin is characterized by contrasting variations in temperature and precipitation between winter and summer, stemming from the descending branch of the Hadley circulation in summer while westerlies prevail during the winter season (Bolle 2002).

Climate heterogeneity of the area likely contributes to the differences between the Mediterranean countries in terms of animal production (de Rancourt and Mottet 2006). With regard to bovine species, northern countries, which benefit from a more favorable climate, have larger cattle herds than southern countries where the hot climate and poor grasslands are more suitable to sheep and goat production. However, the ongoing population and urbanization growth in the southern countries of the basin is constantly increasing demand for animal products in urban areas, and thus will certainly strengthen livestock farming, meat and milk industries in these countries.

Previous animal biometeorology studies have utilized THI to characterize the region of Córdoba in central Argentina (De la Casa and Ravelo 2003), and the north-east region of Thailand (Somparn et al. 2004). To the best of our knowledge, the Mediterranean basin has been characterized by focusing the attention on air temperature and precipitation dynamics (Brunetti et al. 2000; Klein Tank and Können 2003; Xoplaki et al. 2004, 2005; Touchan et al. 2005; Scherrer et al. 2006; Pauling and Paeth 2007), whereas no studies have been performed by utilizing THI.

The aim of this study was to describe the THI dynamics over the Mediterranean basin for a period of time comprising the years between 1951 and 2007.

## Materials and methods

### Study area

The Mediterranean basin we refer to is delimited by the 28° and 48° North parallels and the 10° West and 40° East meridians, and includes, fully or partially, over 20 countries (from the Alpine region in the north to the north African countries in the south, from the Iberian peninsula in the west to the Middle Eastern countries in the east) (Fig. 1).

### Data and methods

The THI was calculated by using monthly mean values of temperature and humidity (2.5° x 2.5° latitude–longitude resolution), which were obtained from the National Center for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research reanalysis project (Kalnay et al. 1996) at the National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)/Earth System Research Laboratory (ESRL),



**Fig. 1** Study area. The Mediterranean basin is delimited by the 28° and 48° North parallels and the 10° West and 40° East meridians

Physical Sciences Division (PSD) for the period 1951–2007. NCEP Reanalysis data were provided by the NOAA/ESRL PSD (Boulder, Colorado, USA) from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Briefly, the reanalysis datasets are made available after executing three standard quality control: a "duplicate station check", which eliminates duplicates and key punch errors from reports, a "buddy check", which eliminates extreme values, and a standard deviation check, which compares the daily data against a gridded daily climatology.

Calculation of THI may be carried out by different formulas, which permit the establishment of the water vapour content of the air starting alternatively from wet bulb temperature, dew point temperature, or relative humidity (Bohmanova et al. 2007). Among these variables, the only one available for the study area was the relative humidity. For this reason, we calculated monthly mean values of THI by the following formula, which is based on values of ambient temperature (AT, °C) and relative humidity (RH, %) (NOAA 1976):

$$THI = (1.8 \cdot AT + 32) - (0.55 - 0.55 \cdot RH) \cdot [(1.8 \cdot AT + 32) - 58]$$

With respect to the original one, this formula includes terms  $(1.8 \times AT + 32)$ , which convert temperature data from °C to °F. Such a conversion was made because most of literature data reported the THI calculated by measuring ambient temperature in a °F scale. The same formula has been already utilized for THI calculation in Mediterranean countries (Bouraoui et al. 2002; Vitali et al. 2009). Furthermore, Bohmanova et al. (2007) indicated this formula as the one to be preferred for calculation of THI in regions with a subtropical climate, whereas other formulas should be utilized for geographic areas with arid climate. A body of literature has described the Mediterranean climate as subtropical (Troll and Paffen 1964; Griffiths 1976; Trewartha and Horn 1980).

First of all, the Mediterranean basin was characterized on the basis of the mean annual and seasonal THI referred to the 30-year reference period (1961–1990) known as CliNo (Climate Normal). CliNo is the conventional 30-year period utilized for climatologic analysis and confrontation adopted by the World Meteorological Organization (WMO). For the seasonal characterization of the study area, the months of December, January, and February were defined as winter (DJF); March, April, and May, as spring (MAA); June, July, and August, as summer (JJA); and September, October, and November, as fall (SON).

The THI dynamics over the basin were evaluated by comparing mean values of annual and seasonal THI of CliNo and of two 30-year periods (1951–1980 and 1971–2000), and in the light of the known heterogeneity of the

area in terms of climate features (Bolle 2002), by plotting maps of THI anomaly isolines for the same three 30-year periods. Furthermore, the THI dynamics were also studied by evaluating mean values of THI and THI anomalies versus CliNo for the decade 1998–2007. This part of the study was carried out to take into due consideration the documented recent extreme climate events, which occurred in the study area (Xoplaki et al. 2005; Goubanova and Li 2006; Luterbacher et al. 2007). Finally, for the summer season of year 2003, which has been widely recognized as one of the hottest of the last century (Xoplaki et al. 2006), and also as a period of time during which European livestock production was dramatically affected by thermal challenge (Vitali et al. 2009; Nardone et al. 2009), a map of THI anomaly isolines was plotted to verify whether the anomalies were uniformly distributed within the study area.

Map of isolines were generated by the geographical software GrADS (Grid Analysis and Display System). GrADS is an interactive desktop tool for visualization and manipulation of earth science data and is freely distributed over the Internet (<http://www.iges.org/grads/>). It uses a 4-dimensional data environment: longitude, latitude, vertical level, and time. Operations are executed interactively by entering FORTRAN-like expressions at the command line.

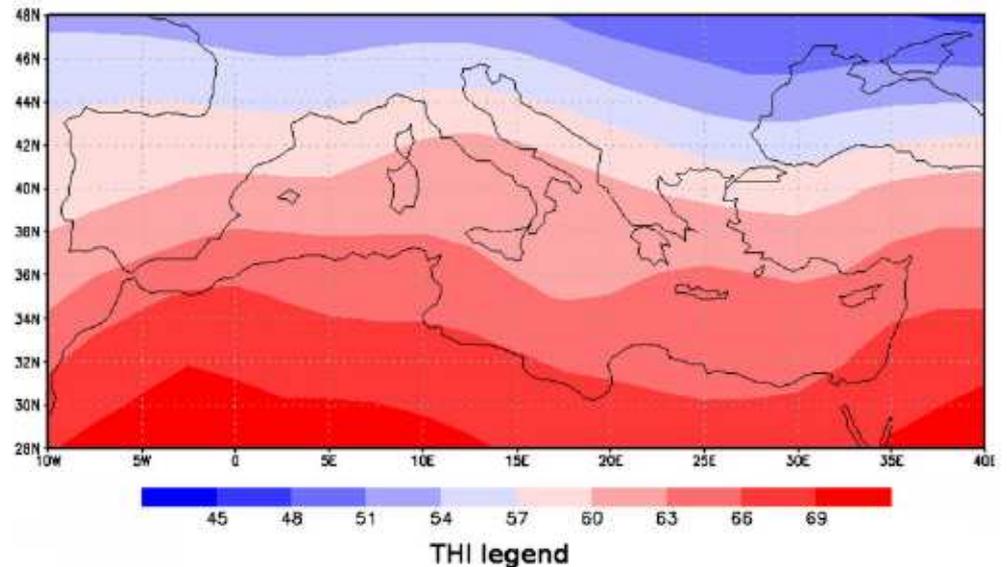
## Results

Mean values of annual and seasonal THI for CliNo are reported in Table 1. Figures 2 and 3 show the isolines of the mean annual and seasonal THI, respectively, referred to CliNo. Annual THI ranged from 42 to 70, and showed a north–south gradient (Fig. 2), which was similar to that observed by considering air temperature alone (data not

**Table 1** Mean values of annual and seasonal temperature humidity index (THI) of the Mediterranean basin calculated for the three periods of reference (1951–1980, 1961–1990 and 1971–2000)

