



ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'
SASSARI

studi sassaresi

Sezione III

1984

Volume XXXI

ANNALI

DELLA FACOLTA' DI AGRARIA DELL' UNIVERSITA'

SASSARI

DIRETTORE: G. RIVOIRA

COMITATO DI REDAZIONE: M. DATTILO - S. DE MONTIS - F. FATICHENTI
C. GESSA - L. IDDA - F. MARRAS - P. MELIS - A. MILELLA - A. PIETRACAPRINA
R. PROTA - A. VODRET

studi sassaresi

ORGANO UFFICIALE
DELLA SOCIETÀ SASSARESE DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI



Istituto di Costruzioni Rurali dell'Università di Sassari

(Direttore: Prof. S. De Montis)

STEFANO DE MONTIS* - MARIO PISANU**

RUOLO DEI MATERIALI E PRESTAZIONI D'ISOLAMENTO TERMICO IN EDIFICI ZOOTECNICI IN SARDEGNA

RIASSUNTO

Le prestazioni di isolamento termico dei materiali sono determinanti per assicurare condizioni ambientali interne prossime alla zona del benessere, ed essenziali per un'accettabile produttività connessa ad un miglior indice di conversione degli alimenti.

Gli A.A. ne esaminano gli aspetti salienti sottolineando il ruolo che i materiali e le tecniche costruttive hanno sull'efficienza termica dei fabbricati zootecnici.

In due appendici a corredo del testo, si riportano alcune schede tecniche relative alla determinazione del K di elementi costruttivi perimetrali (appendice A) ed un esempio di calcolo dell'isolamento termico per un fabbricato ipotizzato in Sardegna (appendice B).

SUMMARY

The authors have examined the role and the main characteristics of thermal isolation of the materials, very important aspects to insure optimal internal conditions in zootechnic structures.

PREMESSA

Nella realizzazione degli edifici zootecnici i materiali e le tecniche costruttive hanno un'importanza singolare che va ben al di là della considerazione corrente, intesa comunemente in senso limitato e circoscritto. Infatti ad essi si associano solitamente soprattutto il costo e le prestazioni di durata, peculiarità proprie di tutte le costruzioni in genere e non solo zootecniche.

* Professore Associato di Edilizia Zootecnica e Direttore dell'Istituto di Costruzioni Rurali.

** Assistente Ordinario presso il medesimo Istituto.

Ha collaborato il dr. Agostino Pintus.

Negli edifici per la produzione animale invece il ruolo dei materiali deve intendersi molto più ampio ed estendersi anche alle funzioni da svolgere all'interno dei fabbricati, all'organizzazione del lavoro, e soprattutto alle esigenze dei soggetti allevati ai quali vanno riservate le migliori condizioni di ricovero essendo i principali protagonisti delle iniziative zootecniche. In particolare, gli aspetti principali da considerare, perché più degli altri influenzano le produzioni, sono quelli relativi ai materiali ed alle tecniche costruttive riferiti alle chiusure perimetrali ed alle coperture.

Il tema riguarda in specie la qualità ed il tipo di materiali da impiegare nell'«involucro» degli edifici, aspetto finalizzato al conseguimento delle condizioni di ambiente ottimale interno ed intimamente connesso con le produzioni e con il più alto indice di conversione degli alimenti. Ciò interessa anche le tecniche di esecuzione, le capacità coibenti dei materiali, il controllo ambientale, fattori tutti importantissimi che influenzano all'interno dei fabbricati i valori della temperatura e dell'umidità relativa. Ciò premesso, lo studio sviluppa l'argomento corredandolo con due appendici (A e B) nelle quali si espongono un esempio di calcolo di controllo ambientale per un edificio zootecnico ed un insieme di schede relative alle principali caratteristiche di alcuni elementi costruttivi, con l'evidenziazione per ciascuno del relativo coefficiente di trasmissione del calore (K).

Nella prima parte dello studio si esaminano i diversi fattori che caratterizzano l'ambiente edilizio interno con particolare riferimento alle conseguenze di questi sullo stato di salute e sulla produttività animali. La trattazione viene svolta prendendo a riferimento le condizioni generali della Sardegna, con il proposito di esaminare soprattutto la possibilità di impiego di materiali tradizionali e nuovi, e di quant'altro le innovazioni tecnologiche pongono a disposizione degli «addetti ai lavori» del settore delle costruzioni in genere, e di quelle agricole in particolare.

1. I fattori dell'ambiente edilizio

Numerosi studi compiuti negli ultimi anni hanno accertato che i diversi fattori dell'ambiente interno di un fabbricato zootecnico (temperatura, stato igrometrico, velocità e composizione dell'aria, ecc.), influenzano in misura notevole il regolare sviluppo dei soggetti allevati, condizionandone soprattutto la loro produttività (carne, latte, uova), intesa sia quantitativamente che qualitativamente.

1.1. *Temperatura.* È noto che tutte le specie animali oggetto di interesse zootecnico sono omeoterme, tendono cioè a mantenere costante la temperatura corporea al variare di quella ambientale, ricorrendo ad un complesso meccanismo biologico (metabolismo) che schematicamente può essere così riassunto:

a) se la temperatura dell'ambiente è inferiore a quella corporea, l'animale utilizza una maggiore quantità di alimenti (o al limite di riserve energetiche corporee) per

produrre il calore metabolico (calore sensibile) necessario all'omeotermia, con la conseguente riduzione della frazione alimentare destinata alla produzione;

- b) se la temperatura esterna è invece al disopra di quella corporea l'animale reagisce sia diminuendo la quantità di alimenti ingeriti (a scapito quindi della produzione) sia dissipando maggiore energia (calore latente) per il raffreddamento del corpo mediante una più intensa evaporazione attraverso i meccanismi della respirazione e traspirazione.

