

SISTEMI PASSIVI ED IMPIANTI ATTIVI PER IL CONTROLLO AMBIENTALE DEGLI EDIFICI PER L'ALLEVAMENTO NEI PAESI A CLIMA CALDO

GIOVANNI CASCONI (*)

È ormai ampiamente riconosciuto che le condizioni ambientali influiscono in maniera determinante sulla produttività degli allevamenti zootecnici e che, in particolare, in condizioni di clima caldo gli animali tendono a ridurre l'assunzione di cibo con conseguente declino della produzione, riduzione dell'efficienza riproduttiva e maggiore predisposizione alle malattie. Studi condotti sulla progettazione dei fabbricati per l'allevamento nei paesi a clima caldo (Fichera, 1986), hanno evidenziato che nell'area del bacino centrale del Mediterraneo i valori mensili medi delle temperature minime invernali dell'aria garantiscono, in genere, sufficienti livelli di benessere termico per gli animali, mentre i valori mensili medi delle temperature massime estive sono generalmente maggiori delle temperature critiche superiori delle zone di termoneutralità delle diverse specie in allevamento.

In queste aree, pertanto, è necessario ricercare soluzioni costruttive ed impiantistiche che attenuino durante il periodo estivo gli effetti negativi del clima caldo sugli animali. Tali soluzioni, però, come è stato osservato (Pratelli e Barbari, 1985), sono di difficile valutazione economica. Infatti, mentre in condizioni di clima freddo la misura della validità di un impianto può essere data dall'efficienza raggiunta o dal risparmio energetico conseguito, in condizioni di clima caldo, invece, l'efficienza di un sistema di protezione passiva o di un impianto attivo per la riduzione dello stress da caldo negli animali deve essere valutata in termini di maggiore produttività conseguita. Questa, però, in quanto funzione di numerose variabili connesse anche alle interazioni tra l'animale e l'ambiente che lo circonda, è di difficile valutazione.

Questo studio vuole proporre una disamina relativamente completa ed articolata della vasta problematica connessa alla progettazione dei fabbricati zootecnici nei paesi a clima caldo, analizzandone i vari aspetti correlati ai parametri ambientali, alle esigenze degli animali ed alle caratteristiche fisiche, geometriche ed impiantistiche degli edifici.

Interazioni animale-ambiente

Tutti gli animali di interesse zootecnico ap-

Abstract

It is well known thermal environment strongly affects the performances of animals bred in livestock houses. Namely, in hot climates, they eat less, this causing lower milk production and reproductive efficiency and higher susceptibility to diseases.

The present study briefly analyses animal-environment interactions; indices and diagrams set up to relate animal productivity to environmental thermo-hygrometric conditions; physical and functional features of passive systems and active equipments, which may reduce heat stress of animals bred in hot climates.

Namely, the possibility of improving thermal comfort conditions through a careful selection of building designs and materials is taken into account. Different ventilation systems, both natural and mechanical, beside the functions and the dimensions of ventilation air cooling systems, by means of evaporative plants or buried tubes, are then analysed.

Finally, after considering the positive effects of sprinkling systems for direct cooling of the animal body, some techniques for total and partial conditioning of rearing buildings are examined.

Résumé

On sait très bien que le milieu thermique influence les performances des bêtes élevées dans les édifices zootechniques. Notamment, lorsque les climats sont chauds, les animaux mangent moins, d'où une baisse de la production et de l'efficacité reproductive et une prédisposition accrue aux maladies. Après avoir examiné les interactions entre animaux et milieu, outre aux indices et aux diagrammes, mis au point pour corrélérer la productivité des animaux aux conditions thermo-hygrométriques du milieu, cet article analyse les caractéristiques physiques et fonctionnelles des systèmes passifs et des équipements actifs, aptes à réduire le stress thermique des animaux élevés dans des climats chauds.

Notamment, on évalue les possibilités d'améliorer les conditions de bien-être thermique des animaux, à travers le juste choix de la géométrie des édifices et des matériaux de construction. Après avoir examiné les particularités des divers systèmes de ventilation naturelle ou mécanique, on va évaluer les caractéristiques fonctionnelles et dimensionnelles des systèmes de refroidissement de l'air de ventilation, aussi bien par des équipements d'évaporation que par des tuyaux enterrés.

Enfin, après avoir examiné les effets obtenus avec les systèmes à pluie, pour le refroidissement direct du corps des animaux, on analyse des techniques pour le conditionnement total ou partiel des milieux d'élevage.

partengono a specie omeoterme e, pertanto, devono reagire agli stimoli termici provenienti dall'ambiente in modo da mantenere pressochè costante la propria temperatura corporea profonda. L'organismo animale, mediante i processi metabolici di trasformazione dell'energia contenuta negli alimenti ingeriti, produce calore M che deve essere bilanciato dalla variazione di energia interna J, dall'energia perduta sotto forma di lavoro meccanico dovuto alle attività motorie L e dal calore scambiato con l'ambiente attraverso i processi di conduzione G, convezione C, irraggiamento R ed evaporazione E. Tale bilancio energetico può essere espresso in forma algebrica con la relazione:

$$M + J + L + G + C + R + E = 0 \quad (1)$$

dove, assumendo per convenzione positivi i flussi di calore uscenti dal corpo dell'animale, la produzione di calore metabolico M è sempre positiva, mentre tutti gli altri termini possono essere sia positivi che negativi. Affinchè l'organismo animale conservi costante la propria temperatura corporea profonda la variazione di energia interna J deve essere nulla. Il verificarsi di questa condizione è il primo presupposto del benessere termico.

Il diagramma di **figura 1** rappresenta la variazione del calore prodotto da parte di un animale in funzione della temperatura ambiente (Curtis, 1983) con la quale si tiene conto della temperatura, dell'umidità relativa e della velocità dell'aria nonché della temperatura media radiante delle diverse superfici. Il tratto di diagramma compreso tra la temperatura limite inferiore e la temperatura limite superiore, generalmente definito come zona di massimo benessere termico, rappresenta l'intervallo della temperatura ambiente in cui la produzione di calore metabolico è minima e la produttività è massima. Se la temperatura ambiente diminuisce, rimanendo compresa tra la temperatura critica inferiore e la temperatura limite inferiore, l'organismo dell'animale, per mantenere la omeotermia, diminuisce la dispersione di calore riducendo, mediante cambiamenti posturali, l'area della superficie corporea di scambio termico ed abbassando, attraverso l'attivazione dei meccanismi fisiologici di regolazione vasomotoria contro il freddo, la temperatura corporea superficiale. Se la temperatura ambiente scende al di sotto della temperatura critica inferiore, l'organismo dell'animale, per mantenere costante la propria temperatura corpo-

(*) Collaboratore esterno presso l'Istituto di Tipografia e Costruzioni Rurali dell'Università di Catania.

rea profonda, deve ingerire una maggiore quantità di alimenti per incrementare lo sviluppo di calore metabolico riducendo l'aliquota di energia destinata alla produzione. Ulteriori abbassamenti della temperatura ambiente determinano la incapacità di mantenere la omeotermia con il conseguente instaurarsi di condizioni di ipotermia. Viceversa, se la temperatura ambiente aumenta rimanendo compresa tra la temperatura limite superiore e la temperatura critica superiore, l'animale deve ridurre la quantità di calore ceduta all'ambiente e, pertanto, l'organismo reagisce innanzitutto innalzando la temperatura corporea superficiale attraverso i processi di regolazione vasomotoria contro il caldo ed assumendo posizioni che gli consentono di aumentare la superficie di scambio termico. Se la temperatura ambiente supera la temperatura critica superiore, riducendosi le possibilità di dissipare calore sensibile, per mantenere la omeotermia gli animali devono incrementare la quantità di energia ceduta sotto forma di calore latente. Allorché le reazioni fisiologiche non sono più sufficienti a smaltire il calore metabolico prodotto, si ha accumulo di energia nel corpo dell'animale che entra così in ipertermia.

Data l'importanza che le interazioni fra gli animali e l'ambiente hanno sulla produttività dell'allevamento, la conoscenza dei valori delle temperature critiche delle diverse specie è molto importante per la corretta progettazione dei fabbricati zootecnici ai quali, fra l'altro, è affidato il compito di limitare l'influenza negativa del clima sugli animali.

Nella **tabella 1** sono riportate le temperature critiche delle specie comunemente allevate. Dall'osservazione di tale tabella si evince che, in genere, gli animali più giovani hanno zone di termoneutralità più ristrette e temperature critiche superiori più elevate rispetto ai loro simili in età matura. Da notare, inoltre, che per i suini, a causa delle loro limitate possibilità di dissipare energia sotto forma di calore latente, si hanno intervalli di termoneutralità meno ampi rispetto alle specie ruminanti.

Poiché la massima produttività degli animali si ottiene quando la temperatura ambiente è compresa nell'intervallo di termoneutralità, è opportuno progettare edifici zootecnici che consentano di mantenere i parametri ambientali compresi entro i limiti delle zone di termoneutralità definiti per le diverse specie allevate. In pratica, però, soprattutto per limitare i danni provocati dal perdurare di condizioni climatiche che provocano stress termici negli animali allevati, piuttosto che all'intervallo definito dalle temperature critiche, è preferibile fare riferimento all'«intervallo di temperature accettabili» (**tabella 2**) che rappresenta il campo di variazione delle temperature medie giornaliere che determinano perdite di produzione accettabili (Hahn, 1976).