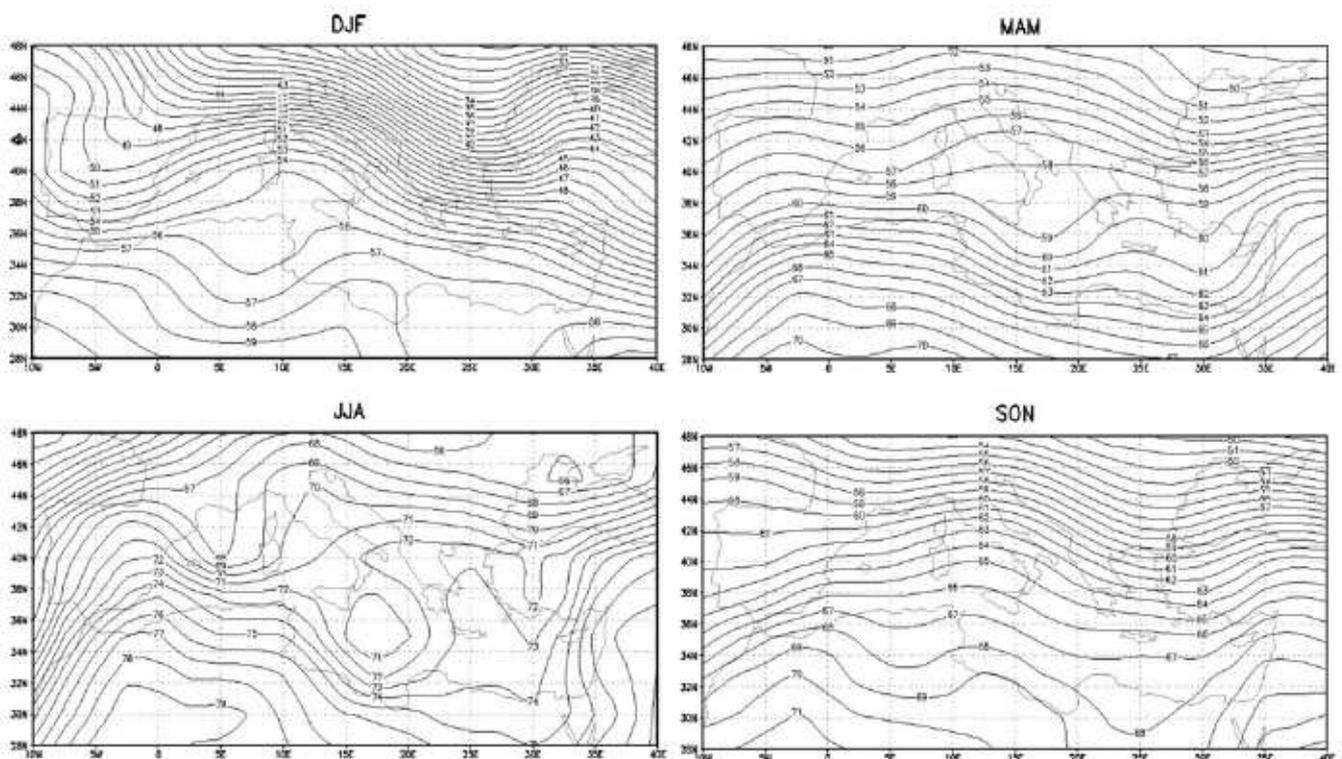
30-year periods	Annual THI	Seasonal THI
1951–1980	61.07	DJF 50.35
		MAM 59.11
		JJA 71.72
		SON 63.12
1961–1990 (CliNo)	61.13	DJF 50.25
		MAM 59.23
		JJA 71.78
		SON 63.28
1971–2000	61.23	DJF 50.32
		MAM 59.33
		JJA 71.99
		SON 63.26

**Fig. 2** Regional distribution of mean annual temperature humidity index (THI) for CliNo (Climate Normal). CliNo is the conventional 30-year period (1961–1990) for climatologic analysis and confrontation adopted by the World Meteorological Organization



shown). The analysis of humidity values (data not shown) did not reveal any significant trend, but indicated the strong influence of the Mediterranean sea, in that the proximity to large bodies of water and the prevalence of moisture-bearing winds favors high humidity. Values of THI ranged from 30 to 60 in DJF, from 50 to 70 in MAM, from 60 to 79 in JJA, and from 50 to 71 in SON (Fig. 3). Also, in this case, a north–south gradient was observed.

Mean values of annual and seasonal THI for the periods 1951–1980 and 1971–2000 are reported in Table 1. Table 2 reports results of the comparison carried out among mean values of annual and seasonal THI calculated for the three 30-year periods considered in the study. Briefly, the comparison pointed out an overall warming in the study area, and that the THI increase was particularly marked during summer (+0.27 units). Further-



**Fig. 3** Regional distribution of seasonal temperature humidity index (THI) for CliNo (Climate Normal, 1961–1990 period). The months of December, January, and February were defined as winter (*DJF*), March, April, and May as spring (*MAM*), June, July, and August as

summer (*JJA*), and September, October, and November as fall (*SON*). Values of THI range from 30 to 60 in *DJF*, from 50 to 70 in *MAM*, from 60 to 79 in *JJA*, and from 50 to 71 in *SON*

**Table 2** Results of the comparison carried out among mean annual and seasonal temperature humidity index (THI) calculated for the three periods of reference (1951–1980, 1961–1990 and 1971–2000)

Periods compared	Annual	Seasonal
1951–1980 vs 1961–1990 (CliNo)	-0.06	DJF+0.10 MAM -0.12 JJA -0.06 SON -0.16
1971–2000 vs 1961–1990 (CliNo)	+ 0.10	DJF+0.07 MAM+0.10 JJA+0.21 SON -0.02
1971–2000 vs 1951–1980	+ 0.16	DJF -0.03 MAM+0.22 JJA+0.27 SON+0.14

more, the analysis also indicated that, comparing the winter seasons, the THI in the basin slightly decreased during the study period (-0.03 units).

Figure 4 shows the isolines of annual THI anomalies versus CliNo for the two 30-year periods different from CliNo considered in the study (1951–1980 and 1971–2000). Anomalies referred to the period 1951–1980 ranged from -0.5 to +0.7 units of THI (Fig. 4a). In detail, the period 1951–1980 was colder than CliNo in the central and west countries of the basin (-0.5 THI units), whereas countries in the east (especially those in the Balkan area) were hotter (+0.7 THI units). Anomalies referred to the period 1971–2000 ranged from -0.8 to +0.8 units of THI (Fig. 4b). The greatest negative anomaly (-0.8 THI units) was observed in the south-west part of the area and over eastern Turkey, whereas the greatest positive anomaly (+0.8 THI units) characterized the central and north-east area of the basin.

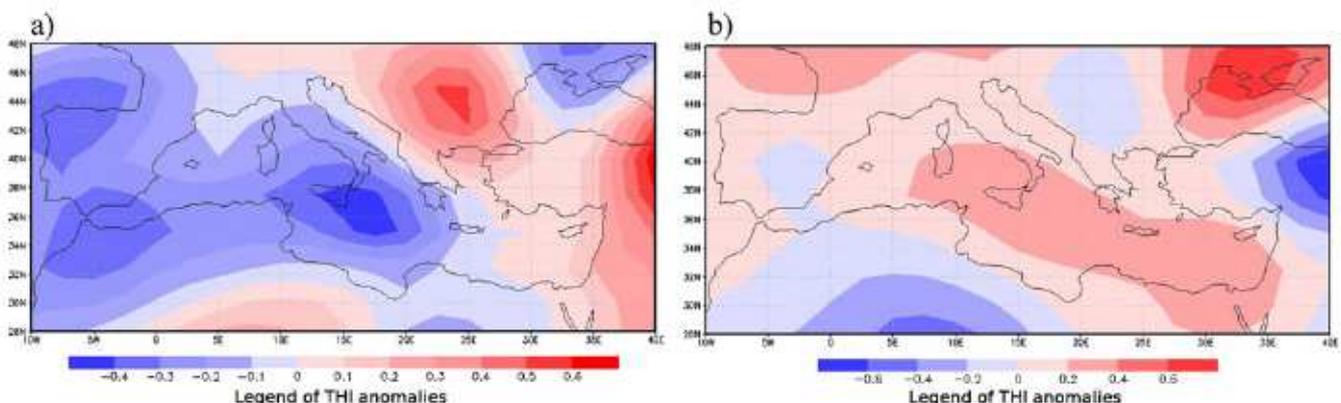
**Fig. 4** Isolines of annual temperature humidity index (THI) anomalies versus CliNo (Climate Normal, 1961–1990 period) for the two 30-year periods different from CliNo considered in the study (1951–1980, a, and 1971–2000, b)

Figure 5 shows the isolines of seasonal THI anomalies versus CliNo for the two 30-year periods different from CliNo considered in the study (1951–1980 and 1971–2000). The analysis referred to the period 1951–1980 (Fig. 5a) demonstrated that for the winter season the anomalies ranged from -0.6 (Iberian Peninsula) to +1.8 units of THI (eastern Turkey); for spring, they ranged from -0.9 (north-east of the basin) to +0.6 (eastern and north-western France); for summer, they ranged from -0.6 (central basin, Sicily, and north-western Spain) to +0.6 (Balkan area); and for fall, they ranged from -0.9 (western and central basin) to +0.6 (Balkan area).