Si viene così ad individuare un intervallo ottimale di temperatura ambientale, ricadente ovviamente nella fascia di omeotermia, definito «zona del benessere». Esaminando la fig. 1 è infatti possibile rilevare che nell'ambito della zona del benessere si verifica:

- a) la minima produzione di calore totale (sensibile + latente) da parte degli animali;
- b) il minimo consumo di alimenti da parte dei medesimi;
- c) il massimo della produttività zootecnica (riferito ovviamente alla costanza di altri fattori che la possano influenzare);
- d) il massimo indice di conversione degli alimenti, come ovvia conseguenza di a), b) e c).

La «zona del benessere» è, come intuibile, variabile in funzione della specie allevata, della razza, del sesso, età, del livello e dell'indirizzo produttivo e del sistema di confinamento prescelto.

Nella tab. 1 vengono riportati i valori ottimali di temperatura riferiti alle principali specie allevate.

1.2. Umidità dell'aria. È di grande importanza per la produttività e, soprattutto per la salute degli animali.

Un suo eccesso, associato ad elevate temperature, può infatti causare difficoltà di traspirazione (riducendo così l'efficacia dei meccanismi di termoregolazione), malattie polmonari, sviluppo di miceti, e pericoli di condensa sulle superfici più «fredde» del fabbricato.

Viceversa se tale eccesso si dovesse verificare in concomitanza a basse temperature, si determinerebbe una diminuzione del potere coibente delle superfici protettive esterne degli animali (pelo, penne) con conseguente raffreddamento corporeo. Anche un insufficiente tenore di umidità dell'aria può essere dannoso, potendo infatti causare disidratazioni dei tessuti polmonari, estremamente pericolose se nell'ambiente è presente un eccesso di pulviscolo (come ad esempio in porcilaie con alimentazione a base di sfarinati).

1.3. Velocità dell'aria. La sua influenza è notevole se si considerano quali inconvenienti di carattere sanitario possano derivare agli animali allorquando vengano in-

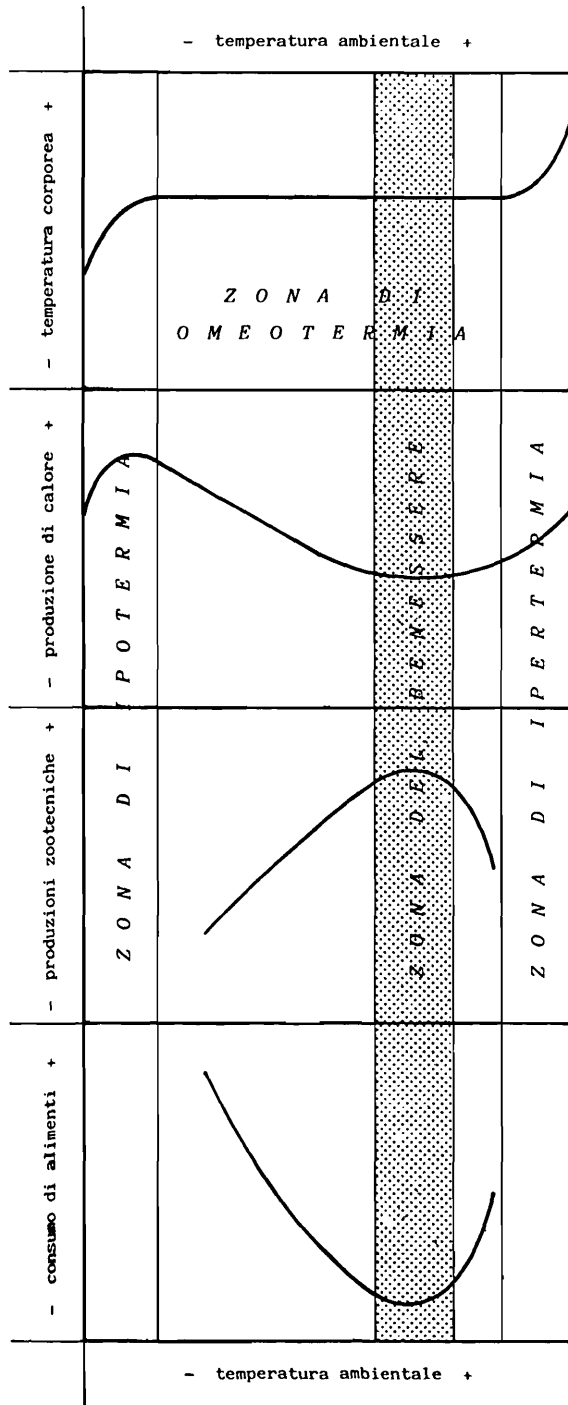


Fig. 1 - Produzioni di calore e consumo di alimenti in funzione delle temperature ambientali.
Heat production and consumption of food in relation to environmental conditions.

Tab. 1 - Valori della conducibilità termica specifica (λ) per alcuni materiali da costruzione
Specific thermal conductivity for some materials used in construction.

Materiali		λ kcal/h m °C
COMUNI	Calcestruzzo comune	1,1
	Calcestruzzo armato	1,3
	Calcestruzzo per pannelli prefabbricati	0,8
	Calcestruzzo con argilla espansa (1200 kg/mc)	0,33
	Calcestruzzo cellulare (800 kg/mc)	0,30
	Blocchetti cavi di cemento e sabbia	0,95
	Blocchetti cavi di cemento con argilla espansa	0,30
	Intonaco di cemento	0,75
	Cemento amianto in lastre	0,40
	Tramezzo di laterizi forati	0,30
	Legname di essenze pesanti (700-800 kg/mc)	0,23
	Legname di essenze semi pesanti (500-700 kg/mc)	0,20
	Ferro	62
	Acciaio	45
Vetro	0,99	
ISOLANTI	Fibre di legno	0,065
	Sughero espanso	0,036
	Fibre minerali con perlite e leganti	0,040
	Polistirolo espanso	0,050
	Lana di vetro o di roccia	0,035

vestiti da una corrente d'aria, soprattutto se a temperatura inferiore a quella corporea. È infatti risaputo che la quantità di calore ceduta da un corpo all'aria circostante per convezione dipende, oltre che dalla temperatura, anche dalla velocità con cui il fluido lambisce il corpo medesimo (fig. 2).