Ovviamente, la sola temperatura ambiente non è sufficiente a rappresentare pienamente le condizioni di benessere poiché, com'è noto, l'ampiezza della zona di termoneutra-

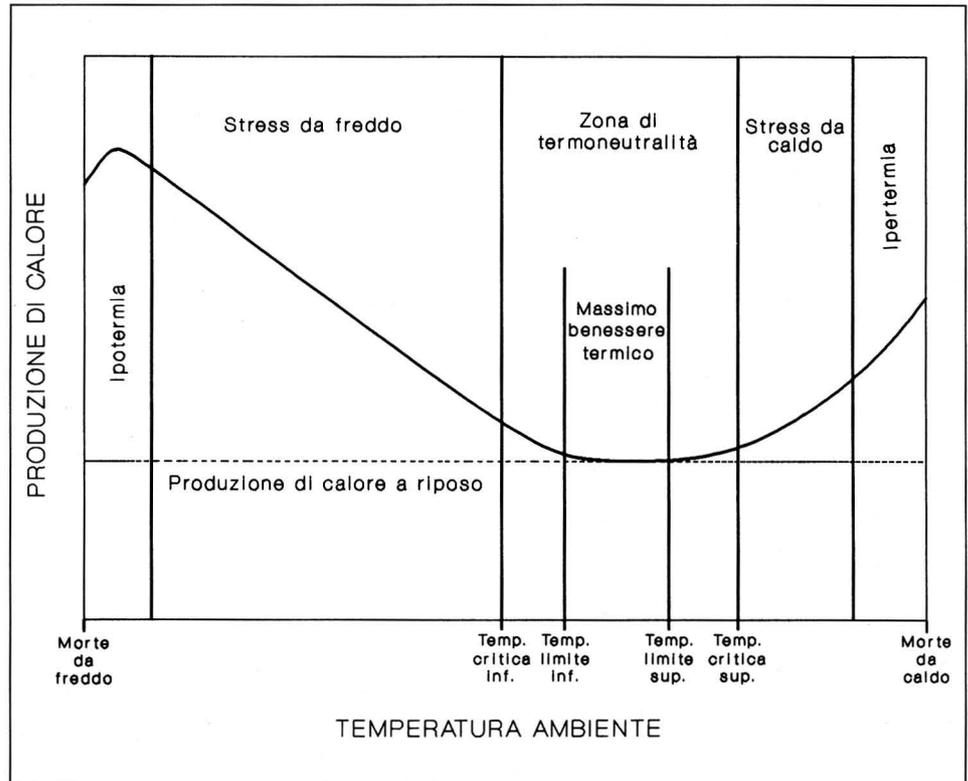


Figura 1 - Rappresentazione schematica della produzione di calore di un animale in funzione della temperatura ambiente.

Tabella 1 Temperature critiche inferiori e superiori per alcune specie animali, in presenza di umidità relativa dell'aria non superiori all'80%.

Animale	Peso kg	Temperatura critica	
		Inferiore °C	Superiore °C
Bovini			
Vitello	≤ 100	9	29
Vitello	100 ÷ 200	0	28
Manzo	200 ÷ 500	-14	27
Bovina da latte	≥ 500	-17	26
Bovino da ingrasso	≥ 500	-35	26
Suini			
Neonato	≤ 5	30	33
Lattinzolo	5 ÷ 15	21	27
Suinetto	15 ÷ 30	9	24
Magrone	30 ÷ 60	9	25
Suino da ingrasso	≥ 60	8	26
Scrofa in lattazione	180 ÷ 200	5	28
Ovini			
Agnello	≤ 20	19	31
Agnello	20 ÷ 40	10	25
Pecora	≥ 40	-11	29

Tabella 2 «Intervallo delle temperature accettabili» per alcuni animali, in presenza di umidità relativa dell'aria non superiori al 75%.

Animale	Temperatura accettabile	
	Minima °C	Massima °C
Vitello	10	26
Manzo	4	26
Bovina da latte	4	24
Pecora	4	24
Gallina ovaioia	7	21

lità di un animale dipende oltre che dall'età e dal peso anche dal regime alimentare, dalle condizioni di salute, dalla stabulazione singola o in gruppo e dal grado di adattamento al clima della zona in cui è allevato. In generale, comunque, osservando i valori riportati in tabella, si deduce che le zone di termoneutralità sono di solito definite da intervalli abbastanza ampi di temperature ambientali e, perciò, fabbricati molto semplici possono essere generalmente sufficienti per soddisfare le esigenze termiche degli animali allevati.

Indici di valutazione degli effetti dello stress termico

Numerosi indici sono stati messi a punto al fine di valutare il livello di benessere termico degli animali in funzione delle condizioni termoigrometriche ambientali. L'indice più usato per quantificare gli effetti negativi del clima caldo sulle bovine è l'indice temperatura-umidità (THI), la cui espressione è:

$$THI = t_{ba} + 0,36 t_{rug} + 41,5 \quad (2)$$

dove t_{ba} [°C] e t_{rug} [°C] rappresentano, rispettivamente, la temperatura dell'aria al bulbo asciutto e quella del punto di rugiada. Rilievi compiuti in alcune stalle per bovine da latte esistenti in Sicilia (Cascone e Tomaselli, 1985), hanno messo in evidenza che, durante il periodo estivo, gli animali sono soggetti a condizioni di stress da caldo più evidenti nelle stalle chiuse che in quelle aperte. Dalla **figura 2**, infatti, è immediato osservare che, nel periodo esaminato, il valore limite di 75 dell'indice temperatura-umidità — al di sopra del quale è stato riscontrato (Cargill e Stewart, 1966) che lo stress da caldo ha conseguenze negative sulla produzione di latte e sulla efficienza ri-

produttiva — è mediamente superato per la maggior parte delle ore diurne, con valori massimi inferiori ad 80 nelle stalle aperte e prossimi ad 85 nelle stalle chiuse.

Per le bovine da latte allevate in fabbricati aperti sono state definite e verificate sperimentalmente alcune formule che, in funzione dell'indice temperatura-umidità, consentono di valutare la riduzione dell'efficienza produttiva e riproduttiva.

Il decremento giornaliero di produzione di latte MD, espresso in funzione della produzione giornaliera media NL e dell'indice THI, è dato dalla relazione (Berry et al., 1964):

$$MD = -1,075 - 1,736(NL) + 0,02474(NL)(THI) \quad (3)$$

dove MD ed NL sono espressi in kg/giorno-capo.

L'applicazione di tale formula in uno studio sulle condizioni termoigrometriche estive all'interno di fabbricati per l'allevamento di bovine da latte ubicati nella Sicilia Orientale (Failla et al., 1987), ha evidenziato che il decremento medio giornaliero di produzione di latte, per bovine con produttività media di 22 kg/giorno-capo, è dell'1% per gli animali allevati nelle stalle aperte mentre supera il 5% per quelli allevati nei fabbricati chiusi. Tali decrementi possono sembrare modesti se riferiti alla singola bovina ma rappresentano una perdita economica significativa se la mandria conta un elevato numero di capi in lattazione durante il periodo estivo.

L'efficienza riproduttiva di bovine allevate in clima caldo, espressa come percentuale del numero di vitelli concepiti, è data, invece, dalla relazione (Hahn, 1981):

$$CR = 388,8 - 4,02(THI) \quad (4)$$

la quale, derivata da risultati sperimentali, evidenzia come all'aumentare del THI diminuisce la frequenza dei concepimenti. In

particolare, per valori di THI compresi tra 70 e 82 CR diminuisce dal 65% al 10%.

È noto inoltre che, in condizioni di stress da caldo, la riduzione della quantità di alimenti ingeriti da parte degli animali allevati rappresenta il principale meccanismo di decremento della produttività (Robertshaw, 1981). Le specie più tolleranti alle alte temperature ambientali riducono l'assunzione di cibo in quantità minore rispetto a quelle abituate a climi più freschi. Gli animali ad elevata produttività, poi, sono, in generale, più sensibili allo stress da caldo e, pertanto, tendono a ridurre l'assunzione di cibo in quantità maggiore rispetto ai capi meno produttivi. Poiché le spese sostenute per l'alimentazione degli animali oscillano in genere tra il 50% ed il 75% dei costi totali delle aziende zootecniche, la correlazione tra le condizioni termoigrometriche e l'efficienza della conversione degli alimenti in prodotti ha importanza fondamentale sul rendimento economico degli allevamenti. In tal senso, un indice che dà una misura dell'effetto negativo del clima caldo sugli allevamenti di bovine da latte, in funzione del THI, è il decremento HD della quantità di foraggio ingerito (Hahn ed Osburn, 1969):

$$HD = -28,23 + 0,3914(THI) \quad (5)$$

dove HD è espresso in kg/giorno-capo.

L'andamento, in funzione del THI, dei tre indici qui riportati, è diagrammato in **figura 3** (Hahn, 1981).

Per le altre specie animali, seppure non sono state definite correlazioni del tipo (3), (4) e (5), tuttavia ricerche e sperimentazioni condotte da numerosi studiosi hanno condotto alla elaborazione di diagrammi volti a definire il rapporto tra produttività e condizioni ambientali. In particolare, le curve di **figura 4** indicano la variazione della produttività dei suini e delle galline ovaiole al variare della temperatura ambiente.

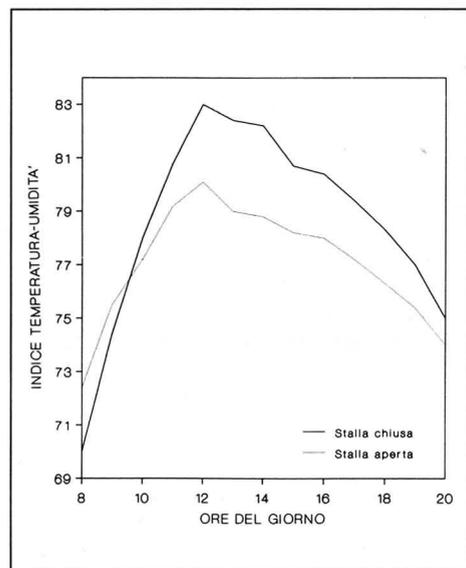


Figura 2 - Andamento medio orario dell'Indice Temperatura-Umidità (THI) valutato in Sicilia, durante il periodo estivo, all'interno di stalle chiuse e di stalle aperte.

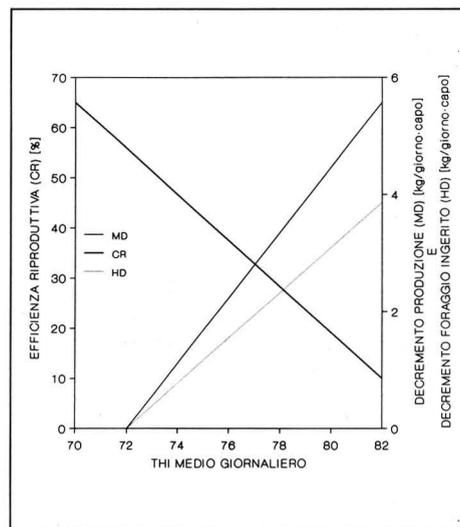


Figura 3 - Decremento di produzione di latte (MD), efficienza riproduttiva (CR) e decremento della quantità di foraggio ingerito (HD) in funzione del THI, per bovine da latte con produzione media NL = 22,7 Kg/giorno-capo, allevate sotto una tettoia, in condizioni di clima caldo.