The analysis of seasonal anomalies referred to the period 1971–2000 (Fig. 5b) pointed out that for the winter season the anomalies ranged from -1.8 (eastern Turkey) to +1.5 units of THI (north-east of the basin); for the spring, the range was -0.9 to +0.9 (eastern Turkey and north-east of the Black Sea, respectively); for summer, the anomalies ranged from -0.6 (Spain, Morocco, Algeria, and Libya) to +0.9 (north-east of the Black Sea); and for fall, the range was -0.9 to +0.6 (northern and Balkan areas, and eastern part of the basin and Black Sea, respectively).

Table 3 reports the mean values of annual and seasonal THI for the whole period 1998–2007, and for each single year of the decade.

Figure 6 shows the THI anomalies calculated for the decade 1998–2007 versus CliNo. Value of annual THI anomaly over the decade indicated a general warming in the area with a positive anomaly respect to CliNo of +0.73 (Fig. 6a). On the other hand, a positive annual anomaly was recorded for each single year of the decade with the lowest value referring to year 2005 (+0.27) and the highest to year 2007 (+1.12). The analysis of seasonal anomalies (Fig. 6b) showed that in the winter season the anomalies recorded have been either positive (years 1998, 2001, 2002, 2004, 2007) or negative (years 1999, 2000, 2003, 2005, 2006); in the spring season, only a negative anomaly was recorded (year 2004, -0.22), whereas for the remaining 9 years of

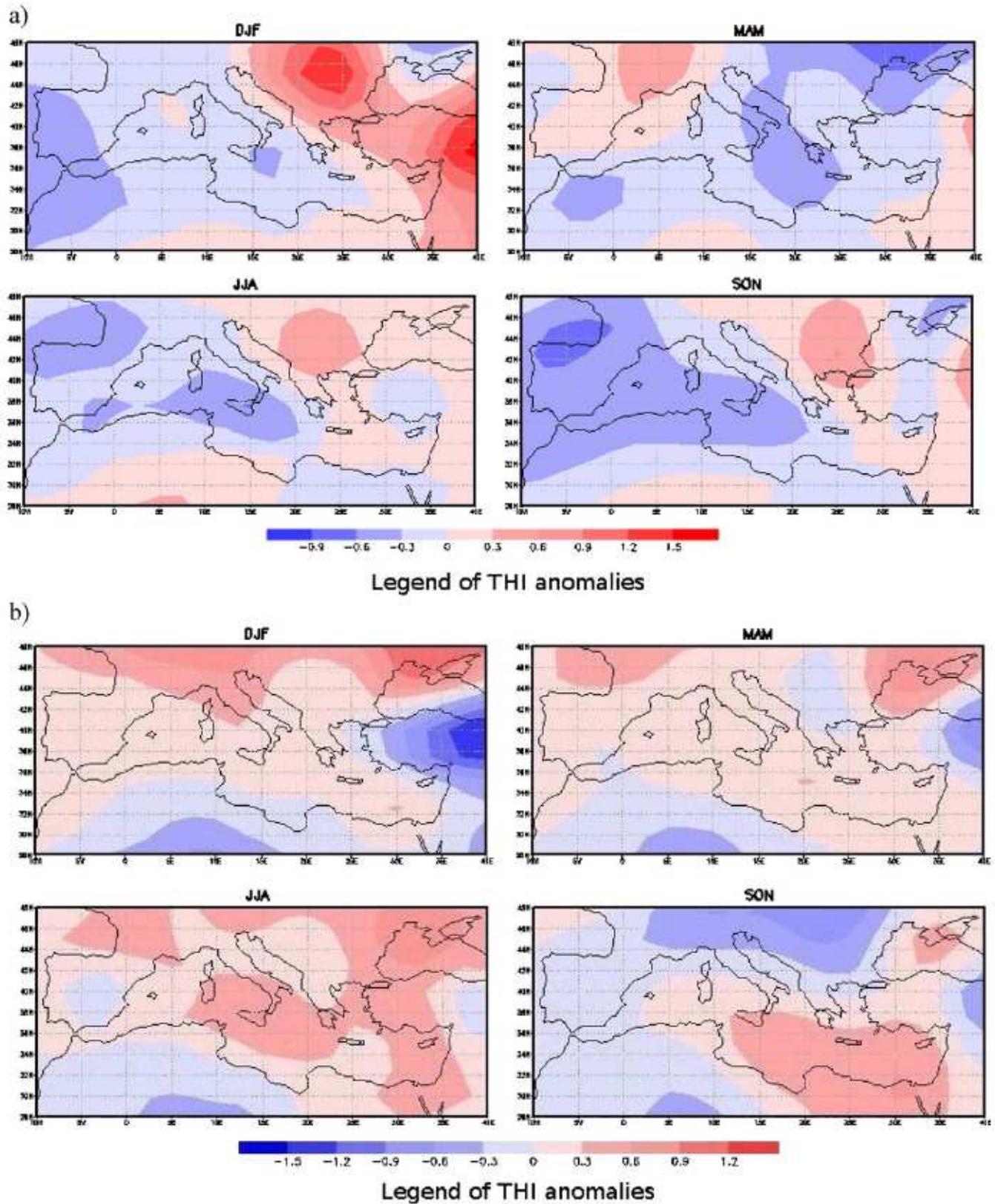


Fig. 5 Isolines of seasonal temperature humidity index (THI) anomalies versus CliNo (Climate Normal, 1961–1990 period) for the two 30-year periods different from CliNo considered in the study (1951–1980, a, and 1971–2000, b)

**Table 3** Mean values of annual and seasonal temperature humidity index (THI) of the Mediterranean basin calculated for the decade 1998–2007

Years	Annual THI	Seasonal THI
1998–2007	61.86	DJF 50.49 MAM 60.10 JJA 72.89 SON 63.95
1998	61.73	DJF 51.80 MAM 59.66 JJA 72.83 SON 63.46
1999	62.04	DJF 50.05 MAM 60.32 JJA 73.08 SON 63.90
2000	61.69	DJF 49.83 MAM 60.20 JJA 72.40 SON 63.86
2001	62.10	DJF 52.18 MAM 61.13 JJA 72.74 SON 63.90
2002	62.12	DJF 50.48 MAM 60.26 JJA 72.57 SON 64.46
2003	61.75	DJF 49.59 MAM 59.46 JJA 73.92 SON 63.98
2004	61.58	DJF 50.83 MAM 59.01 JJA 72.36 SON 64.16
2005	61.40	DJF 49.62 MAM 59.81 JJA 72.73 SON 63.41
2006	61.91	DJF 49.16 MAM 60.50 JJA 73.04 SON 64.89
2007	62.25	DJF 52.10 MAM 60.59 JJA 73.24 SON 63.45

the decade, the anomalies were positive with the maximum value recorded in 2001 (+1.9); in the summer season, only positive anomalies were recorded and the highest value was relative to summer 2003 (+2.14); also, in the fall season, the anomalies were all positive and ranged from +0.13 (year 2005) to +1.61 (year 2006).