È quindi opportuno che l'aria di ventilazione all'interno dei fabbricati zootecnici non agisca direttamente sugli animali e soprattutto non abbia una velocità superiore a 0,2 — 0,5 m/sec. Detto controllo può essere attuato con un corretto dimensionamento delle aperture di ventilazione. La superficie di queste infatti può determinarsi come segue:

$$(1) \quad Q_v = A \cdot v \cdot 3600$$

dove Q_v (mc/h) è la portata di ventilazione,

A (mq) è la superficie delle aperture di ventilazione,

v (m/sec) è la velocità massima dell'aria.

Poiché la portata di ventilazione è un parametro conosciuto a priori, e la velocità massima dell'aria è analogamente un dato prefissato, è possibile determinare dalla (1) la superficie totale delle aperture di ventilazione:

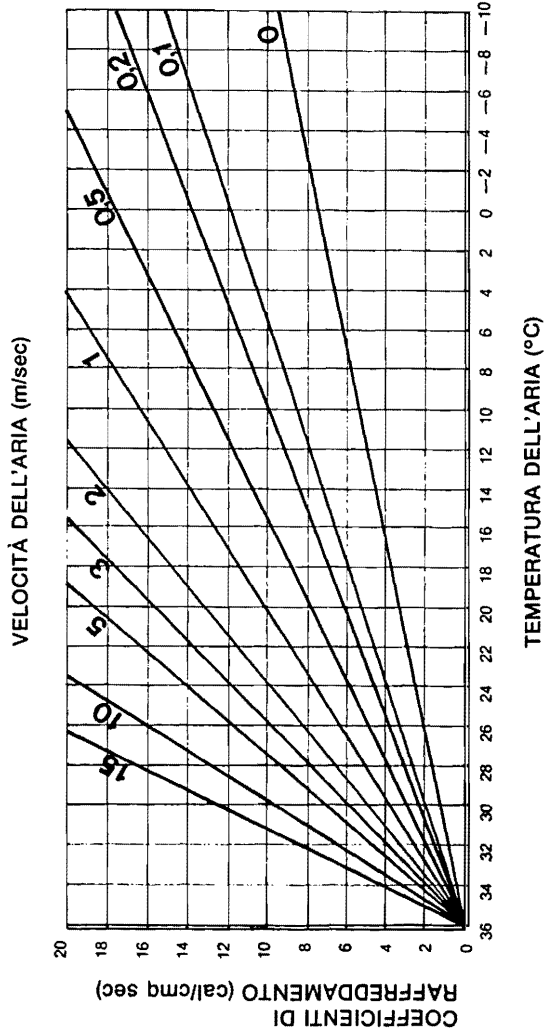


Fig. 2 - Coefficienti di raffreddamento di correnti d'aria per differenti temperature e velocità.
 Coefficients for cooling air currents at different temperatures and speeds.

$$(2) \quad A = Q_v / (v \cdot 3600)$$

1.4. *Composizione dell'aria.* Anche questo è un fattore ambientale di particolare rilevanza tenuto conto che all'interno di un fabbricato zootecnico non adeguatamente ventilato, possono accumularsi oltre i limiti di tolleranza sostanze gassose a carattere inquinante, come quelle connesse al metabolismo animale (anidride carbonica), quelle derivanti dalla fermentazione e decomposizione di sostanze organiche quali alimenti e deiezioni (metano, ammoniaca, anidride solforosa, acido solfidrico, ecc.), e quelle prodotte da motori a combustione interna di mezzi meccanici o impianti (ossido di carbonio, tetraetile di piombo, ecc.).

2. Il bilancio termico dei fabbricati zootecnici

Il livello di temperatura che si viene a determinare nell'ambiente interno di un edificio di allevamento è la risultante di una serie di eventi fisici che si verificano sia all'interno che all'esterno del fabbricato considerato. Questi eventi riguardano essenzialmente le fonti interne di produzione del calore e le cause, nel senso di veicoli, fondamentali di dissipazione. Più precisamente, prendendo a riferimento la stagione invernale, il bilancio termico di un edificio può essere espresso dalla relazione seguente:

$$(3) \quad Q_a + Q_v + Q_d = \Delta Q \text{ (kcal/h)}$$

dove Q_a è il calore sensibile prodotto dagli animali e per convenzione assume valore positivo poiché è una fonte di calore,

Q_v è il calore asportato con la ventilazione ed ha segno negativo,

Q_d è il calore disperso per conduzione dall'edificio, ed ha anch'esso segno negativo.

L'esame del ΔQ (flusso di calore residuo) permette di definire le caratteristiche termiche dell'edificio e la sua rispondenza o meno al mantenimento delle condizioni di ambiente ottimali. Se infatti detto valore risulta positivo si ha che non tutto il calore prodotto dagli animali viene allontanato, e pertanto, nel tempo, il suo accumulo all'interno del fabbricato comporta un innalzamento della temperatura. Viceversa se esso assume valore negativo si è in presenza di una dispersione di calore superiore a quello prodotto con un conseguente raffreddamento dell'aria interna. Come intuibile, la situazione ideale si verifica quando si ha $\Delta Q = 0$ ottenendosi così una costanza della temperatura ambientale.

