

## Criteri progettuali per il benessere animale nelle stalle per bovine da latte

Lettura tenuta il 14 ottobre 2010

### PREMESSA

L'evoluzione dell'allevamento da latte negli ultimi anni è stata supportata da un significativo contributo da parte della ricerca, che ha affrontato molte problematiche dei diversi aspetti dell'allevamento (alimentare, igienico-sanitari, ecc.). Sicuramente una delle tematiche di particolare attenzione negli ultimi anni è quella riferita al benessere animale. In questo concetto vengono considerati diversi aspetti dell'allevamento delle bovine. Un animale, infatti, viene considerato in un buono stato di benessere, se è sano, in condizioni di comfort, ben nutrito, sicuro, capace di esprimere un comportamento innato e in grado di reagire se è sottoposto a condizioni sgradevoli come il dolore e la paura (EFSA, 2009). La valutazione del benessere deve poter essere ottenuta in modo oggettivo. Per questo la ricerca si è orientata anche verso l'individuazione di opportuni indicatori del benessere degli animali.

Gli elementi strutturali che costituiscono il ricovero degli animali stabulati risultano una delle componenti che contribuiscono a determinare il benessere degli animali (fig. 1).

Infatti, non bisogna dimenticare che la funzione prioritaria delle strutture di stabulazione è di permettere all'animale di vivere nelle migliori condizioni ambientali possibili, anche perché la bovina da latte è in grado di estrinsecare le proprie potenzialità produttive solo se le vengono garantite le condizioni ambientali ottimali.

Risulta, quindi, evidente l'opportunità di fornire indicazioni chiare sui criteri di progettazione di stalle di questo tipo e sulle modalità di intervento da

\* *Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano*

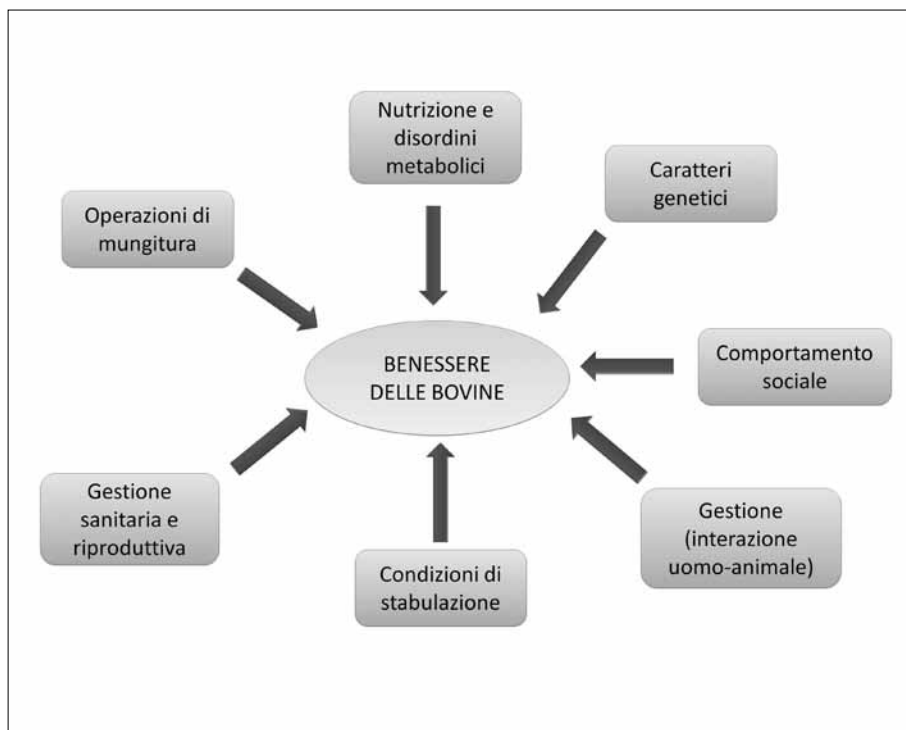


Fig. 1 Il benessere delle bovine da latte è il risultato di molteplici fattori che interagiscono tra loro e influenzano lo stato dell'animale

adottare sulle strutture esistenti per mitigare lo stress degli animali, in conformità alle normative sul benessere animale e agli obiettivi di produttività dell'allevamento.

#### BENESSERE ANIMALE E CONDIZIONI AMBIENTALI

Il benessere animale è strettamente connesso anche con le condizioni ambientali interne alla struttura di stabulazione. In particolare per le bovine da latte allevate in stabulazione libera con zona di riposo a cuccette, i parametri microclimatici che vengono generalmente presi in considerazione sono:

- *Temperatura*. I bovini sono animali omeotermi, cioè riescono a controllare e mantenere costante la temperatura corporea interna (circa 38,5°), che, entro determinati limiti, è indipendente da quella dell'ambiente fisico circostante. La *termoregolazione* permette ai bovini di difendersi dal caldo e dal freddo.

La situazione in cui si hanno le migliori performance produttive è la *zona di neutralità termica*, che è l'intervallo di temperatura in cui è minima la produzione di calore e, di conseguenza, è massima l'energia che l'animale può utilizzare per la produzione. La neutralità termica per le bovine in lattazione è tra -5°C e 25°C (Manenti e Gastaldo, 2001). La bovina è quindi un animale che si adatta meglio a climi freddi, infatti con temperature alte peggiora le produzioni e diminuisce la fertilità. Per questo motivo è molto importante il controllo delle condizioni termiche all'interno della stalla soprattutto nel periodo estivo, quando si rischia un aumento della temperatura interna alla struttura fino a raggiungere valori che causano stress termico nelle bovine.

- *Velocità dell'aria*. Le bovine da latte nel periodo invernale soffrono particolarmente le correnti d'aria fredda in quanto causano un aumento della dispersione di calore, perciò è necessario evitare l'esposizione della stalla ai venti dominanti e, dove questo non è possibile, occorre risolvere il problema con tamponamenti o strutture frangivento, in modo da mantenere la velocità dell'aria al di sotto dei 0.5 m/s. In periodi caldi, invece, una maggiore velocità dell'aria (fino a 4-5 m/s) è positiva, infatti accelera l'evaporazione e la dispersione di calore, così da aiutare l'allontanamento dell'aria calda e umida dagli animali.
- *Umidità*. L'umidità elevata in presenza di basse temperature contribuisce ad aumentare le perdite di calore corporeo; con alte temperature invece diventa difficoltoso lo smaltimento del calore corporeo per evaporazione che proprio alle alte temperature è la via che maggiormente consente la termoregolazione. In generale però una bassa umidità è comunque da evitare per l'aumento di secchezza e polverosità nell'ambiente che possono creare problemi agli animali, in particolare alle vie respiratorie. Valori di umidità relativa ottimale si possono considerare dal 60% all'80%.

In letteratura l'indice più frequentemente utilizzato per valutare il grado di stress termico nelle bovine da latte al variare dei fattori ambientali di umidità e temperatura è il Temperature Humidity Index (THI). Non è corretto infatti considerare solo la temperatura dell'aria in quanto questa può discostarsi dalla temperatura effettivamente percepita dagli animali, che è influenzata dall'irraggiamento, dalla temperatura e dall'umidità relativa. Il THI considerando sia la temperatura sia l'umidità permette di avere una valutazione più oggettiva delle condizioni microclimatiche all'interno della stalla. L'indice THI è, come spiegato, una relazione tra i due parametri ambientali legati dalla seguente relazione:

$$THI = T + 0.36 * T_{dp} + 41.2 \text{ (ASABE, 2006)}$$

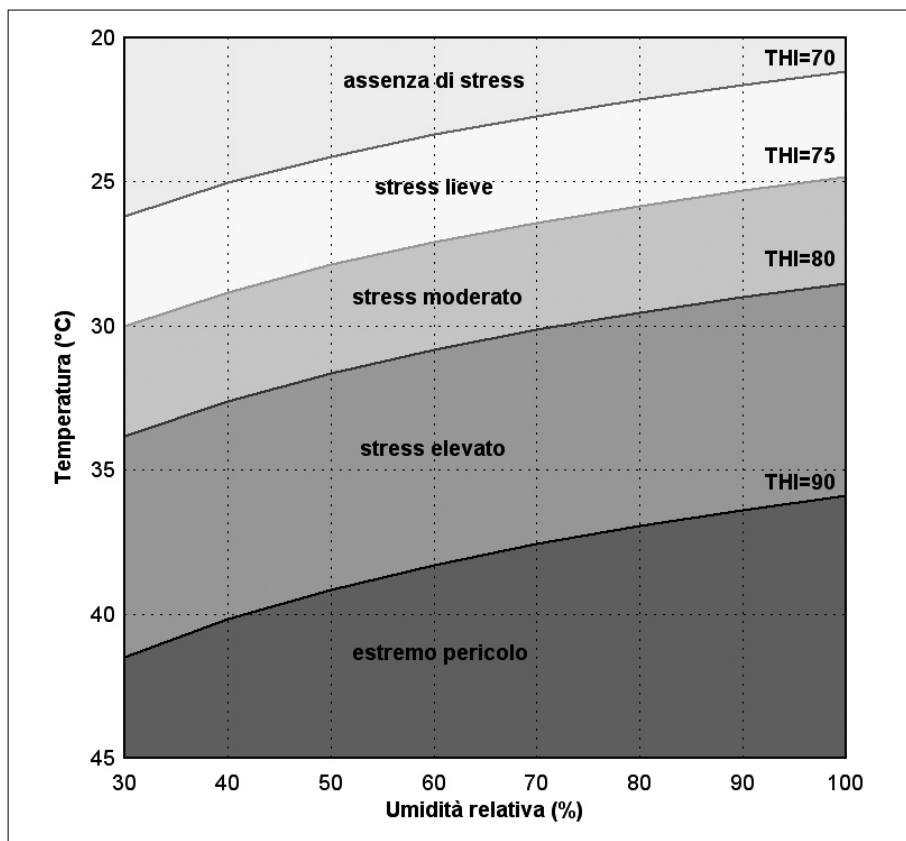


Fig. 2 Abaco per il calcolo dello stress da caldo basato THI (elaborato da ASABE, 2006)

Dove:

$T$  = temperatura dell'aria (bulbo asciutto) in °C

$T_{dp}$  = temperatura al punto di rugiada in °C

In figura 2 sono riportati i valori di THI in relazione alla temperatura e umidità dell'aria con l'indicazione dello stato di stress termico nelle bovine in lattazione.