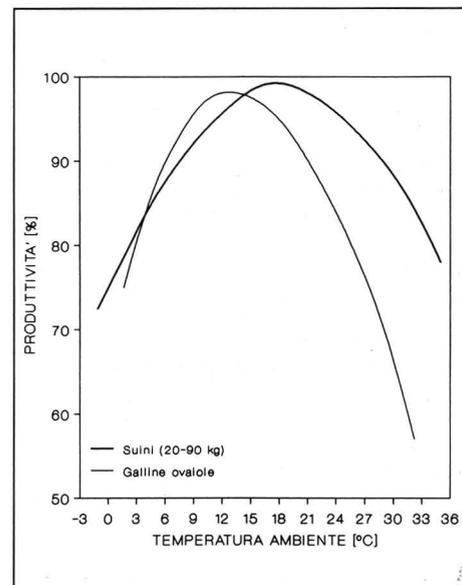


Figura 4 - Variazione della produttività dei suini (20-90 kg) e delle galline ovaiole in funzione della temperatura ambiente.

Sistemi passivi

In condizioni di clima caldo, per mantenere la temperatura ambiente all'interno della zona di termoneutralità degli animali in allevamento, è opportuno intervenire su almeno uno dei seguenti parametri: temperatura e/o umidità e/o velocità dell'aria, temperatura e/o emissività delle superfici che delimitano l'ambiente di allevamento, fattori di vista per gli scambi radiativi tra gli animali e le superfici che li circondano e conduttività dei materiali con cui gli animali stanno a contatto.

Le coperture

Nelle regioni a clima caldo, gli scambi termici radiativi rappresentano per gli animali una quota significativa del bilancio termico globale. Un animale allevato all'aperto, in particolare, oltre alla radiazione solare diretta intercettata, riceve quantità non trascurabili di radiazione diffusa provenienti dall'atmosfera e dalla volta celeste e di radiazione corta e lunga rispettivamente riflessa ed emessa dalla superficie del terreno. Ovviamente, a fronte di tali carichi radiativi incidenti, l'animale emette, a sua volta, radiazione di lunghezza d'onda lunga.

Rilievi compiuti sul bilancio energetico di un vitellone allevato all'aperto (Robertshaw, 1981) in condizioni climatiche caratterizzate da elevato irraggiamento solare e valori medi della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria pari, rispettivamente, a 27°C ed al 30%, hanno evidenziato che la radiazione incidente sul corpo dell'animale rappresenta quasi il 90% dell'energia totale assorbita mentre l'energia ceduta all'ambiente per irraggiamento, convezione ed evaporazione è, rispettivamente, pari a circa il 58%, il 9% ed il 27% del calore totale ceduto.

Una forma elementare di protezione dall'elevata radiazione solare è rappresentata dagli ombreggiamenti. Gli alberi, in particolare, costituiscono un tipo di ombreggiamento sufficientemente efficace in quanto intercettano una parte della radiazione solare e determinano un raffrescamento dell'aria per effetto dell'evaporazione dell'acqua dovuta ai fenomeni di traspirazione.

In genere, negli allevamenti vengono adottate semplici tettoie che riparano gli animali dalla radiazione solare diretta ma spesso, a causa della elevata temperatura raggiunta dalla loro superficie inferiore, diventano esse stesse fonte di radiazione infrarossa. Pertanto, il carico radiativo intercettato dal corpo di un animale allevato sotto una tettoia è costituito dall'energia irradiata dalla superficie inferiore di quest'ultima e da quella emessa dal pavimento della zona coperta, dalla superficie del terreno esterno al fabbricato nonché dalla radiazione diffusa dall'atmosfera.

Numerosi studi sono stati compiuti al fine di valutare il grado di efficienza dei diversi tipi di coperture nel proteggere gli animali dagli elevati carichi radiativi caratteristici dei

climi caldi ed è stato constatato che la scelta poco opportuna dei materiali può provocare un notevole aumento della radiazione infrarossa emessa dalla superficie inferiore della copertura. In particolare, rilievi condotti in California, alla latitudine di 32°47' N, su un manzo allevato sotto una tettoia in acciaio zincato (Garret et al., 1967), hanno evidenziato che la radiazione termica ricevuta dal corpo dell'animale proviene per il 26% dal terreno esterno circostante il fabbricato, per il 35% dalla volta celeste, per il 18% dal terreno sottostante la copertura e per il 21% dalla superficie inferiore della copertura stessa. Inoltre è stato valutato (Cascone, 1989) che, in Sicilia, nel periodo estivo, durante le ore più calde della giornata, il valore medio della temperatura della superficie inferiore di tettoie in lastre ondulate di cemento-amianto supera i 40°C e che, nell'arco di tempo compreso tra le 12.00 e le 14.00, la potenza termica, riferita all'unità di superficie corporea degli animali, trasmessa per irraggiamento dalla superficie inferiore della copertura al corpo delle bovine è dell'ordine di 25 Wm⁻². Tale valore è pari a quasi il doppio della potenza termica trasmessa da una copertura efficiente (Bond et al., 1976) ed a poco meno del 50% del calore metabolico basale giornaliero disperso dall'animale per unità di superficie corporea.

A causa dei notevoli carichi radiativi e della modesta velocità dell'aria, la temperatura al globo-termometro misurata sotto tali tettoie risulta più elevata della temperatura dell'aria al bulbo asciutto (Fichera e Cascone, 1989) e, pertanto, gli animali hanno difficoltà a dissipare energia sotto forma di calore sensibile.

Ovviamente, la temperatura della superficie inferiore della copertura, sia nei fabbricati aperti che in quelli chiusi, dipende soprattutto dalle caratteristiche termofisiche dei materiali. Teoricamente, infatti, i materiali di copertura devono avere alto coefficiente di riflessione della superficie esposta alla radiazione diretta e bassa emissività della superficie inferiore. Buoni risultati si ottengono utilizzando materiali, come l'alluminio o l'acciaio zincato, che hanno un elevato coefficiente di riflessione alla radiazione corta ed una bassa emissività, oppure trattando le superfici con opportune vernici. Una vernice bianca sull'estradosso della copertura consente di aumentarne il coefficiente di riflessione mentre una vernice nera sull'intradosso riduce l'energia riflessa ma aumenta l'energia termica reirraggiata. A causa della polvere e degli agenti atmosferici, però, sia le superfici metalliche che le vernici tendono a diventare opache perdendo, così, le caratteristiche fotometriche iniziali. Poiché risultano onerosi sia gli interventi di sostituzione delle lastre metalliche che quelli di manutenzione delle vernici, è preferibile ricorrere a coperture realizzate con lamiera ondulate in acciaio munite di coibentazione applicata alla superficie inferiore. Tali coperture, infatti, a fronte di maggiori spese di fornitura e posa in opera, consentono di con-

tenere la temperatura della superficie inferiore della copertura garantendo una maggiore efficienza nel tempo con ridotti interventi di manutenzione.

Un'altra soluzione utilizzata per attenuare la temperatura della superficie inferiore della copertura consiste nel disporre i materiali in doppio strato con interposta una intercapedine di dimensioni sufficienti a consentire la formazione di moti convettivi dell'aria.

Anche l'orientazione dei fabbricati zootecnici è di importanza fondamentale al fine di minimizzare gli effetti negativi del clima proprio di una data località.

Per i fabbricati aperti è stato valutato (Fichera, 1986) che, alla latitudine di 37° N in zone con clima estivo caldo e asciutto, l'orientazione NE-SO dell'asse longitudinale della tettoia è quella che consente di mantenere più a lungo all'ombra l'area coperta. Gli animali, pertanto, tendono a soggiornare di più sotto la tettoia e, di conseguenza, l'area coperta risulta costantemente umida mentre le zone di esercizio sono quasi interamente assolate per tutto l'arco della giornata. Con l'orientazione N-S, invece, poichè l'ombra proiettata si sposta su un'area pari a circa tre volte quella coperta (Wiersma e Armstrong, 1989), la superficie sotto la tettoia si mantiene più asciutta ma, di contro, si hanno valori più elevati della temperatura media dell'aria sotto la copertura. Analoghi risultati sono stati ottenuti in clima estivo caldo e umido dove è preferibile (Buffington et al., 1983) l'orientazione E-O dell'asse longitudinale se l'esigenza principale è quella di mantenere all'ombra la zona sotto la tettoia mentre è consigliabile l'orientazione N-S se l'obiettivo primario è quello di mantenere asciutta la pavimentazione della zona coperta.

Anche la pendenza delle falde e la dimensione degli sporti di gronda vanno opportunamente studiate per evitare che quantità eccessive di radiazione solare penetrino nella zona coperta e per ottenere una superficie d'ombra maggiore. Pure l'altezza della tettoia rispetto al piano di campagna circostante è molto importante. Infatti, al crescere dell'altezza della tettoia diminuisce il fattore di vista tra l'intradosso della copertura ed il corpo degli animali sottostanti ed aumenta la loro esposizione alla volta celeste la cui temperatura apparente è più bassa di quella dell'aria. D'altra parte, al crescere dell'altezza della tettoia aumenta la velocità con cui l'ombra, da questa proiettata, si sposta sul terreno che, di conseguenza, durante il giorno si mantiene a temperatura più elevata di quella del corpo degli animali.

Studi condotti sulla progettazione delle coperture di fabbricati aperti (Garret et al., 1967) suggeriscono, per le zone climatiche caratterizzate da pomeriggi chiari ed assolati, altezze delle linee di gronda dal piano di campagna comprese tra 3,6 e 4,2 m, al fine di consentire una maggiore dispersione di calore per scambi radiativi tra il corpo degli animali e la volta celeste.