Per poter impostare in modo corretto la relazione (3), detta anche equazione del bi-

lancio termico, è necessario esaminare con maggiore attenzione i parametri che in essa intervengono e dei quali si è fatto cenno in precedenza.

2.1. *Calore sensibile prodotto dagli animali (Q).* È la quantità di calore che gli animali emettono nell'unità di tempo (generalmente un'ora) per convezione ed irraggiamento (trascurabile la conduzione) nell'aria circostante, come conseguenza del loro metabolismo. L'entità del calore sensibile varia in funzione della specie, del peso, dell'età, ecc. Poiché esso risulta di difficile quantificazione analitica (per la complessità del fenomeno), per i calcoli si fa riferimento a valori medi ottenuti sperimentalmente in camera respiratoria e raccolti in apposite tabelle.

2.2. *Calore asportato con la ventilazione (Q).* Poiché gli animali emettono vapore acqueo (calore latente) è necessario, per i motivi ricordati in precedenza, allontanarne l'eccesso ricorrendo all'introduzione nel ricovero di aria fresca dall'esterno. La quantità di aria da rinnovare nell'unità di tempo a tal fine può essere valutata con la seguente relazione:

$$(4) \quad V = \frac{X_v}{x_i - x_e}$$

dove V (mc/h) è la portata di ventilazione richiesta,

X_v (g/h) è la quantità di vapore emessa dagli animali nell'unità di tempo,

x_i ed x_e (g/mc) sono rispettivamente i contenuti di vapore dell'aria interna ed esterna e possono essere determinati da apposite tabelle o con l'uso di diagrammi del vapore (fig. 3).

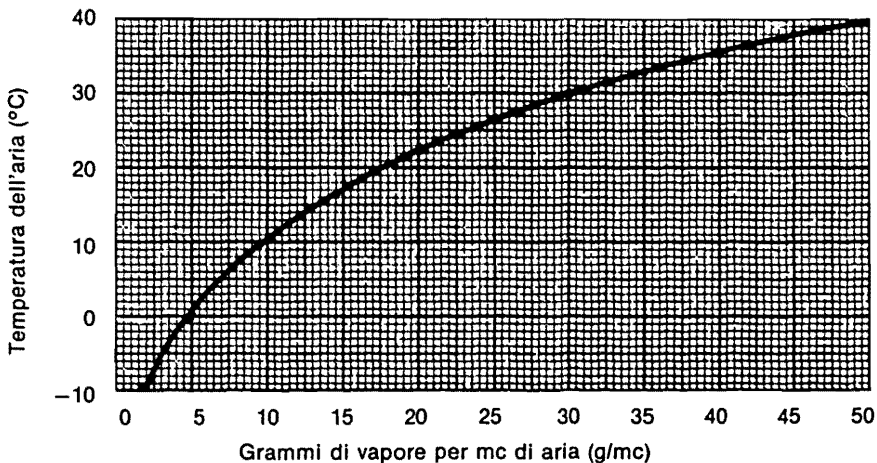


Fig. 3 - Diagramma del vapore saturo in funzione della temperatura.
Diagram of saturated vapour in relation to the temperature.

Poiché l'aria di ventilazione ha una temperatura inferiore a quella interna, essa asporterà una certa quantità di calore così determinabile:

$$(5) \quad Q_v = 0,31 \cdot V \cdot \Delta t$$

dove Q_v (kcal/h) è il parametro cercato,

0,31 (kcal/mc °C) è il calore specifico dell'aria,

V (mc/h) è la portata oraria di ventilazione determinata a priori con la (4),

Δt (°C) è la differenza di temperatura tra aria esterna ed interna.

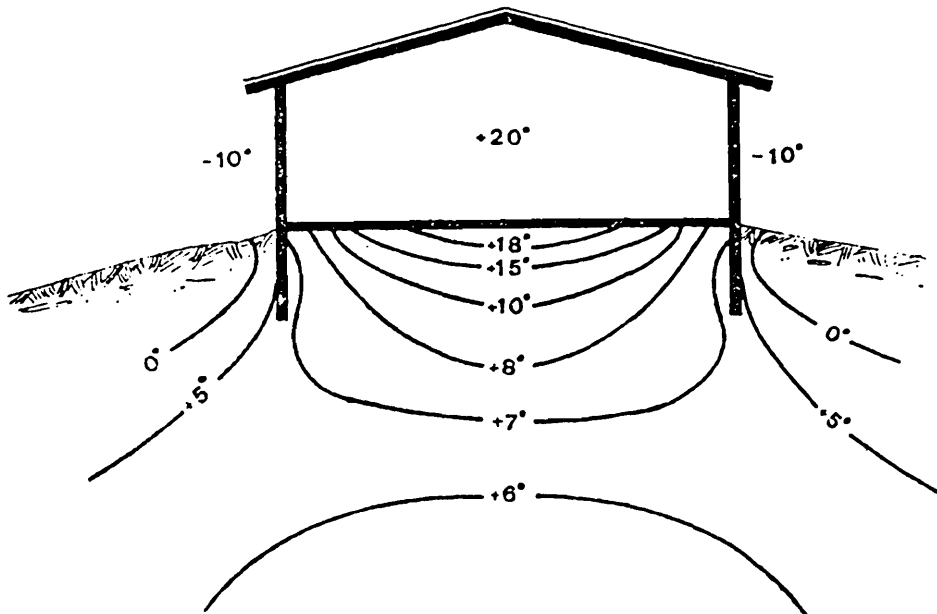


Fig. 4 - Isotherme del terreno sottostante il pavimento di un fabbricato zootecnico.
Isotherms in the ground below the pavement of a zootechnic structure.