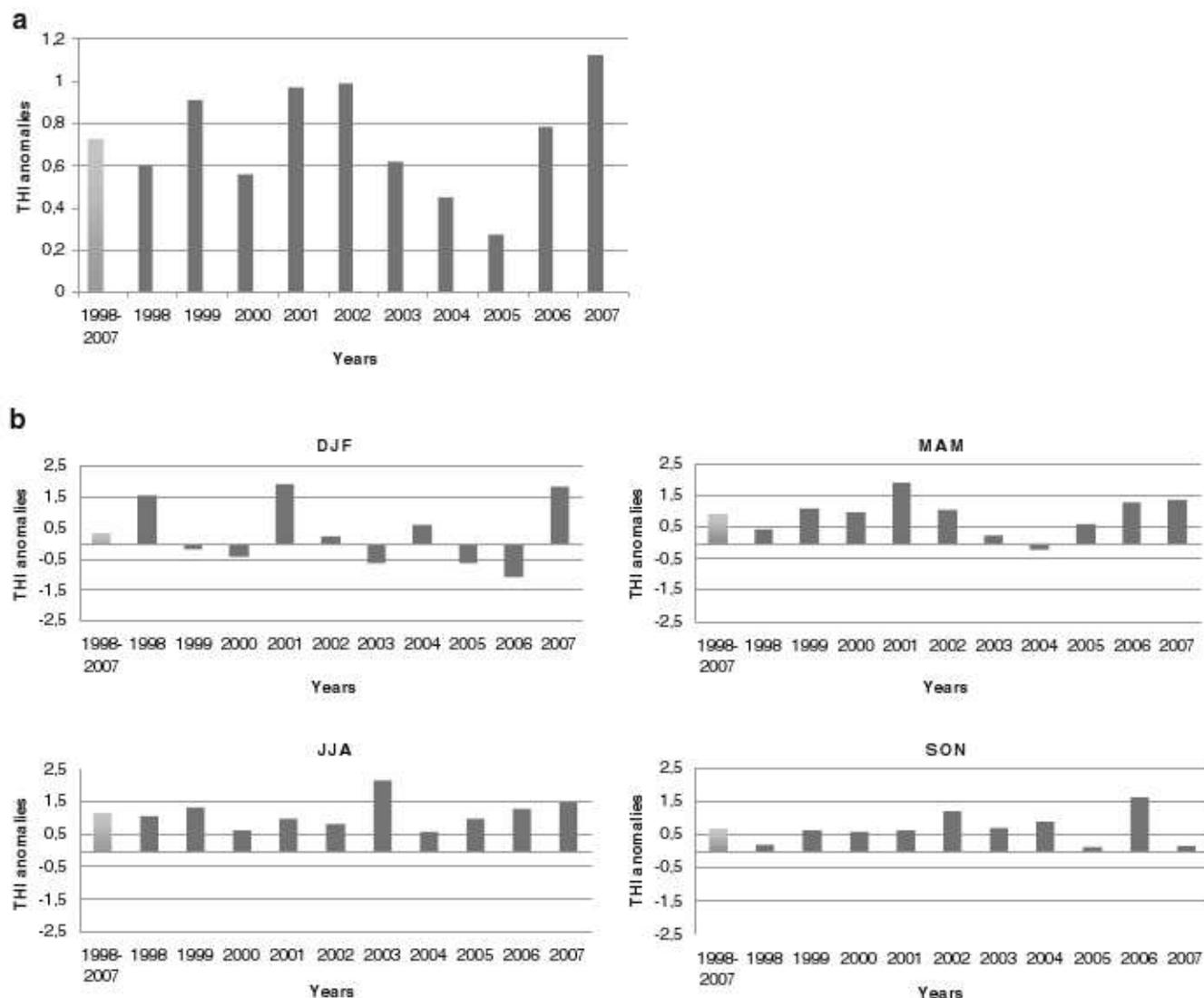
Figure 7 shows the isolines of summer THI anomalies of year 2003 versus CliNo. Also, in this case, the study area revealed a strong heterogeneity: a single negative anomaly (−1) was detected in eastern Turkey, whereas the positive anomalies showed a very wide range (from +0.5 to +5.5) and a south–north gradient.

## Discussion

Results reported herein are in line with those obtained from previous studies, which on the basis of climate features different from THI indicated that the geographical Mediterranean domain does not share the Mediterranean climate according to its commonly adopted definition (Köppen 1936; Bolle 2002). Furthermore, still in agreement with previous findings referring to temperatures (Klein Tank and Können 2003; Xoplaki et al. 2005, 2006; Luterbacher et al. 2007), the present study pointed out an overall THI increase in the Mediterranean basin in the period 1951–2007, and also that the THI dynamics in the study area were not spatially and temporally homogeneous.

First of all, we wish to remark that the general agreement between our results with those from previous analysis referred to temperature is not surprising, because in the THI formulas the weight of temperature is higher than that of relative humidity and this happens regardless the formula chosen for calculation (Bohmanova et al. 2007). However, as already explained, characterization of a geographic area in terms of THI permits a more accurate prediction of the effects of environmental warmth in cattle because this index takes into account the role of humidity in affecting the potential for evaporative heat loss from the body.

On the basis of previous observations, climate heterogeneity of the Mediterranean basin would reflect the presence of strong mesoscale features, which determine large climatic gradients within a region, which would, otherwise, have a much more homogeneous climate. The climatic heterogeneity of the area is likely due to physical and physico-geographical factors such as the atmospheric circulation, which in turn alters the storm track, air temperature, precipitation and pressure distribution, to the Atlantic and Mediterranean sea surface temperatures (SSTs) pattern and distribution, to the land–sea interactions, and also to the latitude, altitude and orography (Frei and Schär 1998). The response of the Mediterranean basin to large-scale climate forcing is very complicated, with strong

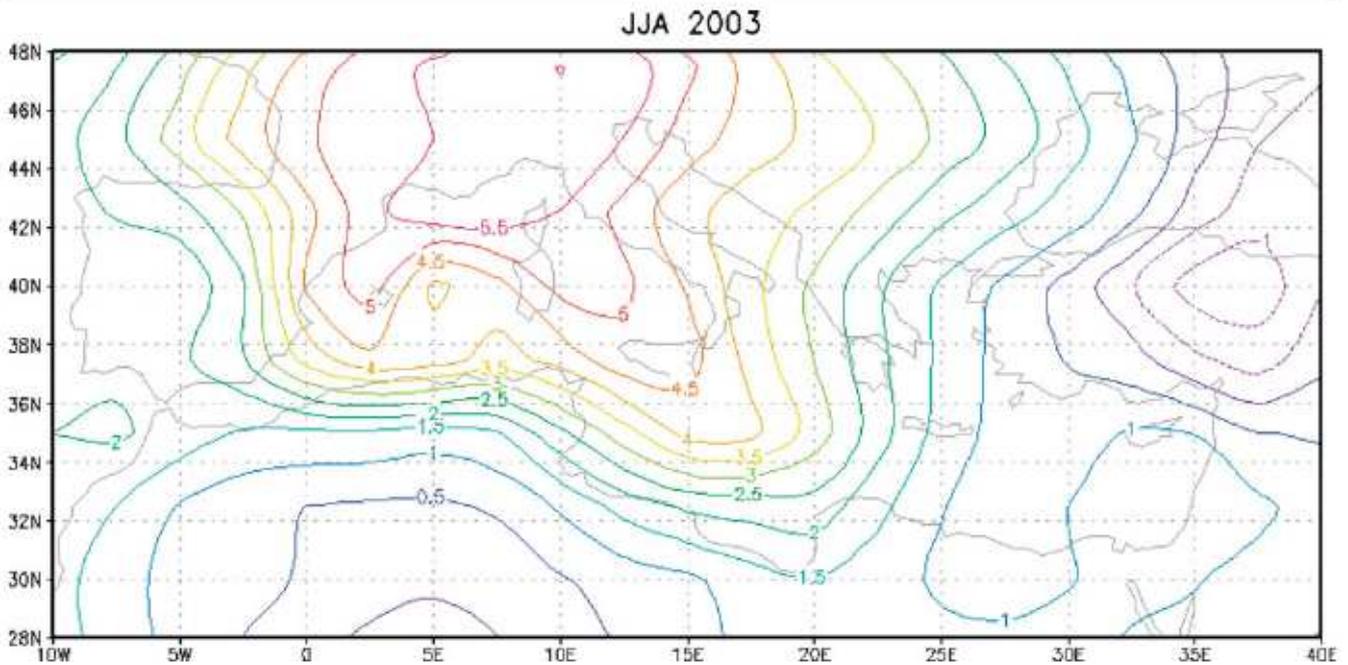


**Fig. 6** Annual (a) and seasonal (b) temperature humidity index (THI) anomalies calculated for the decade 1998–2007 versus CliNo (Climate Normal, 1961–1990 period)

spatial and temporal variability. Surface meteorological forcing over the Mediterranean is associated with the NAO, whose impact on climate and ecosystem parameters in northern and southern Europe is well documented. The growing interest in the NAO is partially explained by the fact that the spatial signature of the observed climate warming over the last century resembles the surface temperature anomalies associated with this index (Pokrovsky 2009). The positive phase of the summer NAO (SNAO) is associated with warm, dry and relatively cloud-free conditions over north-western Europe, and, less strongly, with cooler, wetter and cloudier conditions over southern Europe and the Mediterranean, especially in the eastern part (Folland et al. 2009). Linderholm et al. (2009) reported that, since approximately the 1960s, the positive trend in the SNAO, associated with increased drought in northern Europe,

coincides with a trend towards increased drought in the Mediterranean region, indicating that the recent temperature increase has caused drier conditions in both southern and northern Europe during summer.