La ventilazione naturale

L'orientazione rispetto alla direzione dei venti prevalenti, la geometria della copertura dei fabbricati aperti, la posizione, la forma e le dimensioni delle aperture nei fabbricati chiusi, oltre ad influenzare gli scambi termici radiativi ne condizionano la ventilazione che rappresenta il mezzo più efficace per modificare le condizioni termoisometriche e ridurre la concentrazione di gas nocivi e polvere all'interno degli ambienti di allevamento. Al variare delle condizioni climatiche cambia il ruolo della ventilazione nel mantenimento di condizioni termoisometriche ottimali per gli animali allevati. In particolare, è noto che in condizioni di clima freddo sono sufficienti modeste portate di ventilazione per rimuovere l'eccesso di umidità ed anidride carbonica all'interno dell'ambiente. In clima caldo, invece, sono necessarie elevate portate di ventilazione per mantenere la temperatura dell'aria interna non oltre $1 \div 3^\circ\text{C}$ più elevata di quella esterna e favorire la perdita di calore per convezione ed evaporazione dalla superficie del corpo degli animali. Per tali motivi, mentre nelle regioni a clima freddo è opportuno limitare le portate di ventilazione e le velocità dell'aria all'interno dei fabbricati per l'allevamento, in quelle a clima caldo sono da preferire gli edifici di tipo aperto, cioè costituiti da una semplice tettoia senza chiusure perimetrali, per favorire il movimento dell'aria all'interno degli ambienti di allevamento. In queste ultime regioni, infatti, poiché la temperatura dell'aria sotto le tettoie non presenta significative differenze rispetto alla temperatura dell'aria esterna, la ventilazione provocata dal vento prevale su quella dovuta all'effetto camino determinato dalla presenza di un'apertura lungo la linea di colmo (fig. 5).

Nelle regioni a clima mediterraneo, in particolare, è necessario garantire elevate portate di ventilazione nel periodo estivo caratterizzato da clima caldo e asciutto e limitare l'effetto nocivo del vento nel periodo invernale in cui si verificano spesso basse temperature dell'aria accompagnate da elevati valori dell'umidità relativa. Pertanto, una soluzione razionale può essere rappresentata da edifici con pareti a pannelli mobili (fig. 6) che, scorrendo su guide verticali, vengono sollevati in estate per favorire il movimento dell'aria ed abbassati in inverno per limitare la ventilazione al minimo indispensabile. Poiché le condizioni più sfavorevoli per una sufficiente ventilazione si verificano in assenza di vento, le dimensioni e la posizione delle aperture in grado di garantire la portata di ventilazione minima invernale vanno determinate facendo riferimento solo alla differenza di temperatura dell'aria adiacente alle aperture stesse. In tal caso, la portata di ventilazione per capo, necessaria per mantenere all'interno dell'ambiente di allevamento prefissate condizioni termoisometriche idonee per una data specie allevata, può essere ottenuta, utilizzando appositi diagrammi (Candura e Gusman,

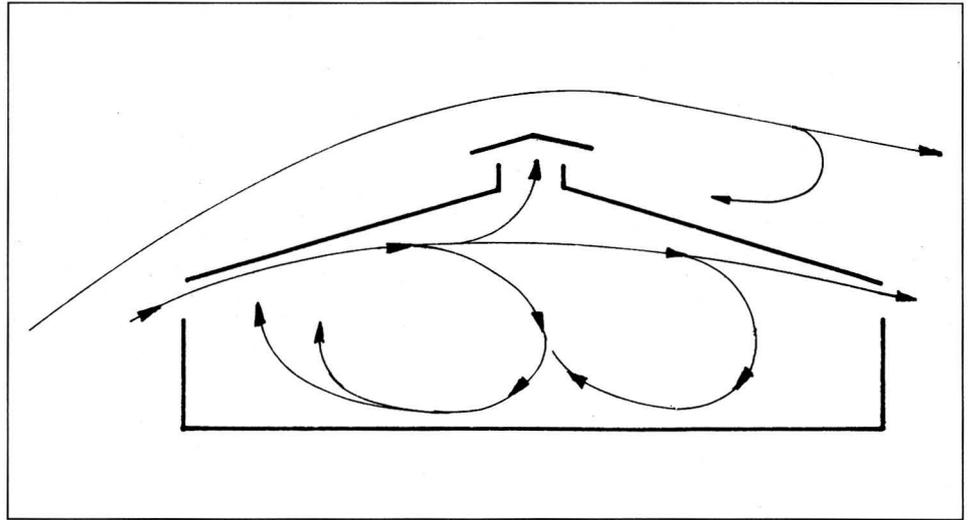


Figura 5 - Rappresentazione schematica del movimento dell'aria, provocato dal vento, all'interno di un edificio per l'allevamento.

1971), in funzione dei valori medi della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria della località in cui è ubicato l'edificio, del coefficiente di trasmissione globale del calore del fabbricato e dell'area della superficie disperdente riferita a capo.

Nota la portata di ventilazione per capo $Q_v[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$, l'area delle aperture di colmo $A_c[\text{m}^2]$ può essere determinata mediante l'equazione (Bruce, 1978):

$$A_c = \left[\frac{2C^2 gH(45 - t_e)}{T_e Q_v \left(1 + \frac{\rho c_{pa} Q_v + AK}{0,12M^{0,67}} \right)} - \frac{1}{Ai^2} \right]^{-1/2} \quad (6)$$

dove:

- C è un coefficiente di efflusso dell'aria attraverso le aperture;
- $g[\text{ms}^{-2}]$ è l'accelerazione di gravità;
- $H[\text{m}]$ è il dislivello tra l'asse delle aperture di ingresso dell'aria e la quota dell'apertura orizzontale di colmo;
- $t_e[^\circ\text{C}]$ e $T_e[\text{K}]$ indicano la temperatura dell'aria esterna al fabbricato;
- $\rho[\text{kgm}^{-3}]$ è la densità dell'aria;
- $c_{pa}[\text{kJkg}^{-1} \text{K}^{-1}]$ è il calore specifico dell'aria;
- $A[\text{m}^2]$ è la superficie coperta riferita a capo;
- $K[\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1}]$ è il coefficiente di trasmissione globale del calore dell'edificio riferito all'unità di superficie coperta;
- $M[\text{kg}]$ è il peso medio degli animali;
- $Ai[\text{m}^2]$ è la superficie delle aperture di ingresso dell'aria.

Poiché la portata di ventilazione è direttamente proporzionale alla differenza di quota tra le aperture di ingresso e di uscita dell'aria, la ventilazione naturale dovuta all'effetto camino risulta più efficace negli edifici con coperture aventi pendenza dell'ordine del $25 \div 30\%$ e luci di $7 \div 8 \text{ m}$ se ad una sola falda e $14 \div 15 \text{ m}$ se a due falde con colmo centrale (Chiappini, 1982). La superficie delle aperture di ingresso dell'aria deve risultare non inferiore a quella delle aperture di col-

mo. È buona norma (Bruce, 1978) adottare superfici delle aperture di ingresso dell'aria almeno pari al doppio di quelle di uscita. Le portate di ventilazione invernale calcolate come detto, si basano solo sull'esigenza di eliminare l'eccesso di umidità nell'aria dell'ambiente di allevamento. Poiché l'umidità relativa dell'aria è un parametro estremamente variabile in funzione delle caratteristiche climatiche della zona in cui sorge il fabbricato, della specie e dell'età degli animali allevati, dei diversi metodi di allevamento ed alimentazione e dei differenti tipi di pavimento o lettiera, è stato suggerito (Owen, 1982) di valutare la ventilazione minima invernale anche in funzione della necessità di smaltire l'eccesso di anidride carbonica prodotta dagli animali.

Indicando con $C_c[\text{kgCO}_2/\text{kgaria}]$ la concentrazione di anidride carbonica nell'aria e con $C_i[\text{kgCO}_2/\text{kgaria}]$ la concentrazione di anidride carbonica ammissibile all'interno dell'ambiente di allevamento, la portata di ventilazione $Q_v[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$ necessaria è data da (Lileng, 1989):

$$Q_v = \frac{Q_{ac}}{C_i - C_e} \quad (7)$$

essendo $Q_{ac}[\text{m}^3 \text{s}^{-1}]$ l'anidride carbonica prodotta all'interno dell'ambiente.

La portata di ventilazione minima per un dato ambiente sarà fissata pari alla massima tra le due portate stimate rispettivamente in funzione dell'eccesso di umidità e di anidride carbonica.

Alla ventilazione è strettamente correlato il movimento dell'aria all'interno dei locali di allevamento che favorisce gli scambi termici convettivi ed evaporativi dal corpo degli animali e dalle superfici interne che delimitano gli ambienti. Ricerche condotte (Thompson, 1974) sull'effetto del movimento dell'aria sul benessere di bovine allevate in clima caldo hanno rivelato che velocità dell'aria comprese tra $2,2$ e $4,5 \text{ ms}^{-1}$ riducono sensibilmente i decrementi di produzione di latte. Modesti incrementi ponderali

sono stati riscontrati, aumentando la velocità dell'aria da $0,2 \text{ ms}^{-1}$ a $1,5 \text{ ms}^{-1}$, in suini all'ingrasso allevati in ambienti la cui temperatura media dell'aria era compresa tra 35°C e 38°C (Bond et al., 1965). Inoltre, recenti studi basati sul bilancio energetico globale dei fabbricati per l'allevamento (Van Ouwerkerk, 1989) hanno messo in evidenza la variazione della temperatura critica superiore dei suini al variare della velocità dell'aria (fig. 7).

I materiali

Nelle regioni a clima caldo, nei fabbricati

chiusi, possono essere sfruttate le capacità termofisiche dei materiali ad elevata inerzia termica per smorzare e ritardare il flusso di calore dall'esterno verso l'interno. Infatti, nelle ore in cui la temperatura dell'aria esterna e la radiazione solare raggiungono i valori più elevati, le pareti sono in grado di accumulare notevoli quantità di calore che vengono poi cedute all'ambiente interno nelle ore meno calde quando, però, è possibile incrementare efficacemente la ventilazione beneficiando delle escursioni termiche giornaliere caratteristiche soprattutto dei climi caldi e asciutti. Di concezione op-

posta è lo schema costruttivo che privilegia il fabbricato a bassa inerzia termica dove vengono adottati accorgimenti e tecnologie costruttive tendenti a ridurre l'energia assorbita ed a favorire corretti ricambi d'aria per contenere l'innalzamento della temperatura e dell'umidità all'interno dell'ambiente di allevamento.

Soprattutto nelle regioni caratterizzate da apprezzabili escursioni termiche tra estate e inverno, quali quelle a clima mediterraneo, vanno valutate attentamente sia l'una che l'altra soluzione ed, eventualmente, considerate anche ipotesi intermedie soprattutto in funzione dei costi di costruzione.

In ogni caso, un ruolo fondamentale per la protezione degli animali dagli effetti negativi del caldo è svolto dai materiali di finitura delle superfici esterne dei fabbricati i quali, in funzione della loro temperatura assoluta, delle loro caratteristiche chimiche e fisiche e della lunghezza d'onda della radiazione incidente, riflettono, trasmettono ed assorbono la radiazione solare in maniera differente. Per le finiture delle superfici esterne sono da preferire i materiali caratterizzati da un basso coefficiente di assorbimento alla radiazione corta ed una elevata emissività. D'altra parte, i materiali ed i rivestimenti delle superfici interne riducono il carico radiativo sugli animali allevati se hanno un elevato coefficiente di assorbimento alla radiazione corta ed una bassa emissività.