#### LO STRESS DA CALDO

Numerosi autori hanno evidenziato le problematiche relative all'effetto delle condizioni climatiche sulla risposta degli animali e un'ottima rassegna del-

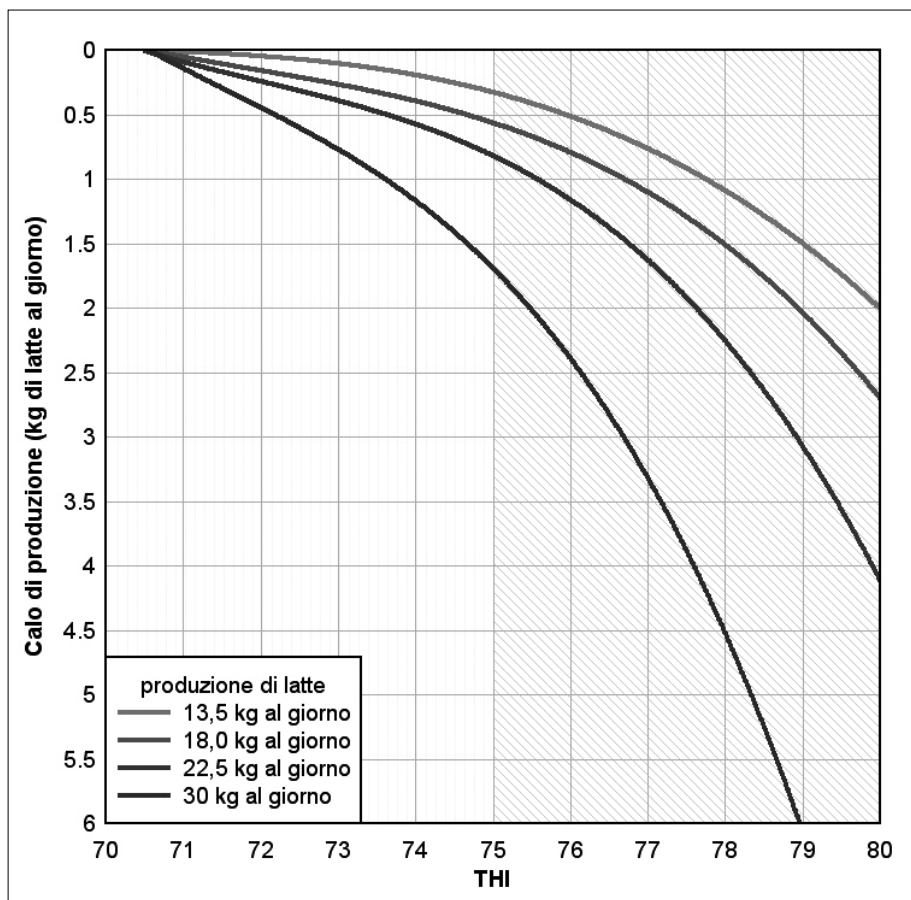


Fig. 3 *Calo di produzione delle bovine in relazione ai valori di THI (elaborato da ASABE, 2006)*

la risposta delle bovine alle condizioni ambientali è riportata da Kadzere et al. (2002), in cui vengono evidenziate anche le motivazioni per cui l'elevata produzione di latte comporta un incremento del calore metabolico. L'analisi riportata evidenzia che dagli anni '40 ad oggi la produzione di latte è aumentata enormemente, ma parimenti è aumentato anche il calore prodotto nella sintesi del latte rendendo gli animali più sensibili allo stress da caldo.

Per quanto riguarda la risposta degli animali alle condizioni climatiche, Nienaber e Hahn (2007) hanno sottolineato come l'effetto sia accentuato dalla durata del periodo caldo e dalla permanenza durante la notte delle condizioni di stress. Il lavoro analizza le ondate di caldo in alcune località sulla

base di dati meteorologici classificati sulla base del numero di ore in cui il THI supera un valore soglia.

L'effetto dello stress da caldo sulla produzione nelle bovine da latte è stato affrontato da diversi autori. Una rassegna esauriente dei lavori svolti su questa tematica (West, 2003) mette in evidenza come la maggior parte delle sperimentazioni utilizzi il THI come indicatore delle condizioni ambientali anche se alcuni autori hanno utilizzato la temperatura dell'aria o indici che considerassero oltre a temperatura e umidità anche la velocità dell'aria.

La relazione tra l'aumento del THI e la diminuzione di produzione è riportata anche in uno standard ASABE relativo alla progettazione dei sistemi di ventilazione per bovini da latte. In questa norma viene indicata la seguente relazione (ASABE, 2006), rappresentata graficamente in figura 3:

$$\text{MPD} = 1.08 - 1.736 * \text{NL} + 0.02474 * \text{NL} * \text{THI}$$

*Dove:*

MPD = diminuzione di produzione

NL = normale livello produttivo

THI = Valore medio giornaliero del THI

Tra gli effetti dell'incremento della temperatura vengono segnalati anche modifiche comportamentali quali la tendenza a rimanere in piedi quando la temperatura aumenta e, di conseguenza aumenta la temperatura corporea (Hillman et al., 2005). Viene anche ipotizzato che l'incremento di temperatura corporea possa essere lo stimolo fisiologico per alzarsi per ridurre la temperatura.

Alcune esperienze come quella di Overton et al. (2002) hanno messo in evidenza tale correlazione rilevando il comportamento degli animali per mezzo di riprese video temporizzate e la definizione di indici di comportamento. Questo studio indica alcuni elementi utili alla definizione delle modalità di acquisizione dati abbinando l'analisi della videoregistrazione a intervalli di tempo orari con il rilievo di parametri climatici continui e gestionali, quali l'avvicinamento dell'alimento e la mungitura, ovviamente discontinui. I risultati del lavoro mettono in luce l'importanza di un monitoraggio durante l'arco della giornata per rilevare in modo non invasivo il tempo speso dagli animali nelle diverse attività.

Queste informazioni possono fornire un utile indicatore di una delle componenti che definiscono il benessere degli animali costituita dal tempo trascorso dagli animali in posizione di riposo nelle cuccette, che deve rispondere all'esigenza degli animali che, pur con elevata variabilità individuale, si attesta intorno alle 12 ore al giorno (EFSA, 2009).

L'ulteriore elemento legato all'attività giornaliera evidenziato dallo studio EFSA riguarda il tempo di permanenza degli animali in piedi non attivi, cioè senza svolgere altre funzioni come alimentarsi, bere, spostarsi, che dovrebbe essere il più limitato possibile.

Sulla base di queste considerazioni e con lo scopo di ottenere alcune indicazioni operative per la progettazione delle stalle per bovine da latte, è stata svolta un'esperienza di monitoraggio di alcune stalle lombarde.

#### SPERIMENTAZIONE EFFETTUATA

La ricerca ha preso in esame 33 edifici zootecnici di bovine da latte, nei quali sono stati effettuati rilievi sul comportamento degli animali in produzione e sulle condizioni microclimatiche all'interno dell'allevamento. Tutte le strutture prese in esame sono relative a stalle a stabulazione libera e zona di riposo a cuccette senza paddock esterno.

In ciascuna struttura sono stati effettuati tre rilievi, ognuno della durata di sette giorni consecutivi in tre differenti periodi climatici dell'anno (invernale, primaverile ed estivo).

Ogni rilievo in ciascuna stalla oggetto del progetto prevedeva il *monitoraggio in continuo di*:

- *Temperatura, umidità e illuminamento* in differenti zone della stalla con due data logger con intervallo di registrazione di 15 minuti. I data logger utilizzati hanno permesso di rilevare temperatura (°C), umidità (% UR) e illuminamento (lux). Ne sono stati posizionati due per ogni struttura di cui uno collegato a un globotermometro, così da permettere anche il monitoraggio della temperatura radiante (parametro che considera l'irraggiamento termico all'interno della stalla). I data logger sono stati posizionati nella zona di stabulazione a un'altezza di circa 2 metri in modo da non essere raggiunti dagli animali e sufficientemente lontani dagli elementi strutturali.
- *Temperatura e Umidità* in prossimità degli animali con un data logger con intervallo di registrazione di 15 minuti. Il data logger utilizzato rileva i parametri di Umidità (% UR) e Temperatura (°C).
- *Comportamento delle bovine* rilevato in ogni struttura. Sono state installate due fotocamere digitali opportunamente modificate per le esigenze del progetto e collegate a un circuito elettronico, che ha permesso lo scatto di fotografie ogni 30 minuti (fig. 4). Le due fotocamere sono state installate in modo da inquadrare la zona di stabulazione da due punti opposti della struttura e consentire che l'unione delle loro foto scattate nel medesimo