Our analysis on seasonal THI dynamics in the period 1951–2000 pointed out an increase of summer and a slight decrease of winter values, and also differences in the THI dynamics between the west-central and eastern parts of the basin. These results are in line with those reported by Klein Tank and Können (2003) who indicated that the overall warming registered in Europe in the period 1976–1999 was likely associated with an increase in warm extremes rather than with a decrease in cold extremes. Furthermore, results reported herein are also concordant with those from Xoplaki et al. (2006), who indicated that in the period 1950–1999 there was a significant increase of summer



**Fig. 7** Isolines of summer temperature humidity index (THI) anomalies for the year 2003 versus CliNo (Climate Normal, 1961–1990 period)

temperatures in western and central Mediterranean, but not in the eastern areas of the basin. Investigating the difference between western and eastern Mediterranean pressures, Brunetti et al. (2002) hypothesized a higher frequency of anticyclones over the central-western part of the basin. It follows that the different temperature trends in western and eastern areas may be caused by the complex relationships between the Mediterranean climate, the general atmospheric circulation and the SSTs. In practice, the western parts of the basin are in a maritime regime, whereas the eastern parts are highly continental.

The present study also testified that warming of the Mediterranean basin in terms of THI was particularly marked in the decade 1998–2007, and that summer 2003, autumn 2006 and winter 2007 were the periods during which the positive anomaly values were higher with respect to CliNo. Xoplaki et al. (2005) reported that the decade 1995–2004 was the warmest in the last half millennium, and Luterbacher et al. (2007) indicated that autumn 2006 and winter 2007 were also the warmest in more than 500 years. Finally, several studies have documented that the summer of 2003 was the warmest summer ever recorded over western and central Europe, and was characterized by serious health problems in human beings and farm animals (Beniston 2004; Fink et al. 2004; Díaz Jiménez et al. 2005; Vitali et al. 2009). In summer 2003, an anticyclone stationed above western Europe prevented precipitation that usually enters the continent from the Atlantic Ocean. Extreme maximum temperatures of 35–40°C were repeatedly recorded in July and to a greater extent in August.

Both results from the present study and data provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ([www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)) indicated that the anomalous summer was centered over Switzerland, southern Germany, northern Italy, and south-eastern France. Furthermore, results reported herein also testify that the anomalies showed a south–north gradient. Previous studies documented that these kind of anomalies are caused by the spatial and temporal dominance of subtropical high pressure cells on cyclonic storms (Bolle 2002).

As already reported above, the THI has been widely utilized to predict the effects of environmental warmth in dairy cows. In a recent study carried out in Tunisia, Bouraoui et al. (2002) indicated that exposure of dairy cattle to mean daily THI higher than 69 is responsible for negative effects on milk yield, and that the extent of these effects is proportional to the number of units the THI is above the threshold. The present study indicated that, in several regions of the Mediterranean basin, summer THI values represent a major challenge for livestock industry, and made available a series of bioclimatic maps, which individuate the areas at a greater risk for cattle. In particular, the strong north–south gradient indicates that dairy cows reared in the countries of the central and south regions of the basin are likely to experience conditions of severe heat stress during summer months, which may severely compromise their performance, health and survival. Furthermore, data referring to summer 2003 testify that severe positive THI anomalies may also interest geographic areas with a favorable climate for animal production, and

that therefore may be characterized by a reduced capacity to cope with this kind of extreme climate events.

In conclusion, findings from this study suggest that THI dynamics should be taken into careful consideration by farmers and policy makers operating in Mediterranean countries when planning investments in the sector of animal production. In particular, in the areas of the basin where the THI increase was more pronounced or which were shown to be subjected to extreme climate events, the investments should at least partially be directed to implementation of adaptation measures, which may help to alleviate the impact of hot extremes on animal welfare, performance and health.

**Acknowledgements** This study was financially supported by EU (CIRCE Integrated Project # 036961), and Università degli Studi della Tuscia.

## References

- Beniston M (2004) The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophys Res Lett* 31 L02202. doi:10.1029/2003GL018857
- Berry IL, Shanklin MD, Johnson HD (1964) Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans Am Soc Agric Eng* 7:329–331
- Bohmanova J, Misztal I, Cole JB (2007) Temperature-Humidity Indices as indicator of milk production losses due to heat stress. *J Dairy Sci* 90:1947–1956. doi:10.3168/jds.2006-513
- Bolle HJ (2002) *Mediterranean climate: Variability and trends*. Springer, New York
- Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Djemali M, Belyea R (2002) The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim Res* 51:479–491. doi:10.1051/animres:200236
- Brunetti M, Maugeri M, Nanni T (2000) Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theor Appl Climatol* 65:165–174
- Brunetti M, Maugeri M, Nanni T (2002) Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years. *Int J Climatol* 22:1455–1471. doi:10.1002/joc.805
- De la Casa AC, Ravelo AC (2003) Assessing temperature and humidity conditions for dairy cattle in Córdoba, Argentina. *Int J Biometeorol* 48:6–9. doi:10.1007/s00484-003-0179-x
- Díaz Jiménez J, Linares Gil C, García Herrera R (2005) Impact of extreme temperatures on public health. *Rev Esp Salud Pública* 79:145–157
- Fink AH, Brücher T, Krüger A, Leckebusch GC, Pinto JG, Ulbrich U (2004) The 2003 European summer heatwaves and drought-synoptic diagnosis and impacts. *Weather* 59:209–216
- Folland CK, Knight J, Linderholm HW, Fereday D, Ineson S, Hurrell JW (2009) The summer North Atlantic oscillation: past, present, and future. *J Clim* 22:1082–1103
- Frei C, Schär C (1998) A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *Int J Climatol* 18:873–900
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A (2008) A new heat load index for feedlot cattle. *J Anim Sci* 86:226–234. doi:10.2527/jas.2007-0305
- Goubanova K, Li L (2006) Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensembles of future climate scenario simulations. *Glob Planet Chang* 57:27–42. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.012
- Griffiths JF (1976) *Applied climatology*. Oxford University Press, London
- Hahn GL, Mader TL, Eigenberg RA (2003) Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *EAAP Technic Ser* 7:31–44
- Holton JR (1992) *An Introduction to dynamic meteorology*. Academic, San Diego
- Johnson HD (1980) Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. *Int J Biometeorol* 24:65–78
- Klein Tank AMG, Können GP (2003) Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J Clim* 16:3665–3680
- Kalnay et al (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc* 77:437–470
- Köppen W (1936) Das geographische aystem der klimate. In: Köppen W, Geiger R (eds) *Handbuch der Klimatologie*, Bd 1. Gebr Borntröger, Berlin, pp C1–C44
- Linderholm HW, Folland CK, Walther A (2009) A multicentury perspective on the summer North Atlantic oscillation (SNAO) and drought in the Eastern Atlantic region. *J Quat Sci* 24:415–425. doi:10.1002/jqs.1261
- Luterbacher J, Liniger MA, Menzel A, Estrella N, Della-Marta PM, Pfister C, Rutishauser T, Xoplaki E (2007) Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts. *Geophys Res Lett* 34 L12704. doi:10.1029/2007GL029951
- Nardone A, (2000) Weather condition and genetics of breeding systems in the Mediterranean area. *Proc XXXV Int Symp It Soc Progr Zootec*. Ragusa, Italy, pp 67–91
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Bernabucci U (2006) Climate effects on productive traits in livestock. *Vet Res Commun* 30 (1):75–81. doi:10.1007/s11259-006-0016-x
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U (2009) Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock system. *Livestock Sci* 130:57–69
- Nienaber JA, Hahn GL (2007) Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol* 52:149–157. doi:10.1007/s00484-007-0103-x
- NOAA (1976) *Livestock hot weather stress*. Oper Man Lett C-31-76, Kansas City, MO
- Pauling A, Paeth H (2007) On the variability of return periods of European winter precipitation extremes over the last three centuries. *Clim Past* 3:65–76
- Pinna M (1977) *Climatologia*. UTET, Torino
- Pokrovsky OM (2009) European rain rate modulation enhanced by changes in the NAO and atmospheric circulation regimes. *Comput Geosci* 35:897–906. doi:10.1016/j.cageo.2007.12.005
- de Rancourt M, Mottet A (2006) Mediterranean animal production: development or decline? *Options Méditerr* 78:13–22
- Scherrer SC, Appenzeller C, Liniger MA (2006) Temperature trend in Switzerland and Europe: implication for Climate Normal. *Int J Climatol* 26:565–580. doi:10.1002/joc.1270
- Somporn P, Gibb MJ, Markvichit K, Chaiyabutr N, Thummabood S, Vajrabukka C (2004) Analysis of climatic risk for cattle and buffalo production in northeast Thailand. *Int J Biometeorol* 49:59–64. doi:10.1007/s00484-004-0206-6
- Thom EC (1958) Cooling degrees: day air-conditioning, heating and ventilating. *Trans Am Soc Heat* 55:65–69
- Touchan R, Xoplaki E, Funkhouser G, Luterbacher J, Hughes MK, Erkan N, Akkemik Ü, Stephan J (2005) Reconstructions of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from

- tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation. *Clim Dyn* 25:75–98
- Trewartha GT, Horn LH (1980) *An Introduction to climate*. McGraw-Hill, New York
- Troll C, Paffen KH (1964) Karte der Jahreszeiten klimate der Erde. *Erdkunde* 18:5–28
- Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N (2009) Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature humidity index in dairy cows. *J Dairy Sci* 92:3781–3790. doi:10.3168/jds.2009.2127
- West JW (2003) Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci* 86:2131–2144
- Xoplaki E, González-Rouco JF, Luterbacher J, Wanner H (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Clim Dyn* 23:63–78. doi:10.1007/s00382-004-0422-0
- Xoplaki E, Luterbacher J, Paeth H, Dietrich D, Steiner N, Grosjean M, Wanner H (2005) European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium. *Geophys Res Lett* 32:15713. doi:10.1029/2005GL023424
- Xoplaki E, Luterbacher J, González-Rouco JF (2006) Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Il Nuovo Cimento C* 29(1):45–54. doi:10.1393/ncc/i2005-10220-4

- 3) Segnalini M, Lacetera N, Bernabucci U, Nardone A (2010) Temperature-Humidity Index scenarios in the Mediterranean basin. *Advances in Animal Biosciences* 1: 399-401 DOI: 10.1017/S2040470010000282. Published online: 08 November 2010

doi:10.1017/S2040470010000282

## Temperature-Humidity Index scenarios in the Mediterranean basin

Maria Segnalini<sup>†</sup>, Nicola Lacetera, Umberto Bernabucci and Alessandro Nardone

*Dipartimento di Produzioni Animali, Università degli Studi della Tuscia, 01100, Viterbo, Italy*

### Introduction

In its 2007 assessment, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the first time provided best estimates and likely ranges for global average warming under each of its emission scenarios. Based on plausible emission scenarios, the IPCC estimates that average surface temperatures could rise between 2°C and 6°C by the end of the 21st century. Projected increases in temperature could cause more severe conditions of heat stress in farm animals and also a number of other effects (reduced growth and quality of grassland and crops, water availability, higher diffusion of vector-borne diseases, etc), which may indirectly impair animal health, welfare and performances (Lacetera *et al.*, 2003). The Mediterranean basin has been identified as one of the most prominent “Hot-Spots” in future climate change (Giorgi *et al.*, 2006). The work described herein was aimed at describing the climate scenario until 2050 in the Mediterranean basin in terms of the Temperature Humidity Index (THI). THI is an index that combines the values of temperature and humidity into a single value and has been widely used as a measure of thermal stress in livestock.

### Material and methods

The Mediterranean basin was delimited by the 10° West and 40° East meridians, 28° and 48° North parallels. This study was carried out using the dataset simulation of the Centre National de la Recherche Scientifique and Institute Pierre Simon Laplace. This simulation, with regional coupled model LMDZ-Med/NEMO-Med8, covers 100 years (1951–2050) and corresponds to the IPCC-A1B scenario. It covers the Mediterranean basin with a spatial resolution of about 35 km. Human land use is not included in these simulations. Air temperature and relative humidity with monthly frequency were extracted from this database to calculate the THI for the next 100 years. The formula used has already been utilized for THI calculation in previous animal biometeorology studies carried out in Mediterranean countries (Bouraoui *et al.*, 2002; Vitali *et al.*, 2009). The Mediterranean basin was characterized on the basis of the mean annual and seasonal THI for CliNo period (1971–2000) and separately for each of the four single decades (2011–2020, 2021–2030, 2031–2040, and 2041–2050), by producing THI maps. Anomalies between decades and CliNo were also evaluated.

### Results

Annual and seasonal THI values testified significant differences between western and eastern and between northern and southern areas of the basin (not shown). This is not surprising since the Mediterranean basin is a highly heterogeneous region, with a climate characterized by a great diversity of features due to its unique geographic location: a transition zone between the hot and dry African climate regime in the south, and the mild and humid European climate in the north. Figure 1 shows values of mean values of summer (June, July, and August) THI for the decade 2041–2050. The anomalies throughout the region are positive for all decades, even if they will not affect the different countries of the basin similarly. Table 1 reports mean values of summer THI in the basin and values of the anomalies respect to CliNo. Only values of summer THI are shown because numerous studies have indicated this season as the one with the greatest risk for animal health, welfare and performances (Vitali *et al.*, 2009), and also because THI is particularly suitable to predict the effects of environmental warmth.

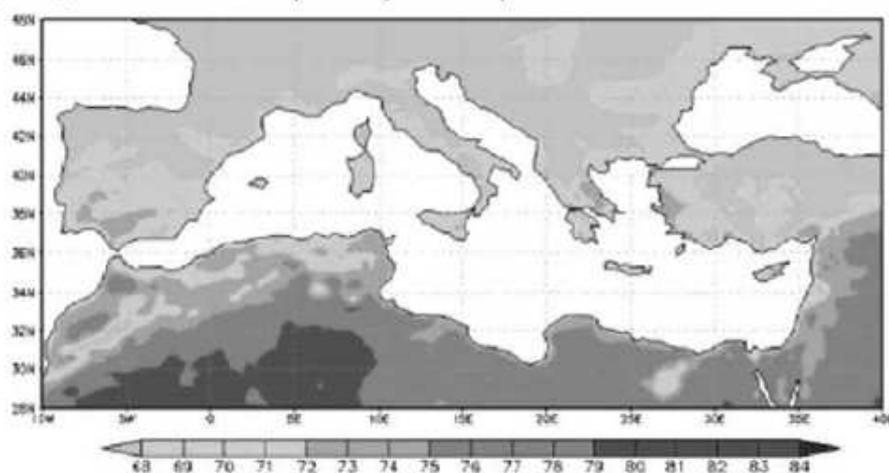


Figure 1 Summer THI for decade 2041–2050.

<sup>†</sup> E-mail: m.segnalini@unitus.it

**Table 1** Summer THI values and anomalies

Years	Mean THI	SD	Anomalies vs CliNo
1971–2000	66.6	0.4	–
2011–2020	68.0	0.4	+1.4
2021–2030	68.3	0.2	+1.7
2031–2040	68.5	0.3	+1.9
2041–2050	69.1	0.3	+2.5

### Conclusions

These results indicate that the expected warming of the area is likely to increase thermal discomfort of livestock in several regions. This underlines the importance to develop appropriate adaptation strategies (nutritional, environment modifications, genetic selection for thermo-tolerance) to attenuate the negative effects of heat stress in farm animals, considering that the subsistent economies of many countries of the south Mediterranean basin are strongly engaged in that sector. Comprehensive frameworks need to be developed to identify and target adaptation options that are appropriate for specific contexts, and that can contribute to environmental sustainability as well as to economic development and poverty alleviation.

### Acknowledgements

This study was financially supported by EU-Project CIRCE (Climate change and Impact ResearCh: the mediterranean Environment) contract # 036961, and Università degli Studi della Tuscia.

### References

- Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Djemali M and Belyea R 2002. *Animal Research* 51, 479–491.
- Giorgi F 2006. *Res Lett* 33, L08707.
- IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
- Lacetera N, Bernabucci U, Ronchi B and Nardone A 2003. *Wageningen Acad. Publ.—EAAP Techn. Series no. 7*, 45–59.
- Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A and Lacetera N 2009. *Journal of Dairy Science* 92, 3781–3790.