Impianti attivi

In condizioni climatiche caratterizzate da elevata radiazione solare ed alte temperature dell'aria, non sempre l'impiego dei sistemi passivi suddetti è sufficiente a mantenere i valori della temperatura ambiente al di sotto della temperatura critica superiore e, pertanto, è necessario ricorrere ad impianti attivi volti ad abbassare la temperatura dei

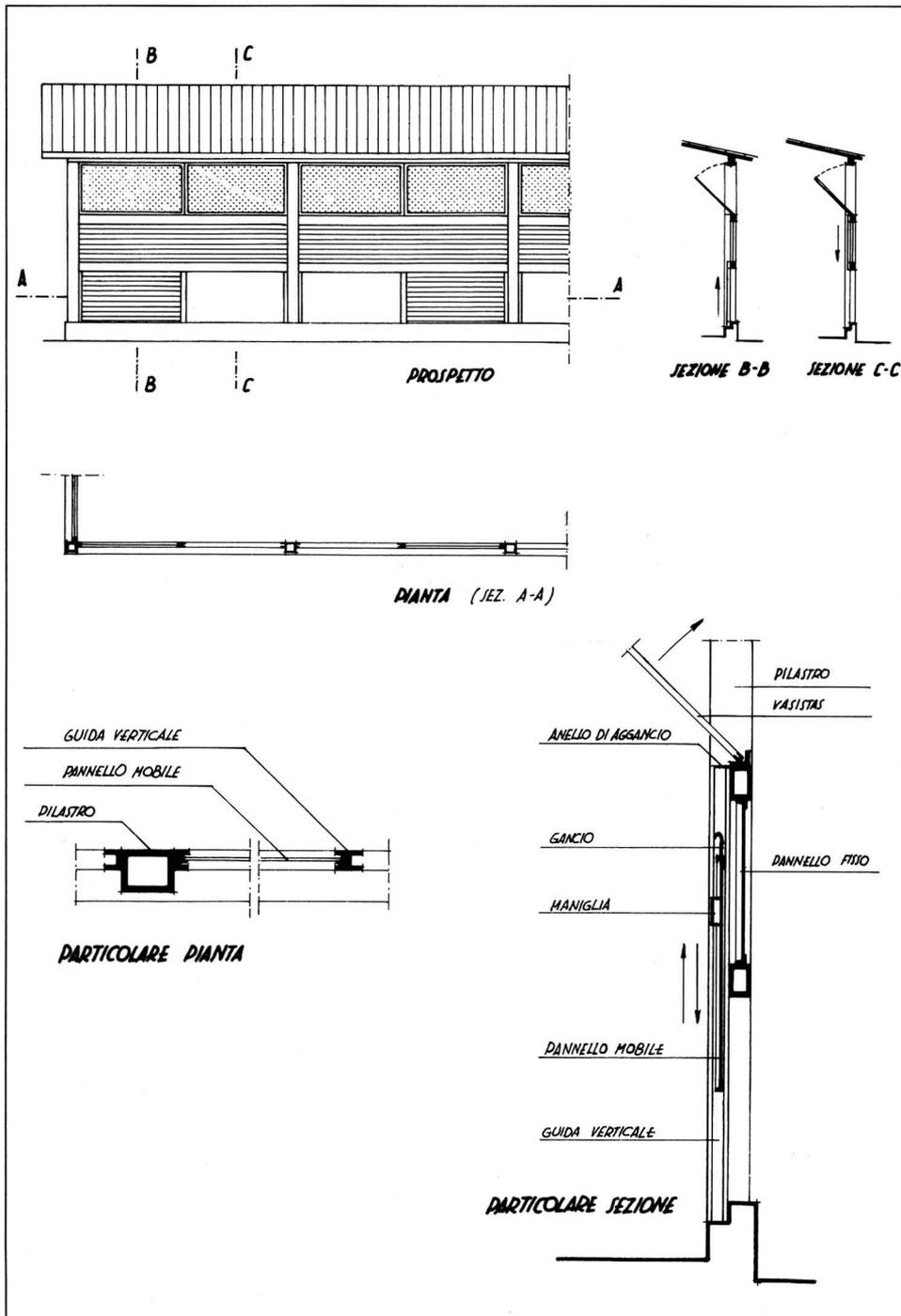


Figura 6 - Schema di un edificio con pareti a pannelli mobili.

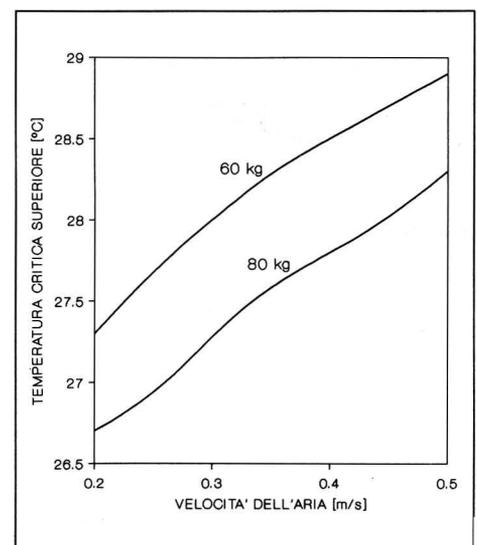


Figura 7 - Variazione della temperatura critica superiore dei suini al variare della velocità dell'aria.

locali di allevamento oppure a raffrescare direttamente il corpo degli animali.

La ventilazione meccanica

La ventilazione artificiale è certamente il più importante tra gli interventi di tipo attivo volti a ridurre la temperatura dell'aria dei locali di allevamento.

Adottando la ventilazione meccanica il ricambio dell'aria può essere ottenuto sia in pressione che in depressione (fig. 8) a seconda che l'aria esterna sia immessa nell'ambiente dai ventilatori o piuttosto entri dalle aperture a causa della depressione creata da ventilatori estrattori. I due sistemi presentano caratteristiche specifiche che devono essere attentamente considerate soprattutto in funzione della geometria del fabbricato e delle esigenze delle specie in allevamento. In ogni caso, il funzionamento di tali impianti può essere completamente automatizzato con una spesa economica contenuta affidando la regolazione della portata di ventilazione ad una centralina elettronica che in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria all'interno dell'ambiente modifica la velocità di rotazione dei ventilatori. Una velocità di rotazione minima garantisce in ogni caso una ventilazione minima. Recentemente, al fine di limitare i consumi energetici, si stanno diffondendo sistemi di ventilazione di tipo misto (Navarro, 1982) che prevedono l'impiego della ventilazione meccanica nel periodo invernale mentre, durante la rimanente parte dell'anno, si ricorre alla ventilazione naturale per far fronte alle maggiori esigenze di ri-

cambio e movimento dell'aria all'interno dei locali.

Il raffrescamento evaporativo

Il raffrescamento evaporativo dell'aria rappresenta un mezzo efficace per abbassarne la temperatura in quanto, attraverso processi adiabatici di evaporazione di acqua, una parte del calore sensibile dell'aria è convertito in calore latente con conseguente diminu-

zione della temperatura al bulbo asciutto ed aumento dell'umidità relativa.

Gli impianti di raffrescamento evaporativo sono, in genere, a saturatori adiabatici o a filtri umidi (Chiappini e Barbari, 1985). Nel primo caso (fig. 9), l'aria prima di entrare nel fabbricato attraversa appositi volumi, posti a valle dei ventilatori, all'interno dei quali si raffredda di alcuni gradi evaporando acqua nebulizzata. Nel secondo caso (fig. 10), alle aperture di ingresso dell'aria ven-

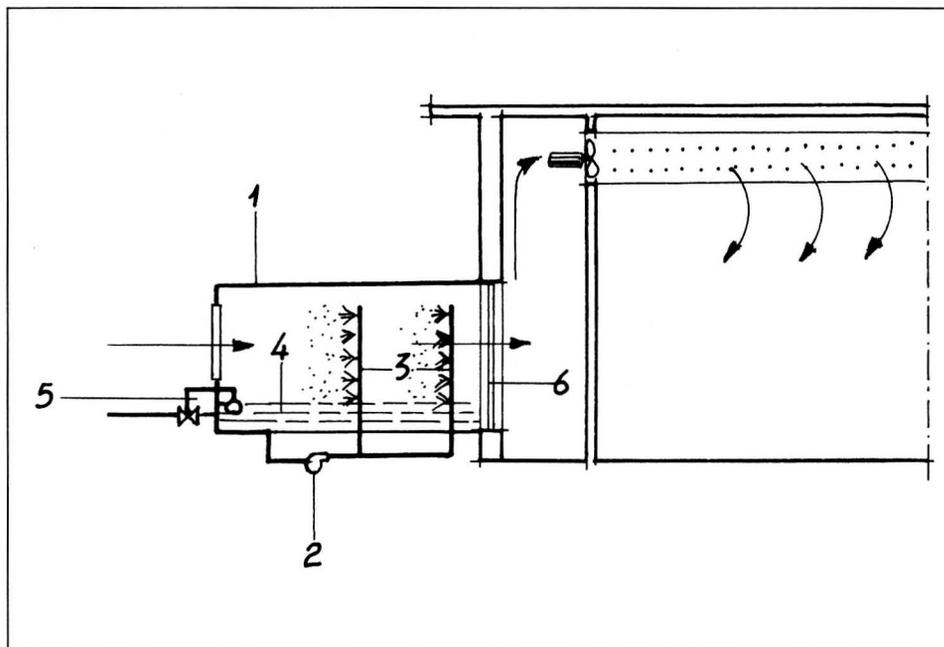


Figura 9 - Schema di impianto di raffrescamento evaporativo con saturatore adiabatico. L'impianto è composto da: 1) cassone coibentato; 2) pompa; 3) ugelli nebulizzatori; 4) vasca di raccolta dell'acqua; 5) galleggianti con saracinesca per l'acqua di reintegro; 6) separatore di gocce.