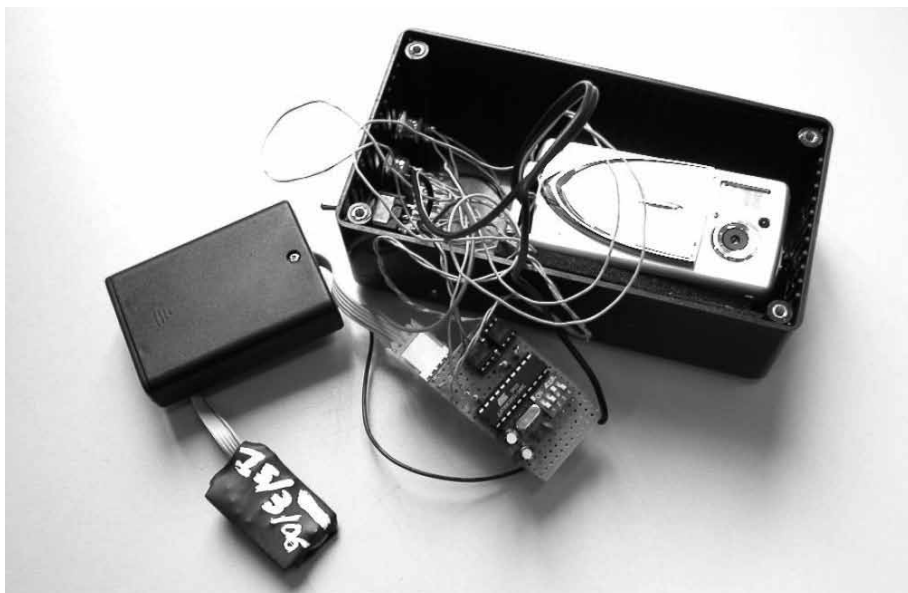


Fig. 4 Fotocamera modificata per le esigenze del progetto: il circuito collegato permette lo scatto di una fotografia ogni 30 minuti

istante fornisce il quadro complessivo della stalla.

In ogni struttura, e per ciascun rilievo, sono state effettuate misurazioni per raccogliere ulteriori informazioni relative alla *velocità dell'aria* e alla *concentrazione di ammoniaca*; entrambi sono stati effettuati in tre diversi momenti nel corso dei sette giorni di ciascun rilievo.

Per ogni struttura sono stati effettuati anche dei rilievi dimensionali, riguardanti le dimensioni delle cuccette, dei passaggi, dei corridoi delle zone e delle corsie di foraggiamento e altri elementi costruttivi (a esempio la pendenza falde e i materiali degli elementi strutturali) e gestionali (come gli orari mungitura e la modalità di gestione delle cuccette).

### *Analisi dei dati*

I rilievi così effettuati hanno permesso di raccogliere informazioni sulle condizioni ambientali interne alla struttura e sul comportamento delle bovine. I dati sono stati catalogati per ogni struttura e per ogni periodo e a ogni struttura è stato assegnato un codice formato dalla sigla della provincia, seguito da un numero progressivo per provincia.



Al fine di poter confrontare i dati delle condizioni ambientali raccolti all'interno di ogni struttura monitorata con i dati esterni sono state individuate le centraline meteorologiche appartenenti alla rete ufficiale, gestita da ARPA Lombardia, più vicine alle aziende aderenti al progetto e sono stati utilizzati i dati, relativi ai periodi di rilievo di 26 stazioni meteorologiche, presenti nelle differenti zone interessate dalla ricerca. I dati relativi al comportamento degli animali sono stati ricavati dall'analisi delle fotografie scattate, a intervalli di 30 minuti, dalle fotocamere installate durante i rilievi in azienda. Attraverso un software appositamente creato, sono state affiancate le fotografie scattate nello stesso orario dalle due fotocamere installate nella stalla, ottenendo così la visione completa della struttura.

Tutte le coppie di immagini così ottenute sono state analizzate determinando la percentuale di animali presenti in ognuna delle due parti della stalla e l'attività delle bovine. Il comportamento è stato analizzato suddividendo gli animali presenti in stalla in tre gruppi, espressi in percentuale: animali in riposo in cuccetta, animali in mangiatoia e animali in piedi.

Per l'analisi dei dati relativi al comportamento sono stati utilizzati alcuni indici che vengono usati comunemente anche in letteratura:

$$\text{Cow Comfort Index (CCI)} = \frac{\text{capi in cuccetta}}{\text{totale dei capi}}$$

Rappresenta l'indice di comfort degli animali ed è legato al numero degli animali presenti in cuccetta nella stalla rispetto al numero totale dei capi della stalla.

Analogamente viene definito un indice per gli animali in piedi:

$$\text{Cow stress Index (CSI)} = \frac{\text{capi in piedi}}{\text{totale dei capi}}$$

L'ECCI rappresenta l'indice di comfort degli animali ed è legato al numero di animali in cuccetta rispetto al numero degli animali in piedi (totale bovine in stalla – capi in mangiatoia):

$$\text{Eligible Cow Comfort Index (ECCI)} = \frac{\text{capi in cuccetta}}{\text{totale dei capi} - \text{capi in mangiatoia}}$$

È stato definito anche un *Indice di affollamento*, che mostra se le bovi-

ne tendono a concentrarsi in una zona della stalla. L'indice di affollamento esprime il rapporto percentuale tra il numero di animali presenti nella zona più affollata della stalla rispetto al numero di bovine previste nel caso di una distribuzione omogenea.

Successivamente sono stati calcolati i valori medi orari sia dei parametri microclimatici, sia degli indici comportamentali e sono state effettuate elaborazioni per mettere in relazione queste due informazioni.

### *Confronto fra le strutture*

La figura 5 riporta i risultati delle elaborazioni relative agli indici comportamentali per le strutture esaminate in cui ogni struttura esaminata è stata indicata da una sigla composta dalla provincia e da un numero progressivo. Le percentuali di bovine mediamente in cuccetta variano da un minimo di 28% (struttura MI01) a un massimo di 68% (struttura BG03). Nel 70% delle strutture le bovine mediamente in cuccetta non arrivano al 50%, dato preoccupante soprattutto se messo in relazione con la percentuale di animali mediamente in piedi (CSI). A esempio le strutture LO03, PV01, MN04, BG08, LO02 e CO01 oltre a essere quelle con le più basse percentuali di bovine in cuccetta, presentano anche un'elevata percentuale di animali che sostano in piedi raggiungendo in alcuni casi valori superiori al 30%. Questi risultati sono confermati dall'analisi dell'indice ECCI (Eligible Cow Comfort Index): solo il 30% delle strutture esaminate ha più del 70% delle bovine in riposo quando non impegnate in altre attività, mentre il 15% dei casi ha evidenziato un utilizzo molto limitato delle cuccette con oltre il 40% dei capi inattivi in piedi. È interessante osservare che le strutture con le più alte percentuali di bovine in piedi sono due aziende che hanno installato impianti di mungitura robotizzati. Ciò suggerisce che l'inserimento di nuove tecnologie deve essere supportato da un progetto adeguato degli spazi delle diverse zone funzionali della stalla.

Le strutture BG03 e BG06 hanno fatto riscontrare le prestazioni migliori. Infatti, si attestano ai primi posti per bovine in cuccetta con valori medi vicini al 70% e sono le strutture con il minor numero di bovine in piedi (valori medi intorno al 15-18%) e l'indice ECCI è superiore all'80%. È da sottolineare come queste due strutture non siano di recente realizzazione: la prima è una stalla in cui la zona di riposo è stata ricavata dal paddock preesistente; la seconda è il riadattamento di una vecchia stalla a stabulazione fissa. Questo conferma come si possano realizzare interventi appropriati di recupero dei fabbricati presenti in azienda purché di applichino criteri di progettazione adeguati per quanto riguarda sia la ventilazione, sia le attrezzature.

Una indicazione interessante emerge dall'analisi della distribuzione de-

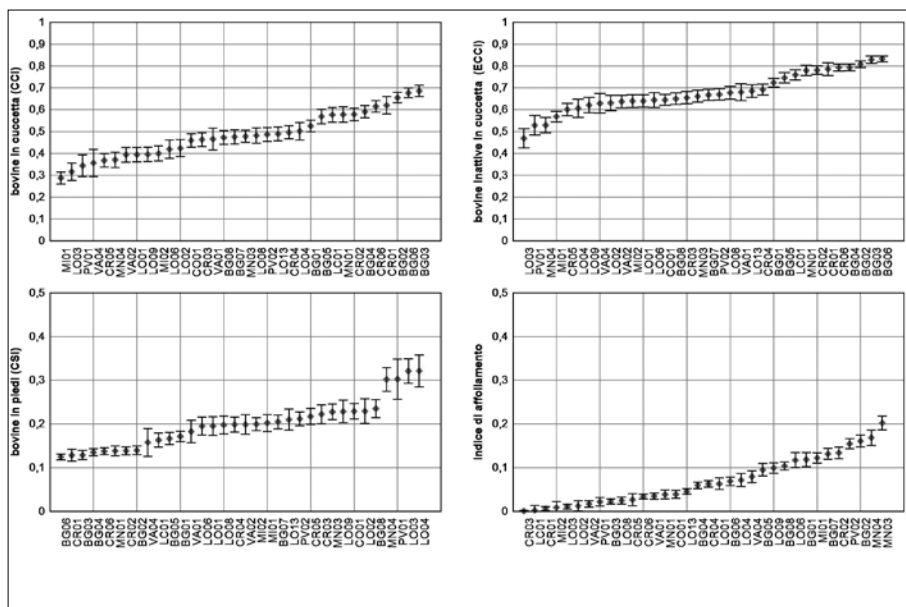


Fig. 5 Indici comportamentali medi per le strutture indagate identificate con sigle. Le barre verticali indicano la variabilità espressa come due volte l'errore standard della media

gli animali all'interno della stalla: i risultati relativi all'indice di affollamento documentano che la distribuzione disomogenea dei capi interessa in modo significativo circa un terzo delle strutture esaminate.