- 4) Segnalini M, Vitali A, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N (2011) Temperature humidity index welfare categories in the Mediterranean basin: A scenario approach. Proceedings 19th International Congress of Biometeorology, in press

## **Temperature humidity index welfare categories in the Mediterranean basin: A scenario approach**

Maria Segnalini, Andrea Vitali, Umberto Bernabucci, Alessandro Nardone, Nicola Lacetera\*

Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia, Università della Tuscia, Viterbo, Italy. \*nicgio@unitus.it

### **Abstract**

The study was aimed at describing the temperature humidity index (THI) dynamics over the Mediterranean basin by using the following livestock welfare categories:  $THI \leq 68$  (no risk),  $68 \leq THI < 72$  (mild discomfort),  $72 \leq THI < 75$  (discomfort),  $75 \leq THI < 79$  (alert),  $79 \leq THI < 84$  (danger), and  $THI \geq 84$  (emergency). The study area was delimited by the 10° West and 40° East meridians, 28° and 48° North parallels, and covers portions of three continents, Europe, Asia, and Africa whose countries border the Mediterranean sea. The analysis was based on the temperature and relative humidity daily outputs of the Max Planck Institute data using the IPCC SRES A1B emission scenario. The study focused on the period 1971-2050 and covered the study area with a spatial resolution of about 25 km. Only during summer months the area presented characteristics indicating risk of thermal stress for farm animals. Compared to the 30-years period 1971-2000, scenario maps relative to the summer season indicated an enlargement of the areas in the basin where summer THI values will cause discomfort in farm animals. Furthermore, most of the basin will be characterized by a category shift indicating a higher risk for animal health, welfare and performances. In conclusion, the study indicated that the Mediterranean basin is likely to undergo THI changes, which may aggravate the consequences of hot weather on animal welfare, performances, health and survival.

### **1. Introduction**

According to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the forecasted climate changes and extreme events are expected to have a dramatic impact on natural ecosystems and economy in many parts of the world (IPCC, 2007). In this context, due to pronounced temperature increase and precipitations decrease during spring and summer seasons, the Mediterranean basin has been categorized as a global warming hotspot (Giorgi & Bi, 2005; Giorgi, 2006), in that the area is expected to face particularly high impact from global warming and climate change and to be most vulnerable to their deleterious effects. Recent scenarios referred to this area predicted an average rise in air temperature, depending on the emission scenario, ranging from +2 °C to + 6.5 °C by the end of the century, which is higher than the world average estimated as ranging from +1.1 °C and +6.4 °C (IPCC, 2007). Weather and climate may exert negative effects in farm animals and the ability to predict the effects of climate variables on livestock is important to guarantee animal health, welfare and performances (Nardone et al., 2006; Vitali et al., 2009). A series of indexes has been suggested to describe the influence of thermal environment on animal response (Hahn et al., 2003). The temperature humidity index (THI) combines temperature and humidity into a single value, and even if with some limitations it is still widely considered of great help to predict the effects of environmental warmth in farm animals. In particular, on the basis of THI values, numerous studies have been performed to establish thresholds for heat stress and welfare categories for livestock. In this context, according to Bouraoui et al. (2002) and Hahn and coworkers (2003) a  $THI \leq 68$  generally does not cause safety problem for healthy animals; under

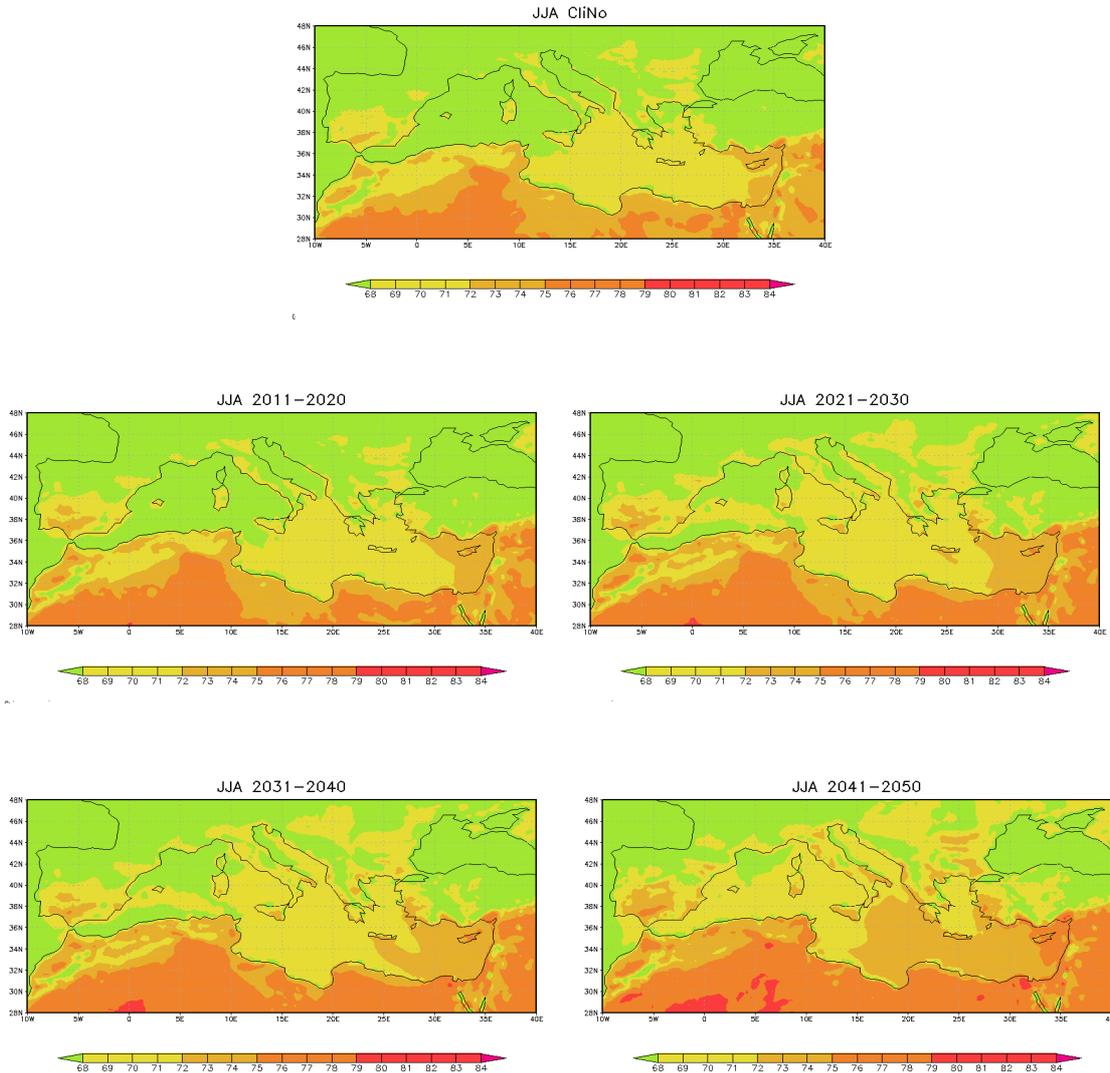
mild discomfort condition ( $68 \leq \text{THI} < 72$ ) and discomfort condition ( $72 \leq \text{THI} < 75$ ) heat stress begins to cause first problems (decrease of milk yield); under alert condition ( $75 \leq \text{THI} < 79$ ), producers can expect some decrease in the rate of weight gain; under danger conditions ( $79 \leq \text{THI} < 84$ ), animals show noticeable decreases in weight gain and, when handled, transported or overcrowded, may be severely affected; under emergency conditions ( $\text{THI} \geq 84$ ) without management intervention, animal mortality can occur, especially when such conditions are prolonged. The present study was aimed at describing the temperature humidity index (THI) dynamics over the Mediterranean basin in the period 1971-2050 by using THI based livestock welfare categories.