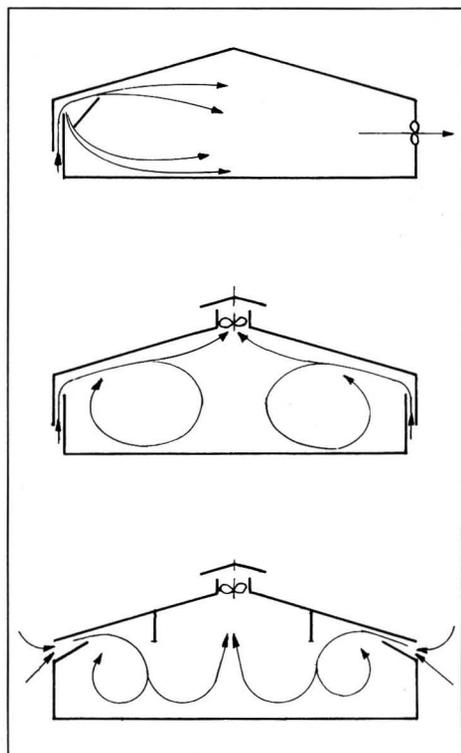


Figura 8 - Rappresentazione schematica del movimento dell'aria all'interno di edifici con ventilazione meccanica in depressione.

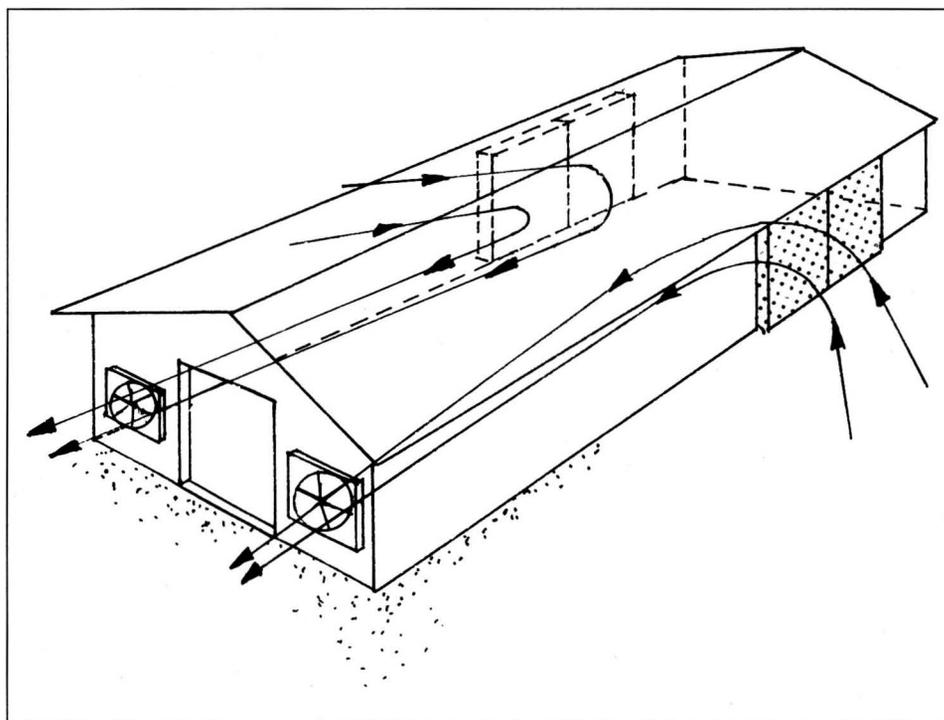


Figura 10 - Schema di un edificio con impianto a filtri umidi per il raffrescamento evaporativo dell'aria.

gono applicati pannelli di materiale poroso mantenuti costantemente umidi da una corrente d'acqua. Attraversando tali filtri, l'aria cede una parte del proprio calore sensibile per evaporare l'acqua.

Impianti ben dimensionati ed accuratamente gestiti consentono di ottenere, nelle ore più calde della giornata, temperature interne $2 \div 3^\circ\text{C}$ minori di quelle esterne e quindi $5 \div 6^\circ\text{C}$ più basse di quelle ottenibili con la semplice ventilazione estiva (Chiappini e Barbari, 1985).

Nelle regioni a clima mediterraneo tali sistemi sono, in genere, utilizzati solo per l'allevamento di animali particolarmente sensibili alle elevate temperature. In particolare, sperimentazioni compiute in edifici per galline ovaiole (Gusman, 1967) hanno evidenziato che nelle regioni meridionali d'Italia, durante il periodo estivo, l'impiego di impianti a filtro evaporativo consente di incrementare la produttività riducendo del 12% circa il consumo di alimenti per ogni uovo prodotto.

Per il dimensionamento di un impianto di raffreddamento evaporativo, note la temperatura e l'umidità relativa dell'aria esterna dal fabbricato e fissata l'umidità relativa dell'aria in uscita dall'impianto, la portata di ventilazione q_v [$\text{kg}_{\text{aria}} \text{s}^{-1}$] può essere valutata mediante la relazione (Chiappini e Christiaens, 1989):

$$q_v = \frac{(\alpha - 1)\phi_s + (\beta - 2502)q_p}{(1,01 - \alpha)t_u - (2502 - \beta)m_u - \gamma} \quad (8)$$

dove:

— α , β e γ sono tre fattori che valgono, rispettivamente, 1,88, $3,1 \cdot 10^3$ e $-27,81$ per i bovini e 2,36, $2,87 \cdot 10^3$ e $-41,50$ per i suini da ingrasso;

— ϕ_s [kW] è il calore sensibile prodotto dagli animali;

— q_p [$\text{kg}_{\text{acqua}} \text{s}^{-1}$] è l'umidità prodotta all'interno dell'ambiente di allevamento;

— t_u [$^\circ\text{C}$] ed m_u [$\text{kg}_{\text{acqua}} \text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$] sono, rispettivamente, la temperatura e l'umidità specifica dell'aria che, dopo avere attraversato

il raffrescatore evaporativo, entra nell'ambiente.

Note la temperatura t_e [$^\circ\text{C}$] e l'umidità relativa ϕ_e dell'aria esterna, fissata l'umidità relativa ϕ_u dell'aria in uscita dal raffrescatore evaporativo, ammettendo che l'aria ed il vapore d'acqua si comportino entrambi come gas ideali, poiché la trasformazione è con buona approssimazione isoentalpica, t_u può essere ricavata utilizzando il diagramma psicrometrico di Mollier o risolvendo numericamente l'equazione (Parolini et al., 1983):

$$c_{pa}(t_u - t_e) + h_{go}(m_u - m_e) + C_{pv}(m_u t_u - m_e t_e) = 0 \quad (9)$$

dove:

— c_{pa} [$\text{kJkg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$] è il calore specifico dell'aria;

— c_{pv} [$\text{kJkg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$] è il calore specifico del vapore d'acqua;

— h_{go} [kJkg^{-1}] è il calore di vaporizzazione dell'acqua alla temperatura di 0°C ;

— m_e [$\text{kg}_{\text{acqua}} \text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$] ed m_u [$\text{kg}_{\text{acqua}} \text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$], ricavate con le relazioni:

$$m_e = \frac{0,622 \phi_e P_s(t_e)}{P_{\text{atm}} - \phi_e P_s(t_e)} \quad (10)$$

$$m_u = \frac{0,622 \phi_u P_s(t_u)}{P_{\text{atm}} - \phi_u P_s(t_u)} \quad (11)$$

sono, rispettivamente, l'umidità specifica dell'aria esterna e dell'aria in uscita dal raffrescatore evaporativo.

Nelle relazioni (10) e (11), P_{atm} [kPa] è la pressione atmosferica e $P_s(t_e)$ [kPa] e $P_s(t_u)$ [kPa] sono, rispettivamente, la pressione del vapore saturo alla temperatura t_e ed alla temperatura t_u , essendo, in generale (Weiss, 1977):

$$P_s(t) = 0,61078 \cdot e^{(17,269t/(t+237,30))} \quad (12)$$

La temperatura t_1 [$^\circ\text{C}$] e l'umidità assoluta m_1 [$\text{kg}_{\text{acqua}} \text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$] dell'aria all'interno dell'ambiente di allevamento sono date, rispettivamente, da (Chiappini, 1988):

$$t_1 = \frac{\phi_s + \phi_e}{C_{pa} q_v} + t_u \quad (13)$$

$$m_1 = \frac{q_p}{q_v} + m_u \quad (14)$$

dove ϕ_s [kW] è la potenza termica entrante nell'ambiente per effetto dell'irraggiamento solare mentre gli altri simboli hanno i significati già noti.

L'umidità relativa dell'aria interna può essere calcolata ricavando ϕ_i in funzione di t_i ed m_i dalla relazione del tipo (10) e (11). Poiché l'aria immessa negli ambienti è umida, il raffreddamento evaporativo è applicabile con maggior vantaggio nelle zone con clima asciutto. Infatti, finché l'animale può dissipare il proprio calore metabolico mediante scambi termici radiativi e convettivi, l'umidità relativa dell'aria non ha una influenza sensibile sul suo bilancio energetico. Aumentando la temperatura ambiente, invece, elevati valori dell'umidità relativa dell'aria determinano effetti negativi sulle condizioni di benessere termico degli animali.

Il raffreddamento evaporativo può essere impiegato anche per ridurre la temperatura delle coperture degli edifici zootecnici spruzzando acqua sulla superficie esterna del tetto. L'acqua evaporando assorbe calore dalla copertura riducendone la temperatura con conseguente diminuzione dell'energia termica irradiata dalla superficie inferiore di quest'ultima.

Il raffreddamento dell'aria mediante tubi interrati

Un altro tipo di intervento volto al raffreddamento dell'aria all'interno del fabbricato consiste nel convogliare l'aria di ventilazione attraverso tubi interrati prima di immerterla nell'ambiente di allevamento. Nei mesi estivi, infatti, la temperatura del terreno è più bassa di quella dell'aria e, perciò, questa passando all'interno di tubi interrati cede calore al terreno raffreddandosi.