### *Comportamento in funzione del THI*

I risultati relativi all'andamento degli indici di comportamento in funzione del THI confermano quanto descritto in letteratura. Infatti, osservando la figura 6, si nota come all'aumentare del THI diminuisca la percentuale di bovine in cuccetta e di conseguenza anche il CCI (Cow Comfort Index) e l'ECCI (Cow Comfort Eligible Index).

È interessante osservare che le variazioni di comportamento si verificano anche a valori di THI non considerati critici in letteratura (Mader et al., 2004; Brown-Brandl et al., 2005): per le bovine da latte, infatti, la soglia delle condizioni di stress da caldo è identificata con THI superiori a 74, anche se Armstrong (1994) riporta una soglia di 72, ma nella sperimentazione si è messo in evidenza che il comportamento si modifica già a partire da valori di THI superiori a 60. La correlazione tra THI e comportamento animale è

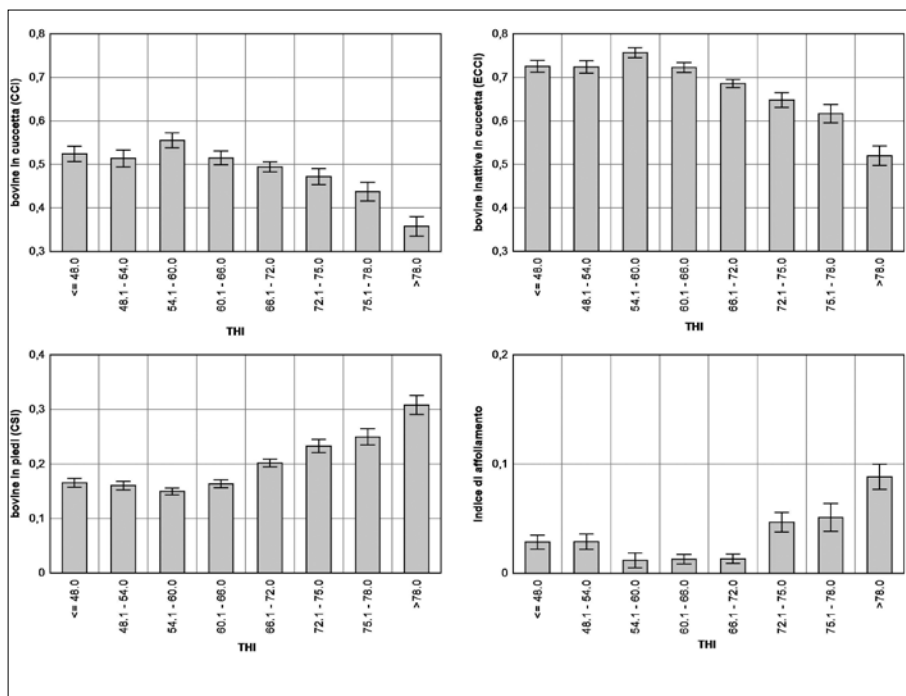


Fig. 6 Medie per tutte le strutture indagate degli indici comportamentali in relazione al THI. Le barre verticali indicano la variabilità espressa come due volte l'errore standard della media

confermata anche dall'andamento della percentuale di bovine in piedi che evidenzia un incremento significativo dei valori di questo parametro quando il THI supera il valore di 66. Per valori superiori a 78 la percentuale di bovine in piedi risulta mediamente raddoppiata rispetto ai periodi freschi.

Esaminando l'indice di affollamento si evidenzia come al crescere del THI aumenti anche la tendenza delle bovine a concentrarsi in alcune zone con le conseguenti possibili condizioni di stress e predisposizione alle patologie.

Il comportamento delle bovine è risultato quindi fortemente correlato con il THI. In realtà, i dati medi esposti celano una situazione molto diversificata: infatti alcune strutture non mostrano variazioni significative di comportamento degli animali al variare del THI, mentre altre evidenziano forti variazioni di questo parametro.

I risultati ottenuti hanno confermato che la risposta comportamentale delle bovine si differenzia a seconda delle condizioni all'interno della struttura ed è perciò necessario valutare le possibili condizioni di stress caso per caso.

*Considerazioni sui risultati ottenuti*

I rilievi effettuati hanno permesso di evidenziare come il comportamento degli animali sia significativamente diverso nei differenti periodi dell'anno e come sia influenzato da diversi fattori:

- dimensionamento delle attrezzature zootecniche (cucette, larghezza corridoi e passaggi, sala attesa);
- management aziendale;
- layout aziendale;
- condizioni microclimatiche.

Come si riscontra in letteratura, si è osservato che il comportamento delle bovine è fortemente correlato con il THI; all'aumentare di questo infatti diminuisce il comfort nell'allevamento e, di conseguenza aumentano i capi in piedi. In realtà, i dati medi esposti celano una situazione molto diversificata: infatti alcune strutture non mostrano variazioni significative di comportamento degli animali al variare del THI, mentre altre evidenziano forti cambiamenti al variare di questo parametro.

## INDICAZIONI PER REALIZZAZIONE DI STALLE PER BOVINI DA LATTE

*Orientamento ed esposizione*

L'orientamento riveste un ruolo importante nel determinare le condizioni ambientali all'interno delle stalle. Orientamento, esposizione, forma dell'edificio e scelta dei materiali influenzano l'illuminazione e la temperatura all'interno della struttura. L'orientamento migliore per le stalle di bovine da latte è est-ovest, questa collocazione infatti permette di favorire la ventilazione naturale dell'edificio che si instaura grazie alla differenza di temperatura delle due pareti lunghe. In questo modo, infatti, la parete a nord rimane sempre meno esposta all'insolazione rispetto a quella orientata a sud. In questo caso è però necessario garantire che gli animali siano protetti dall'insolazione diretta nel periodo estivo, effetto che può essere facilmente ottenuto con sporti di gronda. Inoltre, è consigliato utilizzare il lato sud della stalla per gli animali meno produttivi e, quindi, meno sensibili allo stress da caldo. A parità di orientamento è importante esaminare l'esposizione della falda che, in alcuni casi, può comportare differenze di temperatura considerevoli ( $>3^{\circ}\text{C}$ ) per falde inclinate in modo contrapposto.

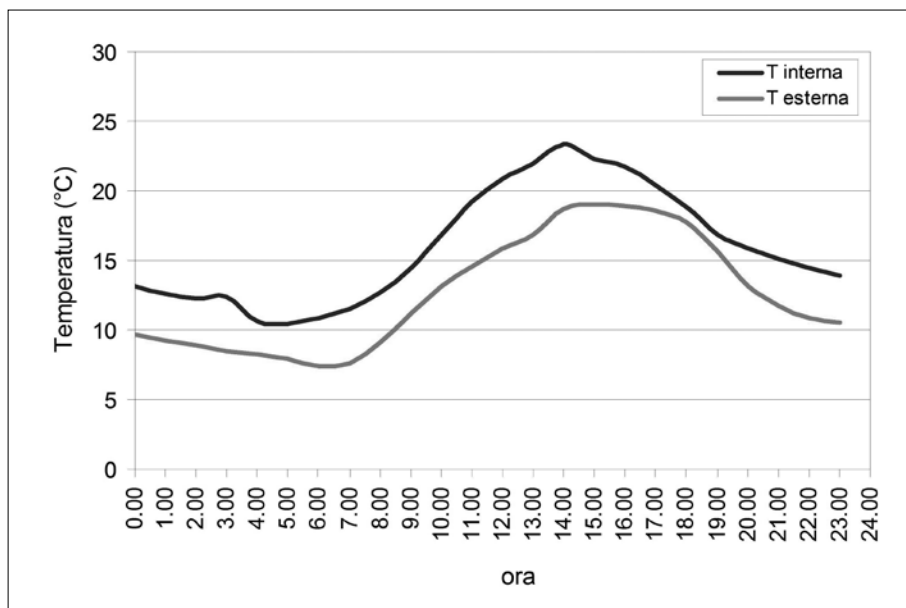


Fig. 7 Andamento della temperatura interna ed esterna registrata in una struttura bassa con copertura non coibentata espressa come media oraria per periodo



Fig. 8 Struttura bassa con coperture non coibentate



Fig. 9 *Struttura bassa con copertura coibentata*

### *Coibentazione*

La coibentazione delle coperture riduce il trasferimento di calore attraverso il manto di copertura, mantenendo una condizione termica più favorevole sia nel periodo invernale, sia in quello estivo.

In periodi estivi, una copertura non coibentata e con altezza ridotta causa un aumento della temperatura all'interno della struttura.

Un chiaro esempio è riportato nella figura 7, dove vengono messe a confronto le temperature esterne e quelle interne registrate nella struttura in figura 8 (struttura bassa e non coibentata) espresse come media orarie del periodo di rilievo.

Si osserva come la temperatura interna sia sensibilmente superiore a quella esterna; per questo motivo una copertura ben coibentata è assolutamente necessaria in strutture con altezze al colmo ridotte (inferiore a 5 metri).