2.3. *Calore disperso per conduzione dall'edificio (Q_c).* Il complesso aria esterna — edificio — aria interna può essere assimilato ad un sistema fisico nel quale due fluidi, aventi differenti temperature, siano separati da un elemento solido (parete). In pre-

senza di una differenza di potenziale termico, tra i due gas in questione si viene a determinare un flusso di calore, diretto dal piú caldo al piú freddo, che attraversa la parete.

Tale flusso può essere determinato come segue:

$$(6) \quad Q_d = K \cdot S \cdot \Delta t \text{ (kcal/h)}$$

dove K (kcal/h mq °C) è il coefficiente di trasmissione del calore della parete,

S (mq) è la superficie della parete interessata dal flusso normale ad essa,

Δt rappresenta la differenza di potenziale termico tra i due fluidi.

Una particolare attenzione merita l'esame del K in quanto esso varia in funzione delle caratteristiche fisico-chimiche e geometriche della parete. Da un punto di vista prettamente analitico esso può considerarsi come l'inverso della somma di tutte le resistenze termiche che si oppongono al flusso di calore, secondo la relazione:

$$(7) \quad K = \frac{1}{1/h_i + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \dots + s_n/\lambda_n + 1/h_e}$$

I coefficienti h_i ed h_e sono rispettivamente detti coefficienti di ammissione ed emissione del calore; i loro inversi $1/h_i$ ed $1/h_e$ rappresentano pertanto le resistenze termiche di ammissione ed emissione, ossia quelle che si verificano nello strato d'aria direttamente a contatto con la faccia interna ed esterna del mezzo solido separante i due fluidi.

I valori di s indicano gli spessori dei vari strati che costituiscono la parete ed i valori di λ rappresentano i corrispondenti coefficienti di conducibilità termica specifica; i rapporti s/λ non sono perciò altro che le resistenze termiche riferite a ciascuno degli strati suddetti.

Ogni materiale da costruzione, supposto per quanto possibile omogeneo, è perciò caratterizzato da uno specifico valore di λ ; questo, è bene precisare, va però riferito

¹ Per tenere conto dell'influenza della temperatura e del tasso di umidità nella pratica si fa riferimento alla conducibilità termica «utile», cioè quella che si riscontra nei materiali nelle reali condizioni di impiego. Ad esempio i tassi di umidità utile per alcuni materiali sono:

— mattoni pieni	0,5%
— mattoni vuoti e blocchi forati	1%
— calcestruzzo	2 + 5%
— giunti in malta	4%
— intonaci	3%

Detti valori sono ottenuti per essiccazione fino a massa costante in stufa a 70°C e ventilata con aria presa a 20°C e col 65% di umidità relativa.

a condizioni medie nel senso che esso va soggetto ad oscillazioni più o meno ampie a seconda della temperatura, del peso specifico, dello stato igrometrico del materiale medesimo'.

Riprendendo in esame il rapporto s/λ si può quindi dedurre che, a parità di spessore, a valori elevati di λ corrisponde una bassa resistenza termica e, viceversa, per piccoli valori si ha una resistenza elevata. I materiali con queste ultime caratteristiche essendo quindi dotati di elevata capacità di opporsi alla conduzione del calore, vengono definiti «isolanti».

Nella tab. 1 vengono riportati per i più comuni materiali da costruzione i valori dei coefficienti di conducibilità termica, distinguendoli proprio in funzione del λ in «comuni» ed «isolanti».

Dalle considerazioni fin qui fatte si rileva che la relazione (6) è schematica. Se si dovesse infatti operare in concreto su di un edificio essa dovrebbe assumere la seguente forma:

$$(8) \quad Q_d = \Delta t \cdot \sum_{m=1}^{m=n} K_m \cdot S_m$$

Questo poiché un fabbricato è caratterizzato non da un'unica superficie disperdente ma da tutta una serie di superfici differenziate tra loro per la diversa qualità dei materiali che le compongono e pertanto oltre che da differenti valori di superficie (S) anche da differenti capacità di opporsi al flusso di calore e quindi da differenti valori di K.

Un caso particolare di superficie disperdente si verifica nelle pavimentazione poggianti sul terreno e quindi a diretto contatto con esso; dall'esame della fig. 4 è possibile infatti rilevare come la parte centrale del pavimento sia a temperatura piuttosto modesta, mentre la fascia perimetrale viene fortemente influenzata dalla temperatura esterna.

Ai fini del calcolo, poiché non è corretto considerare tutta la superficie del pavimento, occorre prenderne in esame solo una fascia lunga quanto il perimetro e larga un metro. La formula relativa da impiegarsi è pertanto la seguente:

$$(9) \quad Q_p (\text{pavimento}) = K \cdot 2p \cdot 1 \cdot \Delta t$$

Nell'appendice A vengono riportati, sotto forma di schede, i valori dei coefficienti K per i più comuni tipi di superfici disperdenti riscontrabili nei fabbricati zootecnici. Dei parametri che intervengono nella relazione (8), una volta determinati i valori di K e le superfici S, rimane ancora da valutare il Δt .

Esso rappresenta, come detto, la differenza di temperatura tra ambiente interno (t_i) ed ambiente esterno (t_e).

Se la prima è un dato conosciuto a priori in funzione della zona del benessere relativa alla specie animale allevata (e differenziata per razza, peso-età, ecc.), la determinazione della temperatura esterna invece è più complessa. Essa è infatti un dato soggetto ad oscillazioni più o meno ampie e comunque ragguardevoli nell'arco stagionale, mensile e giornaliero. Questa difficoltà può essere superata facendo riferimento, ai fini del calcolo, ad un valore esprimibile come media delle minime giornaliere del mese più freddo (generalmente gennaio). Poiché tale valore, come intuibile, varia a seconda della zona in cui si opera, tutto il territorio nazionale è stato diviso in 5 zone climatiche (fig. 5), omogenee ai fini di cui sopra, per ciascuna delle quali sono state determinate statisticamente la temperatura minima e l'umidità relativa massima per il periodo invernale.