I tubi, generalmente in materiale plastico, possono essere disposti a raggiera (**fig. 11**) o a pettine (**fig. 12**). La prima disposizione

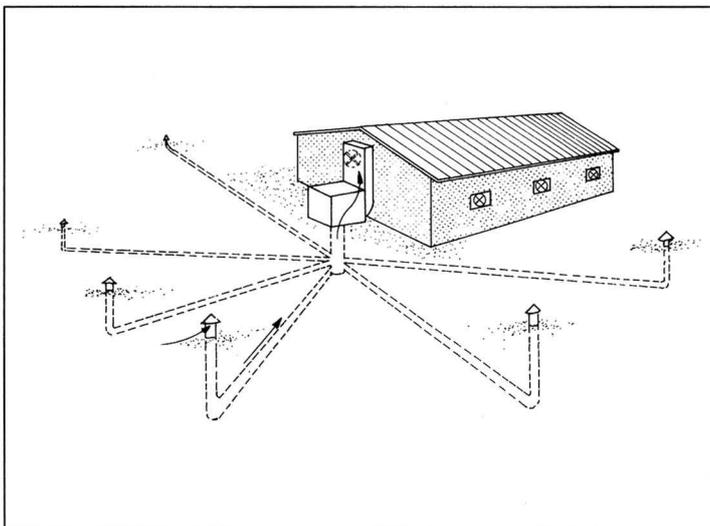


Figura 11 - Schema di impianto per il raffreddamento dell'aria di ventilazione mediante tubi interrati disposti a raggiera.

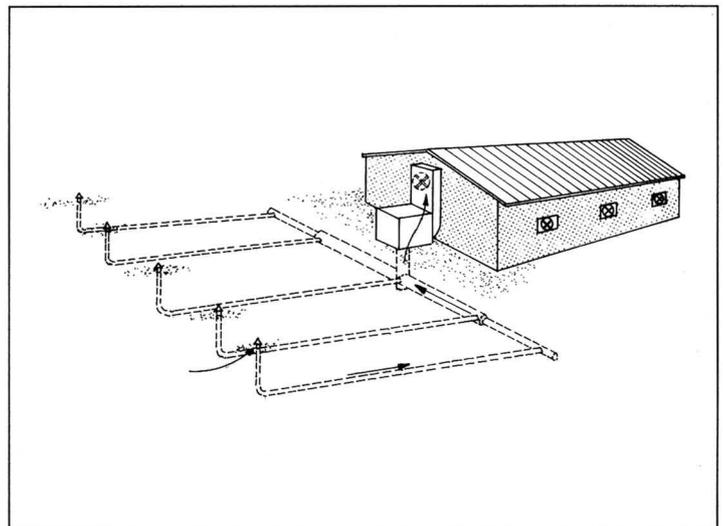


Figura 12 - Schema di un impianto per il raffreddamento dell'aria di ventilazione mediante tubi interrati disposti a pettine.

ne, a causa della distribuzione a semicerchio delle bocche di presa dell'aria che fuoriescono dalla superficie del terreno, può intralciare il movimento dei mezzi all'interno dell'azienda ed inoltre, poiché le diramazioni devono convergere in un unico collettore centrale, limita il numero dei tubi che possono essere installati. A parità, poi, di numero e lunghezza dei tubi, poiché quest'ultimi, come è stato verificato sperimentalmente (Chiappini e Barbari, 1984), possono essere disposti ad interasse minimo di $1,5 \div 2,0$ m, lo schema a pettine richiede una minore superficie disponibile rispetto a quello a raggiera.

Tali impianti, sebbene sicuramente efficaci, risultano però di difficile progettazione a causa dell'elevato numero di variabili interagenti che intervengono nel problema. Per il dimensionamento di un impianto a tubi interrati, infatti, occorre conoscere le caratteristiche del terreno, scegliere la profondità di interramento e stabilire, in funzione della portata di ventilazione, il materiale, il diametro, il numero e la lunghezza dei tubi e le caratteristiche del ventilatore.

In genere, un più efficace raffrescamento dell'aria che attraversa i tubi, si ottiene con terreni argillosi umidi per via della maggiore diffusività termica che questi presentano rispetto ai terreni sabbiosi asciutti, mentre, per quanto riguarda la profondità di interramento, sebbene da un punto di vista teorico sarebbe opportuno raggiungere almeno i 3,0 m per beneficiare della temperatura pressoché costante del terreno, valutazioni di tipo economico suggeriscono di interrare i tubi a profondità comprese tra 1,50 e 2,00 m. Valutata la portata d'aria da immettere nel fabbricato, la lunghezza complessiva dei tubi può essere determinata facendo riferimento al parametro empirico di $4 \div 7$ m di tubo per ogni $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ di portata di ventilazione. Stabilito il numero dei tubi e fissata la velocità v dell'aria nei tubi nell'intervallo compreso tra 4 ms^{-1} e 6 ms^{-1} (Chiappini e Christiaens, 1989) il diametro D [m] dei tubi può essere ricavato dall'equazione di continuità. Prove sperimentali hanno dimostrato che i migliori risultati in termini di efficienza del sistema ed economia dei costi di impianto, si ottengono utilizzando tubi con diametro compreso tra un minimo di 15 cm ed un massimo di 25 cm.

La potenza del ventilatore viene determinata, con riferimento al percorso idraulicamente più sfavorevole, in funzione della portata d'aria e delle perdite di carico distribuite e concentrate calcolate, rispettivamente, con le note formule:

$$R_d = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (15)$$

$$R_c = r \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (16)$$

dove ρ [kgm^{-3}] è la densità dell'aria, f è il fattore d'attrito che, per tubi lisci, nel campo dei numeri di Reynolds di più frequente riscontro ($10^4 < \text{Re} < 10^7$), è dato dalla rela-

zione empirica (Parolini et al., 1983):

$$f = 0,046 \text{Re}^{-0,2} \quad (17)$$

con

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu} \quad (18)$$

dove ν [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] è la viscosità cinematica dell'aria, mentre il coefficiente adimensionale r è tabellato in funzione del tipo di perdita di carico concentrata.

Con impianti dimensionati con i criteri suddetti (Chiappini e Barbari, 1984), le temperature dell'aria in uscita dal sistema sono risultate mediamente $8 \div 10^\circ\text{C}$ più basse della temperatura esterna al fabbricato con abbassamenti massimi di $12 \div 15^\circ\text{C}$.

Il raffrescamento del corpo degli animali

Un sistema efficace per contrastare gli effetti negativi delle elevate temperature dell'aria consiste nel bagnare direttamente il corpo degli animali mediante periodiche docce d'acqua. Infatti, in presenza di elevate temperature dell'aria, mantenendo umida la cute degli animali viene favorita l'eliminazione di una parte del calore metabolico sotto forma di calore di evaporazione dell'acqua. Le specie animali per le quali tali vantaggi sono più rilevanti sono quelle aventi minori capacità di scambi termici per sudorazione.

Ovviamente, la durata e l'intensità di ogni doccia e l'intervallo di tempo tra due docce successive dipendono dai valori delle variabili termoisometriche ambientali. Poiché nei suini il beneficio di una doccia dura poco meno di due ore (Chiappini, 1988), l'intervallo tra due docce successive può essere fissato pari a $90 \div 120$ minuti. Il diametro degli ugelli deve essere accuratamente proporzionato prevedendo durate delle docce di circa 20 secondi con un consumo medio di 45 litri per doccia.

Il diagramma di **figura 13** (Van Ouwkerk, 1989) indica la variazione, in funzione della temperatura ambiente, della temperatura critica superiore di suini che beneficiano di impianti a doccia.

Un metodo alternativo, ormai poco usato, per inumidire il corpo dei suini è quello di consentire loro libero accesso ad una vasca d'acqua.

Sistemi di raffrescamento mediante docce installate nella sala d'attesa che precede la sala di mungitura sono stati sperimentati con successo in allevamenti di bovine da latte in clima caldo secco con temperature massime dell'aria pari a 42°C (Wiersma e Armstrong, 1989). Gli impianti utilizzati sono costituiti semplicemente da una serie di ugelli spruzzatori, che entrano in funzione bagnando il corpo degli animali per circa $30 \div 45$ secondi ogni 5 minuti, e di grandi ventilatori a bassa velocità che immettono l'aria esterna dentro la sala d'attesa. Tale flusso d'aria provoca l'evaporazione dell'acqua depositata sulla superficie del corpo delle bovine abbassandone la temperatura. Du-

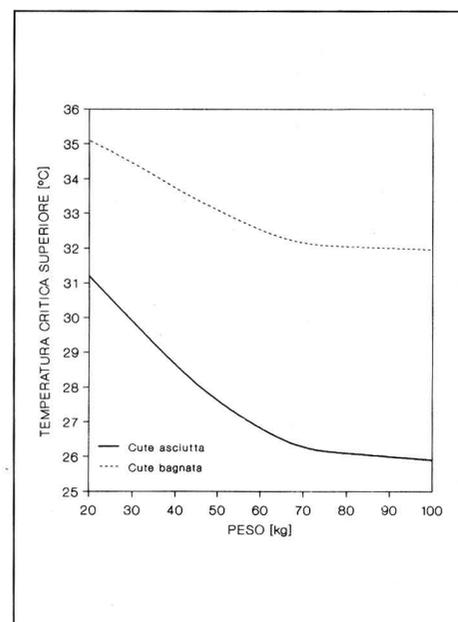


Figura 13 - Effetto delle docce sulla variazione della temperatura critica superiore di suini da ingrasso.

rante il periodo di funzionamento dell'impianto, l'incremento riscontrato nella produzione giornaliera media di latte è stato pari a 0,79 kg. In analoghe condizioni climatiche, invece, nessun incremento ponderale né miglioramento dell'indice di conversione degli alimenti sono stati rilevati utilizzando impianti a doccia in fabbricati per l'allevamento di bovini da carne in box multipli con pavimento fessurato (Morrison et al., 1981).

Il condizionamento totale o parziale

Senza dubbio il mezzo più efficace per controllare le alte temperature all'interno degli ambienti di allevamento è il condizionamento dell'aria mediante macchine frigorifere. Queste, però, pur consentendo di ottenere aumenti di produttività dell'allevamento (Thatcher et al., 1974), comportano elevati costi di impianto e di gestione che non sono giustificati dagli incrementi di produzione ottenibili. Vantaggiosa può risultare, invece, l'applicazione di sistemi a pompa di calore per la climatizzazione estiva di ambienti in cui sono allevati animali particolarmente sensibili alle elevate temperature. Rilievi condotti in un fabbricato per l'allevamento cunicolo dotato di un sistema di raffrescamento a pompa di calore (Chiumentti e Bizzotto, 1984), hanno evidenziato che, in presenza di temperature massime giornaliere comprese tra 35 e $39,5^\circ\text{C}$, con una spesa energetica media giornaliera di 425 kWh, la temperatura dell'aria interna si è mantenuta intorno ai 24°C con incrementi del numero dei salti fecondi che, rispetto a situazioni analoghe non climatizzate, sfiorano il 50% della media annua.