In figura 9 si osserva un esempio di struttura bassa, con copertura coibentata che, anche grazie a un buon orientamento (est-ovest), corretta espo-

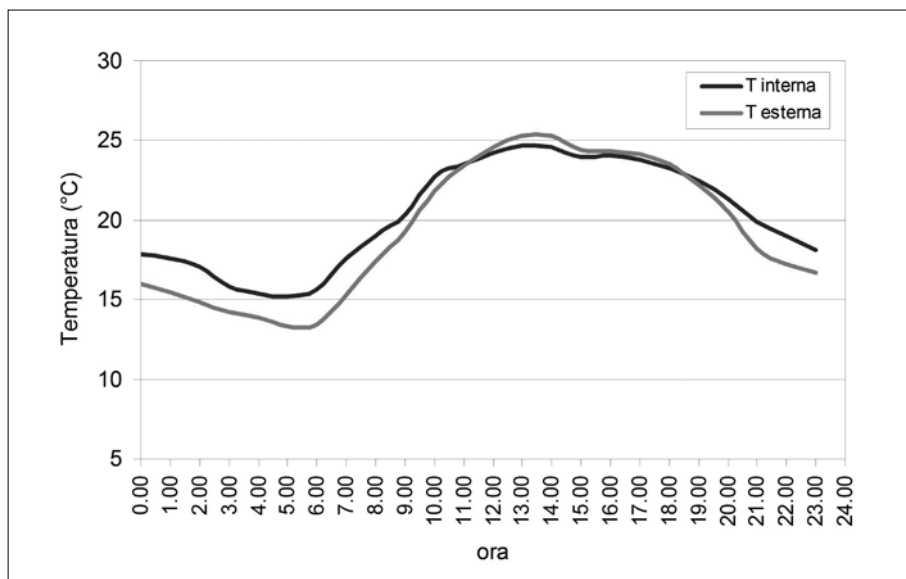


Fig. 10 *Andamento della temperatura interna ed esterna registrata in una struttura bassa con copertura coibentata espressa come media oraria per periodo*

sizione e ombreggiamento, riesce a mantenere buone condizioni ambientali interne (fig. 10).

Strutture alte e con buona pendenza delle falde non risentono della coibentazione, in quanto già questi due accorgimenti garantiscono una buona circolazione dell'aria che riduce la temperatura all'interno della stalla e la distanza della copertura dagli animali riduce l'effetto dell'irraggiamento del lato interno del manto di copertura.

Il beneficio ottenibile dalla coibentazione di una struttura alta, con buona pendenza delle falde e una efficace ventilazione naturale, non giustifica, in generale, l'investimento.

Molto importante per il mantenimento di buone condizioni ambientali è l'inerzia termica della struttura. Infatti, una struttura dotata di buona inerzia termica consente di mitigare le variazioni di temperatura esterna senza ricorrere alla ventilazione meccanica (fig. 11).

### *Ventilazione naturale della struttura*

La ventilazione naturale dell'edificio è di fondamentale importanza per il controllo delle condizioni ambientali all'interno della stalla. Per questo motivo è un elemen-





Fig. 11 *Esempio di struttura “pesante” chiusa*

to che va considerato attentamente nella progettazione delle strutture zootecniche. La ventilazione si ottiene per circolazione dell'aria che entra dalle aperture laterali e fuoriesce dal colmo del tetto con movimenti verticali. Questo fenomeno è detto *effetto camino* e risulta tanto più efficace quanto è maggiore la differenza di temperatura tra esterno e interno e quanto è maggiore la differenza di quota tra aperture laterali (*zona di ingresso dell'aria*) e apertura al colmo (*zona di uscita dell'aria*).

La differente altezza e la diversa inclinazione del tetto, come già detto, hanno molta influenza sulla ventilazione naturale delle strutture.

Anche il vento ha notevole importanza nella ventilazione naturale sia per l'azione diretta (aria che penetra nel fabbricato) sia per l'azione indiretta, cioè l'aspirazione dell'aria all'esterno per la depressione creata in prossimità delle finestrature di colmo. L'effetto vento è però un fattore molto variabile sia in termini di velocità che di direzione e può avere, a seconda dei casi, effetto sia sinergico, sia contrario alla ventilazione naturale. Per questo motivo è opportuno prevedere sistemi di protezione dal vento per le aperture al colmo in modo da impedire ai venti dominanti di contrastare la ventilazione per effetto camino. In caso di stalle aperte ed esposte ai venti dominanti è consigliabile prevedere sistemi di frangivento naturali o artificiali.



Fig. 12 *Struttura con elevata pendenza delle falde e apertura al colmo coperta da cupolino*

### *Altezza della stalla e pendenza del tetto*

Si è già ricordato che solo un notevole dislivello tra l'altezza di ingresso e di uscita dell'aria è in grado di assicurare un buon funzionamento dell'effetto camino e quindi una sufficiente ventilazione anche nei periodi critici. Per questo è utile la realizzazione del tetto con una sensibile pendenza, almeno del 25-30%; pendenze molto elevate (40-50%), oltre a porre problemi costruttivi, non sempre garantiscono buoni risultati in quanto possono causare una fuoriuscita troppo veloce dell'aria che non riesce a miscelarsi con l'aria interna.

Per garantire una superficie delle aperture laterali sufficiente a una buona ventilazione naturale l'altezza della copertura in gronda deve essere di almeno 3 metri. È consigliabile però che non superi i 4,50 metri sia per limitare l'irraggiamento solare all'interno della stalla che avrebbe effetti negativi sul livello termico dell'ambiente e limiterebbe l'utilizzo delle zone colpite dal sole da parte delle bovine, sia perché elevate altezze in gronda sono in contrasto con l'esigenza di elevate pendenze delle falde.

Le pareti dovrebbero essere totalmente aperte o studiate in modo da poterle rimuovere totalmente nei periodi estivi e parzialmente nei periodi invernali. Questo è un aspetto importante perché le strutture completamente

chiuse o con aperture insufficienti non garantiscono la necessaria ventilazione e hanno condizioni ambientali sfavorevoli sia in estate che in inverno.

Nelle stalle a due falde la soluzione costruttiva migliore è di prevedere una fessura di colmo lungo tutta la lunghezza dell'edificio (fig. 12); per il dimensionamento dell'apertura va considerata una larghezza di almeno 5 cm per ogni 3 m di larghezza dell'edificio (CIGR, 2004).

### *Presenza di ostacoli e larghezza dell'edificio*

La ventilazione naturale è influenzata, soprattutto nel periodo estivo, anche dalla presenza di edifici posti nelle vicinanze della struttura che possono influire sulla portata dell'aria. Ostacoli rilevanti come possono essere a esempio strutture contigue, causano un effetto frangivento che comporta una diminuzione della velocità dell'aria in ingresso alla stalla, riducendo la portata d'aria sia per effetto camino, sia per l'eventuale effetto vento. La distanza a cui porre due edifici per evitare l'effetto frangivento può essere calcolata considerando che l'influenza di un edificio si ripercuote per una distanza pari a 7-10 volte la sua altezza.

Anche la larghezza dell'edificio può costituire, per le stesse ragioni, una limitazione a un'efficace ventilazione naturale.

## VENTILAZIONE ARTIFICIALE E RAFFRESCAMENTO

Il controllo delle alte temperature all'interno della struttura nel periodo estivo dovrebbe essere ottenuto soprattutto con una protezione passiva (coibentazione della struttura, orientamento, ventilazione naturale, ombreggiamento), poiché i metodi attivi hanno costi piuttosto alti di mantenimento.

Le tecniche di difesa dal caldo di tipo attivo sono:

- aumento della velocità dell'aria;
- raffrescamento evaporativo;
- irrorazione degli animali con acqua.

### *Aumento della velocità dell'aria*

L'aumento della velocità dell'aria è il metodo di difesa dal caldo maggiormente utilizzato nei ricoveri zootecnici della pianura lombarda. Consiste nell'installazione di ventilatori all'interno della stalla, che vengono messi in funzione nelle ore



Fig. 13 *Ugelli nebulizzatori installati in corrispondenza del ventilatore*

più calde della giornata, aumentando la velocità dell'aria fino a  $4\div 5$  m/s. Questo aiuta gli animali a smaltire il calore corporeo dando loro una sensazione di benessere. Questo sistema di raffrescamento è indicato per strutture sia chiuse sia aperte e in condizioni climatiche caratterizzate da alta temperatura e assenza di vento.

La posizione dei ventilatori deve coincidere con le zone che si vogliono far utilizzare maggiormente alle bovine: è quindi consigliabile l'installazione in zona di foraggiamento e in quella di riposo.

Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione è un aspetto molto spesso sottovalutato: non di rado infatti si trovano stalle con sistema di raffrescamento sottodimensionato o male installato e per questo poco efficace nel migliorare le condizioni ambientali pur con notevoli oneri per l'allevatore.

### *Raffrescamento evaporativo*

Il raffrescamento evaporativo consiste nella nebulizzazione di acqua ad alta pressione in corrente d'aria, in modo che l'aria fornisca il calore sensibile

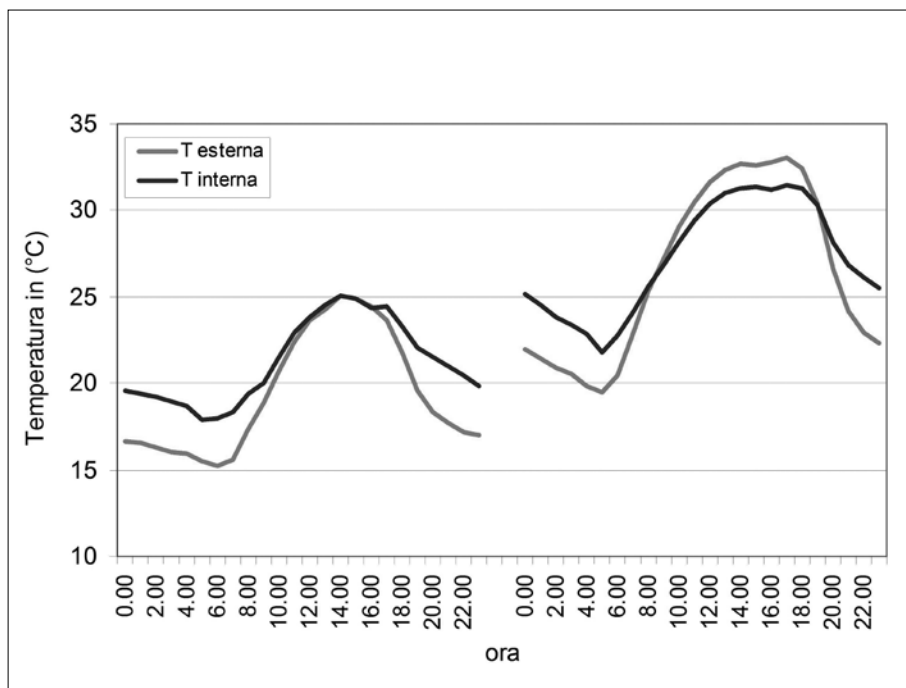


Fig. 14 Confronto dell'andamento della temperatura interna alla struttura con l'impianto di ventilazione spento (sinistra) e in funzione (destra)

necessario a far evaporare l'acqua, riducendo la sua temperatura. La diminuzione della temperatura, quindi l'efficacia del sistema di raffrescamento, è maggiore quanto minore è l'umidità relativa dell'aria.