Per quanto riguarda la Sardegna è possibile osservare come essa sia interessata da due zone climatiche e più precisamente la 3^a (nucleo montagnoso interno) e la 4^a (fascia costiera).

3. L'isolamento termico dei fabbricati zootecnici

Un buon isolamento termico è, come detto, necessario nella maggior parte dei ricoveri per ottenere condizioni ambientali almeno prossime a quelle di massima resa. Il grado di isolamento che occorre realizzare varia con il tipo di allevamento (specie animale, numero di capi ricoverati, ecc.) e con le condizioni climatiche della zona; esso può essere espresso come media ponderale (K medio) dei coefficienti di trasmissione del calore (K) relativi alle distinte superfici disperdenti (S) dell'edificio:

$$(10) \quad K \text{ medio} = \frac{\sum_{m=1}^{m=n} K_m \cdot S_m}{\sum_{m=1}^{m=n} S_m}$$

Se per un fabbricato già realizzato il valore del K medio può essere determinato con l'applicazione di detta formula (calcolo di verifica), in fase di progettazione, ove la sua individuazione occorra per la scelta dei materiali, esso può essere ricercato tramite la seguente relazione (calcolo di progetto):

$$(11) \quad K \text{ medio} = 1/S_c (q_s/\Delta t - 0,31 \cdot V_c) \quad (\text{kcal/h mq } ^\circ\text{C})$$

dove S_c (mq) è la superficie disperdente riferita ad un singolo capo, determinabile come rapporto tra la superficie disperdente totale ed il numero di capi presenti,

- q_s (Kcal/h) è il calore sensibile prodotto in un'ora da un capo,
 Δt (°C) è la differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno,
 V_e (mc/h) rappresenta il volume di aria rinnovato in un'ora con la ventilazione, riferito ad un capo.

Nella tab. 2 vengono riportati i valori del K medio, calcolati con la relazione (11), riferiti a diverse specie allevate, alle due zone climatiche della Sardegna, ed a differenti valori di superficie disperdente per capo.

Il valore del K medio, è bene precisarlo, è solo un dato orientativo utile al progettista per individuare le qualità termiche di massima che deve possedere il fabbricato e questo poiché le varie superfici disperdenti assumono differente «peso» sulla dispersione globale in relazione alle diverse differenti caratteristiche quali-quantitative che esse possiedono.

Il caso tipico è quello della copertura dei fabbricati zootecnici, alla quale, con un'incidenza variabile dal 55 al 65% della superficie disperdente globale, è da imputarsi (se non opportunamente coibentata) l'80 - 90% del flusso di calore totale disperso. È quindi consigliabile, da un punto di vista pratico, assegnare alla copertura, in sede di progettazione di massima, un valore preliminare di K pari a 0,5 - 0,6 volte la seguente quantità

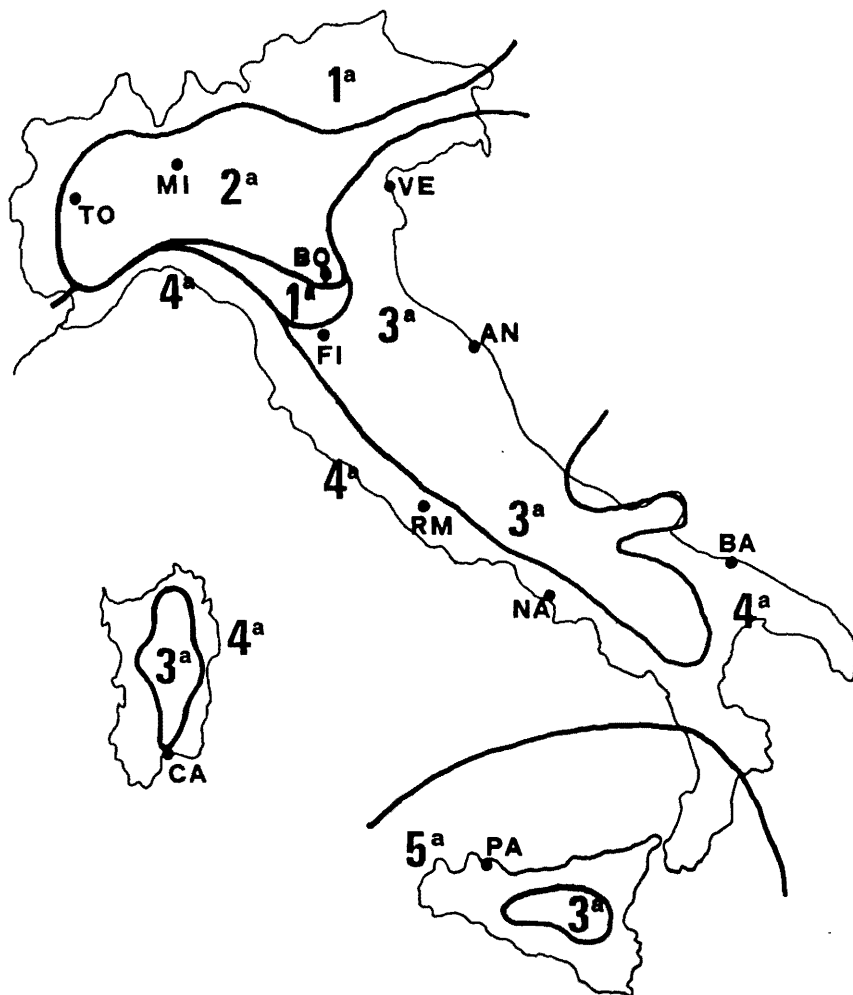
$$K \text{ medio } \frac{S \text{ totale}}{S \text{ copertura}}$$

scegliendo pertanto per essa materiali e configurazione costruttiva idonei; il successivo calcolo di verifica del bilancio termico renderà così necessarie solo modificazioni di aggiustamento di lieve entità.