## 2. Method

The study area was delimited by the 10° West and 40° East meridians, 28° and 48° North parallels, and covers portions of three continents, Europe, Asia, and Africa whose countries border the Mediterranean sea. The analysis was based on the temperature and relative humidity daily outputs of the Max Planck Institute data using the IPCC SRES A1B emission scenario (<http://web.lmd.jussieu.fr/~li/circe/>). Briefly, A1B scenario describes a very rapid economic growth with the introduction of efficient technologies and is characterized by a balanced emphasis on all energy sources (fossil and non-fossil). The study focused on the period 1971-2050 and covered the study area with a spatial resolution of about 25 km. The THI was calculated throughout the following formula:  $\text{THI} = (1.8 \cdot \text{AT} + 32) - (0.55 - 0.55 \cdot \text{RH}) \cdot [(1.8 \cdot \text{AT} + 32) - 58]$  which is based on values of ambient temperature (AT, °C) and relative humidity (RH, fraction of the unit). The first step of the study was the assessment of the mean annual and seasonal THI for a standard climatological normal period (CliNo) and for the four decades 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 and 2041-2050. The CliNo period chosen was the 30-years period 1971-2000. For the seasonal characterization of the study area, the months of December, January, and February were defined as winter; March, April, and May, as spring; June, July, and August, as summer (JJA); and September, October, and November, as fall. Secondly, on the basis of results obtained throughout this approach (not shown) and of literature data relative to THI thresholds for animal health, welfare or performances (Bouraoui et al., 2002; Hahn et al., 2003), a further series of analysis was carried out by considering only summer season. In other words, the analysis was more sophisticated for the summer season because summer THI values will surely represent the major challenge for the livestock industry in the area under study. Therefore, in the context of the JJA season only, CliNo and the four decades under study were also compared by describing the area on the basis of the THI welfare categories described in detail in the Introduction section:  $\text{THI} \leq 68$  (no risk),  $68 \leq \text{THI} < 72$  (mild discomfort),  $72 \leq \text{THI} < 75$  (discomfort),  $75 \leq \text{THI} < 79$  (alert),  $79 \leq \text{THI} < 84$  (danger), and  $\text{THI} \geq 84$  (emergency). Map of isolines were generated by the geographical software GrADS (Grid Analysis and Display System). GrADS is an interactive desktop tool for visualization and manipulation of earth science data and is freely distributed on the web (<http://www.iges.org/grads/>). It uses a 4-dimensional data environment: longitude, latitude, vertical level, and time with operations executed interactively by entering FORTRAN-like expressions at the command line.

## 3. Results

First of all, only during summer months the area presented characteristics indicating risk of thermal stress for farm animals. Secondly, compared to CliNo, scenario maps relative to the summer season (JJA) indicated an enlargement of the areas in the basin where summer THI values will cause discomfort in farm animals (Figure 1).



**Fig. 1:** Summer (JJA) temperature humidity index values related to livestock welfare categories for CliNo period (1971-2000) and the four decades 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, and 2041-2050. Different colors identify the different livestock welfare categories:  $THI \leq 68$ ,  $68 \leq THI < 72$ ,  $72 \leq THI < 75$ ,  $75 \leq THI < 79$ ,  $79 \leq THI < 84$ , and  $THI \geq 84$ .

In general terms, most of the basin will be characterized by a category shift indicating a higher risk for animal health, welfare and performances. In particular, at the end of the study period, only northern Spain, France and alpine regions are expected to have mean values of summer THI below the upper critical value of 68 (green color in the map), whereas large areas of north African and eastern countries are predicted to have mean values of summer THI indicating alert conditions ( $75 \leq THI < 79$ ). Finally, it has to be noticed that all maps point out a north-south gradient, in that the THI categories identifying the highest risk for livestock are recognizable in the southern regions of the basin.

#### 4. Discussion

Substantially, these findings indicate that under the A1B scenario conditions the Mediterranean basin is expected to undergo an overall increase of THI values which will be spatially and temporally not homogeneous and are in line with results from previous studies referring to

temperatures (IPCC, 2007; Gao & Giorgi, 2008). In practice, previous studies based on the analysis of temperature data, suggested that the impacts and temperature variations will not be the same for the entire region, and that particularly significant warming is expected over the Iberian Peninsula, in south-eastern Europe including Turkey, and in the Baltic states (IPCC 2007). On the other hand, heterogeneity of the Mediterranean basin in term of THI was already pointed out in a recently published retrospective study relative to the period 1951-2007 (Segnalini et al., 2011). In that study, we have already widely discussed as the strong heterogeneity of the Mediterranean climate depends on a series of factors which include the complicated atmospheric circulation, land-sea interactions, and also latitude, altitude and orography of the area (Frei and Schär 1998). However, even if indicating that in the period 2011-2050 the THI values are expected to increase in the whole Mediterranean area, results reported herein clearly point out that it is especially in the southern part of the basin that THI is likely to reach values which may determine danger or emergency conditions for farm animals.

## 5. Conclusion

In conclusion, findings from this study indicated that in several regions of the Mediterranean basin, summer THI values will surely represent a major challenge for the livestock industry and that therefore THI scenarios should be taken into careful consideration by farmers and policy makers operating in Mediterranean countries when planning investments. In particular, also considering that the areas of the basin where the THI increase is predicted to be more pronounced already experience a variable level of food insecurity, the investments should at least partially be directed to implementation of adaptation measures (housing conditions, nutritional and feeding management, genetic selection against heat stress) which may support farmers in the transition to climate-smart agriculture and help them to alleviate the impact of hot extremes on animal welfare, performance and health.

## Acknowledgements

This study was financially supported by EU (CIRCE Integrated Project # 036961), and Università degli Studi della Tuscia.

## References

- Bouraoui, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M. Djemali, R. Belyea, 2002: The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51, 479-491.
- Frei, C., C. Schär, 1998: A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *Int. J. Climatol.* 18, 873-900.
- Gao, X., F. Giorgi, 2008: Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model. *Glob. Planet. Change* 62:195-209.
- Giorgi, F., X. Bi, 2005: Update regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophys. Res. Lett.* 32, L21715-21718.
- Giorgi, F., 2006: Climate change hot-spots *Geophys. Res. Lett.* 33, L08707-08710.
- Hahn, G.L, T.L. Mader, R.A. Eigenberg, 2003: Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *EAAP Techn. Series* 7, 31-44.
- IPCC, 2007: *Climate change 2007. Physical Science Basis*, Cambridge.

- Nardone, A., B. Ronchi, N. Lacetera, U. Bernabucci, 2006: Climate effects on productive traits in livestock. *Vet. Res. Commun.* 30(1), 75-81.
- Segnalini, M., A. Nardone, U. Bernabucci, A. Vitali, B. Ronchi, N. Lacetera, 2011: Dynamics of the temperature-humidity index in the Mediterranean basin. *Int. J. Biometeorol.* 55, 253-263
- Vitali, A., M. Segnalini, L. Bertocchi, U. Bernabucci, A. Nardone, N. Lacetera, 2009: Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 3781-3790.

- 5) Lacetera N, Segnalini M, Tran A, Guis H, Bernabucci U, Ronchi B, Vitali A, Caminade C, Calvete C, Morse A, Baylis M, Nardone A (2011) Final Report - Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean (RACCM) (5. Climate Induced Effects on Livestock Population and Productivity in the Mediterranean Area) in press

#### **5. Climate Induced Effects on Livestock Population and Productivity in the Mediterranean Area**

Nicola Lacetera<sup>\*a</sup>, Maria Segnalini<sup>a</sup>, Annelise Tran<sup>b</sup>, Helene Guis<sup>b,c</sup>, Umberto Bernabucci<sup>a</sup>, Bruno Ronchi<sup>a</sup>, Andrea Vitali<sup>a</sup>, Cyril Caminade<sup>d</sup>, Carlos Calvete<sup>e</sup>, Andrew Morse<sup>c</sup>, Matthew Baylis<sup>c</sup>, Alessandro Nardone<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Dipartimento di Produzioni Animali, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italy

<sup>b</sup>CIRAD, Animal and Integrated Risk Management unit, Montpellier, France

<sup>c</sup>Liverpool University Climate and Infectious Diseases of Animals (Lucinda), Faculty of veterinary Science, Neston, United Kingdom

<sup>d</sup>Department of Geography, University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom

<sup>e</sup>Unidad de Sanidad y Producción Animal, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, Gobierno de Aragón, Zaragoza, Spain

\* Corresponding author: nicgio@unitus.it





















|





|

|

|













*Ringrazio il Prof. Nicola Lacetera per avermi costantemente indirizzato e seguito in questi anni con disponibilità, cortesia e pazienza, e per aver fortemente contribuito alla mia crescita umana e professionale.*

*Un sentito ringraziamento al Prof. Alessandro Nardone per i tanti preziosi insegnamenti di questi anni.*

*Ringrazio inoltre il Dott. Fabio Abeni e il Prof. Luigi Calamari per gli utili consigli di stesura di questa tesi di dottorato.*

*Grazie al Dott. Andrea Vitali per l'amicizia e la collaborazione, ai miei compagni di viaggio, agli amici del caffè, ai colleghi di stanza e a tutte le persone che mi sono state vicine perché senza il loro sostegno nulla sarebbe stato fatto così come è stato fatto!*

*Maria*