Per l'allevamento di animali meno sensibili a condizioni di stress da caldo, un condizionamento parziale dell'ambiente può risultare

economicamente conveniente. Ad esempio, abbassando, di circa 8°C durante il giorno e di 3°C durante la notte, soltanto la temperatura dell'aria inspirata dalle bovine in condizioni di stress termico da caldo, è stato ottenuto un incremento della produzione di latte del 15 ÷ 20% (Roussel e Beatty, 1970) con una spesa di energia sensibilmente inferiore a quella necessaria per il condizionamento totale.

Un altro sistema per il condizionamento parziale dell'ambiente è quello di raffreddare la superficie del pavimento per aumentare le perdite di calore per conduzione dal corpo degli animali in posizione di decubito. In tal senso è stato dimostrato (Van Ouwkerk, 1989) che la temperatura critica superiore di suini da 80 kg di peso aumenta da 26°C a 35°C abbassando la temperatura del pavimento da 26°C a 14°C. Tale tecnica, però, può presentare l'inconveniente della formazione della condensa che rende umido il giaciglio. Meno rilevanti, invece, sono risultati i benefici ottenuti, in termini di riduzione della temperatura critica superiore, diminuendo la temperatura dell'acqua di abbeveraggio mediante un apposito impianto di refrigerazione.

Considerazioni conclusive

Il tema trattato ha messo in evidenza, innanzitutto, le caratteristiche geometriche, fisiche ed impiantistiche degli edifici zootecnici che, attraverso il controllo delle condizioni ambientali in clima caldo, influiscono sulla produttività degli allevamenti.

Approntati i sistemi che consentono di ridurre gli effetti negativi del clima sugli animali allevati, l'operatore deve decidere quando e per quanto tempo tali attrezzature devono funzionare o essere disponibili. Tale decisione, ovviamente, non riguarda i sistemi passivi i quali sono parti integranti dei fabbricati, ma solamente quelli attivi il cui funzionamento è generalmente controllato nel tempo in funzione di valutazioni costi-benefici o sulla base di considerazioni pratiche. Per quanto riguarda il primo aspetto, ad esempio, in un fabbricato dotato di un impianto di raffrescamento evaporativo dell'aria, per dati valori delle variabili termometriche esterne occorrerà ottenere valori della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria interna che rendano massima la differenza tra i benefici economici derivanti da una maggiore produttività dell'allevamento e le spese da sostenere per l'esercizio dell'impianto. Considerazioni di tipo pratico, invece, suggeriscono l'impiego intermittente degli impianti a doccia in modo da garantire un sufficiente benessere termico agli animali e limitare nel contempo i problemi connessi agli elevati consumi d'acqua e soprattutto all'eccessiva umidità determinata dal funzionamento continuo. Anche il tipo di stabulazione e la disponibilità di spazio per capo rappresentano un aspetto importante che ha ripercussioni sul microclima interno dei fabbricati e sulle

condizioni di benessere termico degli animali allevati. Un maggiore volume del fabbricato, infatti, consente di ridurre, a parità di tutte le altre condizioni, la temperatura ambiente, mentre un aumento della superficie disponibile per ciascun capo favorisce gli scambi termici radiativi, convettivi ed evaporativi tra il corpo degli animali e l'ambiente circostante.

Tra le scelte operative che influiscono sulla conduzione degli allevamenti nelle aree a clima caldo, una delle più importanti è la composizione della dieta alimentare. In particolare, è noto che in condizioni di clima caldo, l'aumento della percentuale dei concentrati presenti nella razione per le bovine da latte consente di mantenerne pressoché costante il livello di produttività nell'ambito di un più ampio intervallo di temperature. Di importanza non trascurabile, infine, è la scelta delle razze da allevare le quali devono essere dotate di un patrimonio genetico in grado di garantire buone prestazioni zootecniche in clima caldo.

Bibliografia

- Berry I.L., Shanklin M.D., Johnson H.D.: *Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity*, Trans. of the ASAE, (1964), 329-331.
- Bond T.E., Heitman H. Jr., Kelly C.F.: *Effects of increased air velocities on heat and moisture loss and growth of swine*, Trans. of the ASAE, (1965), 167-174.
- Bond T.E., Neubauer L.W., Givens R.L.: *The influence of slope and orientation on effectiveness of livestock shades*, Trans. of the ASAE, (1976), 134-137.
- Bruce J.M.: *Natural convection through openings and its application to cattle building ventilation*, J. agric. Engng. Res., (1978), n. 23, 151-167.
- Bruce J.M.: *Ventilation and temperature control criteria for pigs*, in Clark, J.A. (ed.), «Environmental aspects of housing for animal production», (1981), Butterworths, Londra, 197-216.
- Candura A., Gusman A.: *La ventilazione dei fabbricati per allevamenti zootecnici*, Genio Rurale, (1971), n. 7-8, 17-42.
- Cargill F.B., Stewart R.E.: *Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows*, Trans. of the ASAE, (1966), 702-706.
- Cascone G.: *The influence of the covering on the microclimate of the livestock houses in the Mediterranean area*, Atti dell'11° Congresso Internazionale della CIGR su «Agricultural engineering», Dublino, (1989), 1125-1131.
- Cascone G., Tomaselli G.: *Environmental conditions in open and closed dairy cow houses during hot weather*, Seminario Internazionale della 2ª Sezione Tecnica della CIGR su «Agricultural buildings in hot climate countries», Catania, (1985), pp. 10.
- Chiappini U.: *Ricoveri zootecnici: aspetti climatici*, L'Italia Agricola, (1982), n. 4, 27-43.
- Chiappini U.: *Il raffrescamento artificiale nei ricoveri zootecnici*, (1988), n. 3, 27-30.
- Chiappini U., Barbari M.: *Raffrescamento dell'aria di ventilazione mediante tubi interrati*, Genio Rurale, (1984), n. 12, 39-52.
- Chiappini U., Barbari M.: *Tecniche di raffrescamento evaporativo negli edifici zootecnici*, Genio Rurale, (1985), n. 2, 15-34.
- Chiappini U., Christiaens J.P.A.: *Cooling in animal houses*, in «CIGR 2nd Report of Working Group on Climatization of animal houses», Gent, (1989), 57-70.
- Chiumenti R., Bizzotto A.: *Prove di raffrescamento*

di un allevamento cunicolo con pompa di calore, Genio Rurale, (1984), n. 11, 11-18.

- Curtis S.E.: *Environmental management in animal agriculture*, (1983), The Iowa State University Press, Ames, IO.
- Failla A., Cascone G., Lanteri S.: *Influence of open and closed house on dairy cow productivity during hot weather*, Seminario Internazionale della 2ª Sezione Tecnica della CIGR su «Latest developments in livestock housing», Urbana-Champaign, IL., (1987), pp. 8.
- Fichera C.R.: *La progettazione dei fabbricati per l'allevamento animale nei paesi a clima caldo*, Tecnica Agricola, (1986), 3-23.
- Fichera C.R., Cascone G.: *Effetto dell'efficienza termica del fabbricato sulla produttività dell'allevamento di bovine da latte*, Genio Rurale, (1989), n. 4, 82-88.
- Garrett W.N., Bond T.E., Pereira N.: *Influence of shade height on physiological responses of cattle during hot weather*, Trans. of the ASAE, (1967), 433-438.
- Gusman A.: *Alcune esperienze sul controllo delle condizioni ambientali in fabbricati per gli allevamenti zootecnici*, Atti del 2° Convegno Nazionale di Edilizia Rurale, Piacenza, (1967), pp. 14.
- Hahn G.L.: *Sbeller engineering for cattle and other domestic animals*, in Johnson H.D. (ed.), «Progress in animal biometeorology», (1976), Vol.1, Swets & Zeitlinger B.V., Amsterdam, 496.
- Hahn G.L.: *Housing and management to reduce climatic impacts on livestock*, J. of Animal Science, (1981), Vol. 52, n. 1, 175-186.
- Hahn G.L., Osburn D.D.: *Feasibility of summer environmental control for dairy cattle based on expected production losses*, Trans. of the ASAE, (1968), 448-451.
- Lilleng H.: *Minimum ventilation problems in confined animal rooms*, in «CIGR 2nd Report of Working Group on Climatization of animal houses», Gent, (1989), 37-44.
- Morrison S.R., Prokop M., Lofgren G.P.: *Sprinkling cattle for heat stress relief: activation temperature, duration of sprinkling and pen area sprinkled*, Trans. of the ASAE, (1981), 1299-1300.
- Navarrotto P.: *Porcilaie da ingrasso*, L'Italia Agricola, (1982), n. 4, 179-190.
- Owen J.: *A design basis for ventilation of pig buildings*, Atti del 2° Simposio Internazionale su «Livestock environment», ASAE, St. Joseph, MI., (1982), 406-410.
- Parolini G., Del Monaco A., Fontana D.: *Fondamenti di fisica tecnica*, (1983), UTET, Torino.
- Pratelli G., Barbari M.: *Ricoveri zootecnici in clima caldo*, Genio Rurale, (1985), n. 5, 13-18.
- Robertshaw D.: *The environmental physiology of animal production*, in Clark J.A. (ed.), «Environmental aspects of housing for animal production», (1981), Butterworths, Londra, 3-17.
- Roussel J.D., Beatty J.F.: *Influence of zone cooling on performance of cows lactating during stressful summer condition*, J. of Dairy Science, (1970), Vol. 53, n. 8, 1085-1088.
- Thatcher W.W., Gwazdauskas F.C., Wilcox C.J., Toms J., Head H.H., Buffington D.E., Fredriksson W.B.: *Milking performance and reproductive efficiency of dairy cows in an environmentally controlled structure*, J. of Dairy Science, (1974), Vol. 57, n.1, 175-186.
- Thompson P.D.: *Discussion on the influence of environmental factors on health of livestock*, Atti del Simposio Internazionale su «Livestock environment», ASAE, St. Joseph, MI., (1974), 21-30.
- Van Ouwkerk E.N.J.: *Modelling the heat balance of pigs at animal and housing levels*, in «CIGR 2nd Report of Working Group on Climatization of animal houses», Gent, (1989), 9-22.
- Weiss A.: *Algorithms for the calculation of moist air properties on a hand calculator*, Trans. of the ASAE, (1977), 1133-1136.
- Wiersma F., Armstrong D.V.: *Microclimate modification to improve milk production in hot arid climates*, Atti dell'11° Congresso Internazionale della CIGR su «Agricultural engineering», Dublino, (1989), 1433-1440.