A conclusione delle considerazioni fin qui esposte, si riporta nell'Appendice B un esempio di calcolo dell'isolamento termico per un edificio zootecnico, con la metodologia correntemente seguita nella pratica progettuale.

CONCLUSIONI

Gli argomenti trattati consentono alcune brevi considerazioni finali. In sintonia con quanto ci si proponeva in premessa, si può confermare che la qualità ed il tipo dei materiali hanno un'importanza rilevante nelle costruzioni zootecniche, ruolo che non è limitato al solo momento della realizzazione ed ai costi strettamente connessi con



ZONA CLIMATICA	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
TEMPERATURA MINIMA (°C)	-6	-2	+2	+6	+8
UMIDITÀ RELATIVA (%)	90	90	85	80	80

Fig. 5 - Zone climatiche italiane e corrispondenti valori delle condizioni termoigrometriche.

Tab. 2 - Valori del K medio di fabbricati zootecnici riferiti a differenti specie allevate, alle due zone climatiche della Sardegna, e a differenti valori di superficie disperdente per capo
 Values of average K for zootechnic structures for the different breeds raised, pertinent to the two climatic zones in Sardinia and to the different values of ground surface dispersion per head

Specie allevata	Calore e vapore prodotti da un capo		Condizioni ambientali interne			Condizioni ambientali esterne						Differenze			Termoigrometriche		Ventilazione		Coefficiente di trasm. medio	
	q_a kcal/h	X_a g/h	t_i °C	UR_i %	x_i g/mc	t_e °C	UR_e %	3ª zona		4ª zona		Δt °C	Δx g/mc	V_c mc/h	S_e mq	K medio kcal/h mq °C	K medio kcal/h mq °C	V_c mc/h	S_e mq	K medio kcal/h mq °C
								x_e g/mc	x_o g/mc	t_o °C	UR_o %									
Bovini all'ingrasso (2ª fase)	500	250	15	70	8,98	2	85	4,73				13	4,25	60	4	5,0			4	5,0
Peso iniz. 250 kg															5	4,0			5	4,0
Peso finale 550 kg															6	3,3			6	3,3
Peso medio 400 kg															4	7,7			4	7,7
Suini all'ingrasso (2ª fase)	150	60	18	75	11,53	2	85	4,73			6	80	5,81	80	5	6,2			5	6,2
Peso iniz. 25 kg															6	5,1			6	5,1
Peso finale 95 kg															3	2,2			3	2,2
Peso medio 60 kg															5	1,3			5	1,3
Agnelli all'ingrasso (2ª fase)	50	15	15	70	8,98	2	85	4,73			6	80	5,81	10	4	2,4			4	2,4
Peso iniz. 10 kg															5	1,9			5	1,9
Peso finale 30 kg															1	2,6			1	2,6
Peso medio 20 kg															2	1,3			2	1,3
															3	0,9			3	0,9
															1	4,0			1	4,0
															2	2,0			2	2,0
															3	1,3			3	1,3

questa. Può anche affermarsi che la fase di costruzione è solamente temporanea e transitoria, se non secondaria rispetto alle prestazioni che i materiali sono chiamati a fornire successivamente durante la vita dell'allevamento.

Le prestazioni di isolamento termico dei materiali sono infatti determinanti per assicurare condizioni ambientali interne prossime alla zona del benessere, ed essenziali per un'accettabile produttività connessa ad un migliore indice di conversione degli alimenti.

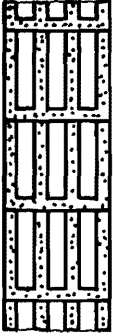
BIBLIOGRAFIA

- 1) CHIAPPINI U.: «I materiali e le tecniche costruttive nel controllo ambientale di edifici zootecnici». *Annali della Facoltà di Agraria della Università Cattolica del S. Cuore*. Anno VIII (1968). Fasc. III.
- 2) ECKERT E.R.G., DRAKE JR. M.: «Analysis of heat and mass transfer» - McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo, 1972.
- 3) KREIT F.: «Principles of heat transfer». Third Edition. Intext Educational Publisher. New York, 1973.
- 4) DE MONTIS S.: «I vantaggi dei ricoveri per le pecore sarde da latte». *Genio Rurale*, n° 7-8, 1976.
- 5) DE MONTIS S.: «Osservazioni sugli effetti prodotti da differenti condizioni di ricovero sull'allevamento ovino da ingrasso». *Atti del Seminario dei docenti di Costruzioni Agricole*. Reggio Emilia, 1976.
- 6) «Energy conservation in the built environment». *Proceeding of the 1976 Symposium of the International Council for building research studies and documentation (CIB) held at the British building research establishment*.
- 7) DE MONTIS S.: «Aspetti funzionali, costruttivi ed economici nella progettazione dei fabbricati per l'allevamento ovino». *Corso di aggiornamento di Edilizia Zootecnica*. Reggio Emilia, 1979.
- 8) DE MONTIS S.: «Problematiche, sperimentazioni e prospettive dell'allevamento ovino da carne in Sardegna». *Atti del III Convegno Nazionale A.I.G.R.* Catania, 1979.
- 9) DE MONTIS S.: «Moduli e tipologie edilizie per l'allevamento ovino da carne». *Atti del III Convegno Nazionale A.I.G.R.*, Catania, 1979.
- 10) «Isolamento termico. Guida pratica per la legge n. 373». A cura del Servizio Tecnologico dell'ANCE. Roma, 1979.
- 11) «Building Design for Energy Economy» The One Agrep Partnership. London, 1980.
- 12) PISANU M.: «Considerazioni su aspetti funzionali e tecnologie costruttive dei ricoveri per ovini in Sardegna». *Studi Saresesi, Annali della Facoltà di Agraria*, vol. XXVIII 1980/81.
- 13) DE MONTIS S., PRATELLI G.: «Performances from conventional and new building materials and components for sheep housing in Sardinia». C.I.G.R. Section, II Seminar, Aberdeen, 1981.
- 14) DE MONTIS S., PISANU M.: «Tipologie edilizie e tecniche costruttive dei ricoveri ovini». *Il Vergaro*, n. 3, marzo 1982.
- 15) DE MONTIS S.: «I ricoveri per l'allevamento ovino». *Genio Rurale*, n. 5, maggio 1982.
- 16) PISANU M.: «Isolamento termico degli edifici per agnelli da ingrasso in Sardegna. Calcolo-Materiali-Tecniche costruttive». *Studi Saresesi, Annali della Facoltà di Agraria di Sassari*, vol. XXX 1983.