L'impianto di nebulizzazione prevede l'istallazione di uno o più ugelli in corrispondenza di ogni ventilatore (fig. 13) e di un termostato che fa entrare in funzione l'impianto quando la temperatura interna supera la soglia stabilita; il funzionamento è a cicli, solitamente di 15 minuti con tempi di nebulizzazione intorno a 0.5-1.5 minuti. Le condizioni climatiche nei periodi estivi in pianura padana rendono spesso questo sistema di limitata efficacia, in quanto l'umidità dell'aria è già molto elevata e raggiunge facilmente la saturazione. Ciò comporta anche la elevata presenza di acqua in ampie zone della stalla con possibili conseguenze sotto l'aspetto igienico-sanitario.

Un esempio dell'efficacia di un sistema di raffrescamento ben funzionante è rappresentato in figura 14, in cui sono riportati due andamenti medi orari rilevati nella stessa struttura in due periodi diversi: a sinistra è riportato l'andamento della



Fig. 15 *Struttura con doccette installate in zona di foraggiamento*

temperatura interna alla struttura nel periodo primaverile quando i ventilatori non vengono utilizzati in quanto non sono raggiunte temperature critiche.

A destra è rappresentata invece la situazione estiva in cui il sistema di ventilazione e nebulizzazione consente di mantenere le temperature interne a valori decisamente inferiori a quelle esterne nelle ore calde della giornata.

#### *Irrorazione degli animali con acqua*

L'evaporazione dell'acqua irrorata sugli animali e sulla superficie della zona di alimentazione provoca un abbassamento della temperatura, sia della cute delle bovine, sia della pavimentazione.

Gli ugelli, o doccette, sono disposti a una distanza reciproca di 2-3 metri ed entrano in funzione alla temperatura prestabilita grazie all'installazione di un termostato.

Le doccette vengono installate preferibilmente lungo la zona di alimentazione (fig. 15). Infatti, possono essere montate in zona di riposo



*Fig. 16 Accumulo di acqua sul pavimento della zona di alimentazione dovuto all'utilizzo delle doccette*

solo quando non è presente materiale di lettiera che assorbe acqua e in ogni caso aumentano i rischi di mastopatie a causa dell'irrorazione delle cuccette.

Anche se abbastanza efficace, il raffrescamento a doccette ha alcune controindicazioni:

- aumento della scivolosità del pavimento;
- accumulo di acqua sulla pavimentazione, soprattutto quando il sistema non è ben regolato (fig. 16);
- aumento delle bovine che si sdraiano a terra in zona di foraggiamento in cerca di refrigerio, con conseguente insudiciamento della mammella.

#### VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DELLE STRUTTURE

Dalla sperimentazione effettuata è emerso come in alcune stalle, le bovine manifestano dei cambiamenti nel comportamento con diminuzione dell'utilizzo delle cuccette già a valori di THI superiori a 66 (20-22°C), valore che è sicuramente al di sotto di una ipotesi di stress da caldo. Al di sopra di questo valore di THI, infatti, il valore medio dell'indice ECCI risultato dall'elabora-

zione del comportamento delle bovine in tutte le strutture esaminate, scende sotto al valore del 70% differenziandosi significativamente da quello riscontrato nelle classi di THI inferiori. L'interpretazione di questo fenomeno è sicuramente complessa e deve necessariamente tenere in considerazione una molteplicità di fattori. Tra questi il THI assume sicuramente un ruolo importante dato che le variazioni di comportamento si evidenziano maggiormente all'incremento del THI. Un altro fattore può essere individuato nella limitata efficacia della ventilazione naturale che è stata riscontrata in molte delle strutture, che porta gli animali a una risposta che va dal semplice aumento del periodo trascorso in piedi a una vera e propria concentrazione in alcune zone dell'allevamento anche con valori di THI non considerati tali da poter comportare uno stress da caldo. Quest'ultima condizione è peraltro una delle situazioni più evidenti in cui la struttura e le attrezzature devono consentire di mitigare condizioni ambientali esterne inidonee intervenendo passivamente o attivamente sulle condizioni microclimatiche che si riscontrano all'interno della struttura di stabulazione.

### *Indicatori delle funzionalità microambientale delle strutture*

Dalle considerazioni emerse nel corso della sperimentazione e dalla bibliografia sull'argomento viene evidenziata l'importanza della struttura nel determinare le condizioni microclimatiche idonee a garantire agli animali una condizione di comfort termico.

Al fine di rendere di più immediata applicazione i concetti esposti, si è voluto definire una metodologia di analisi di una struttura dal punto di vista della rispondenza microclimatica, tramite due indici che rispecchiano i due aspetti principali che sono emersi dalla sperimentazione:

- le strutture devono avere un'adeguata ventilazione naturale in modo da garantire buone condizioni microambientali per la maggior parte dell'anno e ridurre la necessità di ventilazione artificiale;
- le strutture, grazie all'inerzia termica degli elementi costruttivi possono mitigare le temperature nei periodi caldi, riducendo la necessità di sistemi attivi di raffrescamento.

I due indici individuati rispecchiano questi due aspetti, tentando di sintetizzare le conoscenze sull'argomento in un metodo che possa essere applicato alle strutture di stabulazione per bovine da latte, sia nella fase di progettazione, prima della realizzazione di una nuova struttura o ristrutturazione di quelle esistenti, sia nella valutazione delle criticità di una stalla esistente.



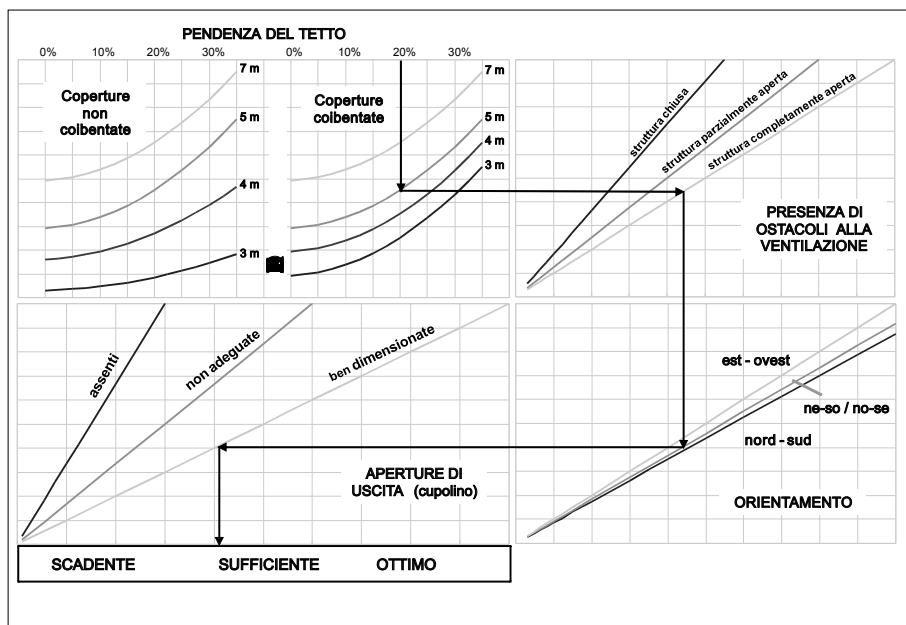


Fig. 17 Nomogramma per il calcolo dell'indice di funzionalità della ventilazione naturale (IFV)

Al termine del percorso di valutazione, i due indici consentono di fornire un giudizio sintetico che sicuramente non può e non deve essere esaustivo o vincolante, ma dovrebbe consentire di evidenziare i punti critici del progetto o della struttura esistente e, pertanto, fornire indicazioni utili per il suo miglioramento.

### *Indice di funzionalità della ventilazione naturale (IFV)*

L'indice di ventilazione naturale tiene conto dei differenti aspetti strutturali che influenzano la ventilazione di una struttura:

- la pendenza delle falde di copertura;
- l'altezza delle coperture;
- la presenza di ostacoli alla ventilazione;
- orientamento della struttura;
- la presenza e il dimensionamento dell'apertura per l'uscita dell'aria (cupolino).

Questi fattori combinati tra loro utilizzando l'abaco in figura 17, consen-

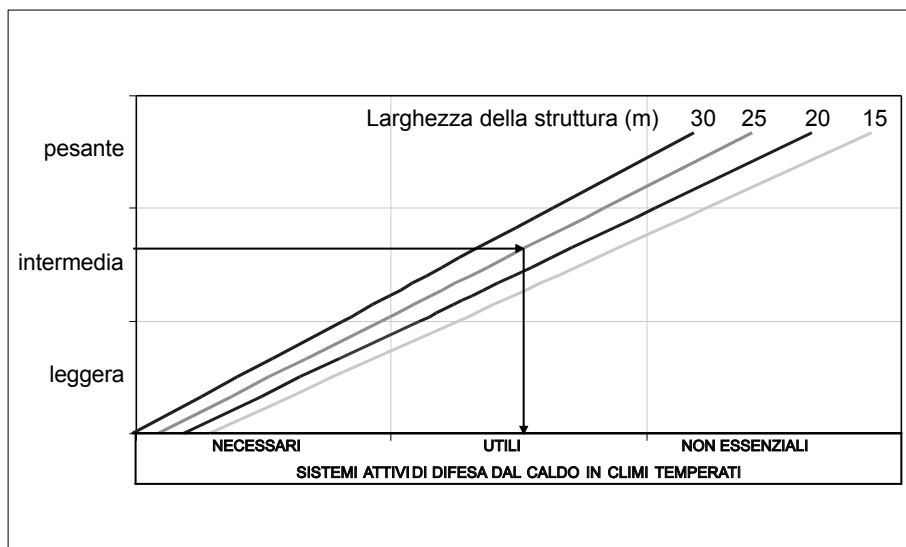


Fig. 18 *Nomogramma per il calcolo dell'indice di funzionalità strutturale (IFS)*

tono di fornire una valutazione qualitativa della rispondenza della struttura ai criteri per assicurare una buona ventilazione naturale.

Si ottiene così un giudizio sulla funzionalità della ventilazione naturale della struttura esaminata.

Ovviamente il giudizio è di tipo qualitativo e deve essere interpretato, in fase sia di progettazione, sia di analisi delle strutture esistenti, tenendo conto del contesto in cui la struttura si colloca.

### *Indice di funzionalità strutturale (IFS)*

L'indice prende in considerazione due aspetti della struttura:

- le caratteristiche degli elementi strutturali che influiscono sull'inerzia termica della struttura;
- la larghezza della struttura.

Combinando queste due caratteristiche, con il nomogramma di figura 18 si ottiene una valutazione qualitativa della struttura.

Al contrario dell'IFV, l'indice di funzionalità strutturale (IFS) non fornisce una valutazione sull'adeguatezza della struttura, ma dà un'indicazione sulla capacità dell'edificio di smorzare la variazione di temperatura esterna e di ritardarne gli effetti all'interno dell'edificio. L'indice fornisce una guida

per la progettazione dell'eventuale sistema attivo di difesa dal caldo.

I valori di inerzia della struttura vengono attribuiti classificandoli secondo una scala che va dalla struttura leggera a quella molto pesante, in una progressione che può essere esemplificata come segue:

pesante ↓	struttura di mattoni pieni e muri di mattoni pieni tetto di calcestruzzo in opera e pareti di mattoni pieni
intermedia ↓	tetto di calcestruzzo in opera e tamponamenti in blocchi tetto di calcestruzzo prefabbricato con tamponamenti laterali
leggera	tetto di calcestruzzo prefabbricato senza tamponamenti laterali tetto leggero con tamponamenti laterali tetto leggero senza tamponamenti laterali

È da sottolineare che per struttura leggera si intende una struttura che ha una limitata massa per unità di superficie esposta. Tale valutazione non è influenzata dalla presenza di materiali di isolamento termico, che generalmente hanno una massa limitata e influenzano poco l'inerzia termica.

La larghezza della stalla viene misurata come distanza tra le due pareti laterali dell'edificio se presenti, o dalla larghezza della zona utile della struttura, senza considerare gli sporti di gronda.

L'indicazione che si ottiene dalla correlazione delle due caratteristiche può essere riassunta come segue.

Sistema di difesa dal caldo di tipo attivo:

- *non essenziale*. Se è presente un buon sistema di ventilazione naturale può non essere necessario utilizzare sistemi di ventilazione artificiale e raffreddamento, se si accettano livelli moderati di stress da caldo per gli animali nel periodo estivo in zone a clima temperato;
- *utile*. È comunque opportuno prevedere l'introduzione di un sistema di raffreddamento o di ventilazione artificiale;
- *necessario*. Al fine di limitare lo stress da caldo nel periodo estivo è necessario prevedere un sistema di raffreddamento.

È evidente che un sistema di raffreddamento risulta comunque indispensabile se si ritiene necessario far scendere le temperature interne alla stalla al di sotto delle temperature medie giornaliere.

### *Valutazione della funzionalità dell'allevamento*

La sperimentazione effettuata ha permesso di rilevare il comportamento delle bovine in diverse strutture e in differenti condizioni microambientali. La valutazione della funzionalità della struttura dal punto di vista microclimatico

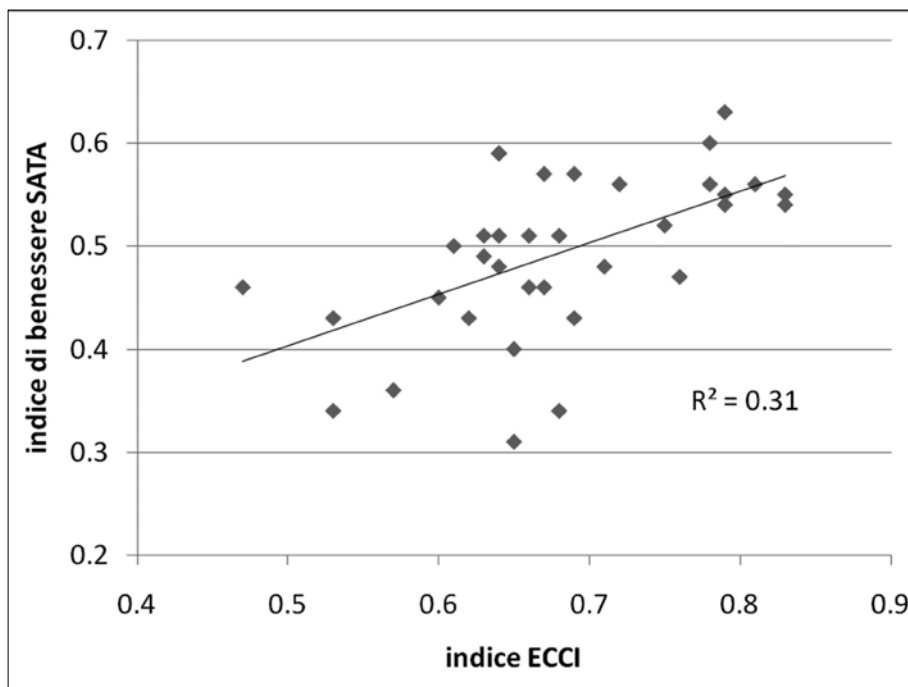


Fig. 19 *Regressione lineare tra l'indice IBS e il comportamento delle bovine (indice ECCI) nelle strutture esaminate*

è solo uno degli elementi che influenzano il comportamento degli animali, che può essere preso come un indicatore della funzionalità della stalla come sintesi degli aspetti strutturali, gestionali e manageriali.

A questo proposito, la pluriennale esperienza del Servizio di Assistenza Tecnica agli Allevamenti della Regione Lombardia (SATA) ha portato alla definizione di una modalità di valutazione della funzionalità dell'allevamento in relazione al benessere degli animali che ha dimostrato una buona correlazione con le performances degli allevamenti.

Per questo motivo, si è voluto applicare questo indice alle strutture esaminate per valutare se potesse esprimere una buona correlazione anche con il comportamento degli animali rilevato nel corso della sperimentazione.

L'*Indice di Benessere Funzionale SATA* (IBS) (Campiotti, 2003) è un indicatore dell'aspetto funzionale (struttura e gestione) della stalla. Le caratteristiche prese in considerazione per il calcolo dell'IBS di una struttura sono:

- cuccette;
- presenza di impianto di raffrescamento;

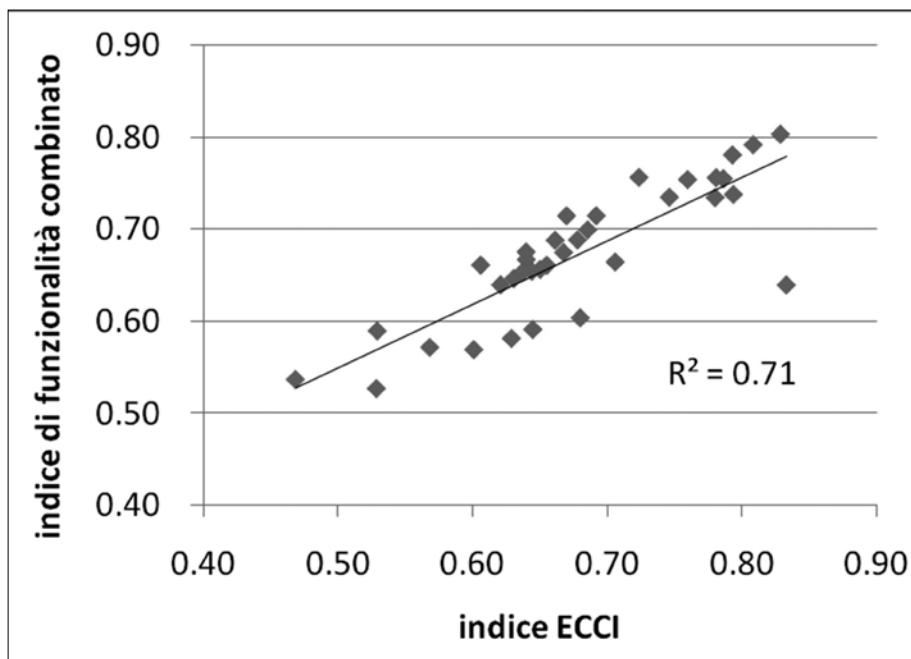


Fig. 20 *Regressione lineare multipla ottenuta utilizzando come variabili indipendenti IBS, IFV e IFS in relazione al comportamento delle bovine espresso come ECCI nelle strutture oggetto della ricerca*

- abbeveratoi presenti in relazione al numero di capi;
- dimensionamento sala di attesa;
- affollamento (posti disponibili in greppia e in cuccetta);
- altezza e pendenza delle falde del tetto;
- tipologia pavimentazione della stalla.

Calcolando l'IBS per le aziende oggetto del progetto e mettendolo in relazione con l'indice ECCI si è osservato che l'indice di benessere, pur essendo parzialmente correlato al comportamento delle bovine, consente di spiegare solo una quota modesta della variazione di comportamento (fig. 19) e la regressione risultante non risulta statisticamente significativa.

Peraltro, anche gli indici scaturiti da questa ricerca, cioè l'indice di funzionalità della ventilazione (IFV) e strutturale (IFS), presi singolarmente o in combinazione non hanno consentito di ottenere correlazioni migliori di quelle riscontrate per l'IBS.

Si è quindi analizzata la possibilità di combinare tra loro i diversi indici conside-

rati, in modo da valutare congiuntamente i diversi fattori presi in considerazione.

Combinando linearmente i tre indici è stata ottenuta una miglior spiegazione del comportamento degli animali nelle diverse strutture, come è possibile rilevare dalla figura 20 e la correlazione ottenuta è risultata statisticamente significativa.

Questo risultato è la conferma della necessità di prendere in considerazione tutti gli aspetti dell'allevamento. L'IBS consente di valutare in modo attento gli aspetti legati al benessere degli animali mentre l'IFV e l'IFS consentono di fornire indicazioni su alcuni aspetti delle strutture che prescindono dalle attrezzature e dagli aspetti gestionali presi in considerazione dal primo indice. La migliore correlazione ottenuta dalla loro combinazione lineare consente, quindi, da una parte di ribadire la necessità di prendere in attenta considerazione gli aspetti microclimatici e dall'altra di confermare la validità degli indici individuati.

## CONCLUSIONI

La ricerca effettuata prende spunto dall'analisi della situazione attuale delle strutture degli allevamenti di bovini da latte che hanno evidenziato, in molti casi e anche in recenti realizzazioni, carenze progettuali che possono influenzare negativamente il microclima nelle zone di stabulazione e, di conseguenza, le prestazioni degli animali.

La sperimentazione effettuata ha riguardato 34 strutture di stabulazione, concentrandosi sulla tipologia attualmente consigliata nella pianura lombarda, la stabulazione libera con zona di riposo a cuccette. In queste stalle sono stati effettuati rilievi in diverse stagioni dell'anno delle condizioni microclimatiche e del comportamento degli animali. A questo scopo sono state messe a punto una metodologia e una strumentazione appositamente studiate che hanno permesso di seguire il comportamento degli animali nel corso della giornata per periodi settimanali e di correlarlo alle condizioni microclimatiche.

I risultati ottenuti hanno consentito di confermare la significativa influenza delle condizioni all'interno della struttura sul comportamento degli animali e, in particolare, sull'utilizzo delle cuccette, fattore considerato indicativo delle buone condizioni di allevamento e correlato alle prestazioni produttive delle bovine.

La rispondenza dei risultati ottenuti con quanto riportato in bibliografia ha consentito anche di validare la metodologia di rilievo utilizzata che costituisce, quindi, un nuovo modo per valutare operativamente la funzionalità di

un allevamento in modo oggettivo e con strumentazione a basso costo.

L'importanza delle condizioni microclimatiche interne alle strutture di stabulazione e la necessità di prendere in considerazione questi aspetti in fase di progetto ha confermato la necessità di fornire indicazioni chiare e facilmente utilizzabili per la valutazione delle strutture. Sulla base delle numerose esperienze bibliografiche e delle indicazioni scaturite dai risultati della ricerca è stata predisposta una metodologia che, prendendo in considerazione alcune caratteristiche della struttura, consente di fornire una valutazione della funzionalità rispetto alla ventilazione naturale e alla necessità di sistemi di condizionamento attivo dell'aria.

Gli indicatori messi a punto possono essere utilizzati già in fase di progettazione di massima e, quindi, oltre che orientare i progettisti, possono supportare una valutazione anche in fase istruttoria. Inoltre, è possibile utilizzare la metodologia individuata anche in fase di ristrutturazione evidenziando le eventuali carenze dell'intervento.

È indispensabile sottolineare che gli indicatori messi a punto non possono che essere uno degli elementi che intervengono nella funzionalità dell'allevamento e non possono ovviare a carenze su altri aspetti progettuali, quali le attrezzature della zona di stabulazione, o gestionali, come la corretta alimentazione e numerosità dei gruppi presenti.

Tutti gli aspetti che influiscono sulla buona riuscita dell'allevamento devono essere presi in considerazione contemporaneamente, in quanto ognuno di essi può risultare fattore limitante. La combinazione degli indicatori individuati con indici consolidati quale l'*Indice di Benessere SATA* (IBS) conferma pienamente come le risposte comportamentali degli animali siano spiegabili solo in modo multifattoriale.

La ricerca effettuata e la traduzione dei risultati ottenuti in indicazioni tecniche operative risulta quindi un contributo che necessariamente dovrà essere integrato e approfondito verso il miglioramento tecnico degli allevamenti, strada indispensabile per ottenere dei prodotti di qualità e tipicità che consentano di vincere la sfida della sostenibilità tecnica, economica e ambientale che gli allevamenti da latte sono chiamati ad affrontare.

## RIASSUNTO

Le condizioni microclimatiche degli edifici zootecnici influiscono in modo significativo sul benessere e sulla produttività degli animali allevati. Il presente lavoro riporta i risultati di una ricerca svolta con lo scopo di approfondire le conoscenze sulle condizioni microclimatiche nelle stalle da latte in relazione al comportamento delle bovine e alla tipologia

delle strutture. I risultati del monitoraggio hanno consentito di confermare l'elevata influenza delle condizioni microambientali sul comportamento delle bovine. La corrispondenza dei risultati ottenuti con quanto riportato in bibliografia ha consentito di validare la metodologia di rilievo utilizzata che costituisce, quindi, un nuovo modo per valutare operativamente la funzionalità di una struttura di stabulazione in modo oggettivo e con strumentazione a basso costo. Inoltre sono state migliorate le indicazioni progettuali per il benessere degli animali nelle stalle per bovine da latte.

#### ABSTRACT

The environmental conditions of livestock buildings significantly affect animal welfare and productivity. The present paper reports the outcomes of a research aimed to achieve a better knowledge of environmental conditions in dairy farms in relation to cow behaviour and characteristics of the barn. The results obtained have confirmed the strong influence of environmental conditions on cow behaviour. The agreement of the results obtained with literature is an indirect validation of the methodology and the equipment developed. Therefore, the research has improved the possibility of performing a functional evaluation of freestall barns for dairy cows with an unbiased methodology and low-cost equipment. Moreover, design guidelines for the welfare of animals in the stables for dairy cows have been improved.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARMSTRONG D.V. (1994): *Heat stress interaction with shade and cooling*, «Journal of Dairy Science», 77, 7, pp. 2044-2050.
- ASABE (2006): *Design of Ventilation Systems for Poultry and Livestock Shelters*, ASAE EP270.5 FEB03, in *Standards 2006*, 53<sup>rd</sup> Edition, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, pp. 652-670.
- BROWN-BRANDL T. M., EIGENBERG R. A., NIENABER J. A., HAHN G. L. (2005): *Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators*, «Biosystems Engineering», 90, 4, pp. 451-462.
- CAMPIOTTI M. (2003): *Principali parametri di benessere nell'allevamento delle vacche*, «L'Informatore Agrario», 30, 1, pp. 5-14.
- CASATI D., PIERI R. (2006): *Il sistema agro-alimentare della Lombardia, Rapporto 2006*, Franco Angeli, Milano.
- CIGR (2004): *Design Recommendations of Beef Cattle Housing*, Report of the CIGR Section II, Working Group No. 14 "Cattle Housing", 2nd ed., East Lansing, Michigan, USA.
- EFSA-EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2009): *Scientific report on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease*, Report of the Panel on Animal Health and Welfare. Annex to the EFSA Journal, 1143, pp. 1-284.
- HILLMAN P. E., LEE C. N., WILLARD S. T. (2005): *Thermoregulatory Responses Associated with Lying and Standing in Heat-Stressed Dairy Cows*, «Transactions of the ASAE», 48, 2, pp. 795-801.



- ISTAT (2000): *V Censimento generale dell'Agricoltura*, [www.census.istat.it](http://www.census.istat.it).
- KADZERE C. T., MURPHY M. R., SILANIKOVE N., MALTZ, E. (2002): *Heat stress in lactating dairy cows: a review*, «Livestock Production Science», 77, 1, pp. 59-91.
- MADER T. L., DAVIS S., GAUGHAN J. B., BROWN-BRANDL T. M. (2004): *Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index*, in *16th Biometeorology and Aerobiology*, American Meteorological Society, Vancouver, BC, USA.
- MANENTI G., GASTALDO A. (2001): A/9 - *Salvaguardia delle condizioni di benessere delle bovine da latte in stress da caldo: interventi su microclima e alimentazione*, Servizi allo Sviluppo della Regione Sicilia, Ragusa.
- NIENABER J.A., HAHN G.L. (2007): *Livestock production system management responses to thermal challenges*, «International Journal of Biometeorology», 52, pp. 149-157.
- OVERTON M. W., SISCHO W. M., TEMPLE G. D., MOORE D. A. (2002): *Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn*, «Journal of Dairy Science», 85, 9, pp. 2407-2413.
- WEST J. W. (2003): *Effects of heat-stress on production in dairy cattle*, «Journal of Dairy Science», 86, pp. 2131-2144.