APPENDICE A

Schede per la determinazione del coefficiente di trasmissione del calore K (kcal/h mq °C) per alcuni comuni elementi costruttivi di edifici zootecnici.

1



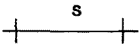
Parete costituita da blocchi in calcestruzzo vibrato ungranulare a cavità multiple, senza intonacatura.

$$\lambda = 0,95 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

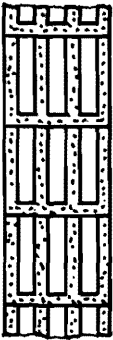
per $s = 0,20 \text{ m}$ $K = 2,48 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

per $s = 0,25 \text{ m}$ $K = 2,19 \text{ »}$

per $s = 0,30 \text{ m}$ $K = 1,97 \text{ »}$



2



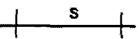
Parete costituita da blocchi in calcestruzzo leggero di argilla espansa a cavità multiple, senza intonacatura.

$$\lambda = 0,30 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

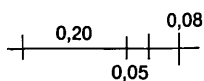
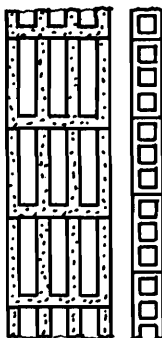
per $s = 0,20 \text{ m}$ $K = 1,16 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

per $s = 0,25 \text{ m}$ $K = 0,97 \text{ »}$

per $s = 0,30 \text{ m}$ $K = 0,84 \text{ »}$



3



Parete multistrato costituita da uno strato esterno in blocchi di calcestruzzo vibrato unigranulare a cavità multiple, da uno strato interno in laterizi forati, con interposta camera d'aria non ventilata, senza alcuna intonacatura.

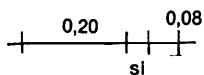
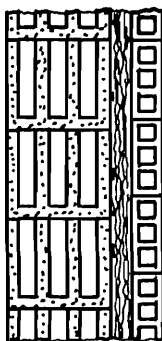
$$\lambda \text{ blocchetti} = 0,95 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda \text{ laterizi} = 0,30 \text{ "}$$

$$1/R \text{ camera d'aria} = 5,55 \text{ "}$$

$$K = 1,18 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

4



Parete multistrato costituita da uno strato esterno in blocchi di calcestruzzo vibrato unigranulare a cavità multiple, da uno strato interno in laterizi forati, con interposto materassino di lana di vetro, senza alcuna intonacatura.

$$\lambda \text{ blocchetti} = 0,95 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda \text{ laterizi} = 0,30 \text{ "}$$

$$\lambda \text{ lana di vetro} = 0,035 \text{ "}$$

$$\text{per si} = 0,02 \text{ m} \quad K = 0,81 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

$$\text{per si} = 0,03 \text{ m} \quad K = 0,65 \text{ "}$$

$$\text{per si} = 0,05 \text{ m} \quad K = 0,48 \text{ "}$$

5



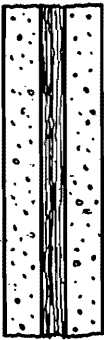
0,08

Parete semplice costituita da pannelli prefabbricati di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa ($\gamma = 1200 \text{ kg/mc}$).

$$\lambda = 0,33 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$K = 2,30 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

6

0,08 0,08
0,06

Parete sandwich costituita da pannelli prefabbricati di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa ($\gamma = 1200 \text{ kg/mc}$), con interposto materassino isolante di lana di vetro.

$$\lambda \text{ pannelli} = 0,33 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda \text{ lana di vetro} = 0,035 \text{ »}$$

$$K = 0,42 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

7



Copertura in lastre ondulate di cemento amianto.

$$s = 0,0065 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,4 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$z = 1,2 \text{ (rapporto tra la superficie sviluppata e la superficie di proiezione)}$$

$$K = 5,5 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

8



Copertura in lastre ondulate di cemento amianto e sottostante strato isolante in lastre di polistirolo espanso, con interposta camera d'aria.

$$\lambda \text{ cem. amianto} = 0,4 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda \text{ polistirolo} = 0,05 \text{ "}$$

$$1/R \text{ camera d'aria} = 5,55 \text{ "}$$

$$sp = \text{spessore lastra di polistirolo}$$

$$\text{per } sp = 0,01 \text{ m} \quad K = 1,71 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

$$\text{per } sp = 0,02 \text{ m} \quad K = 1,27 \text{ "}$$

$$\text{per } sp = 0,05 \text{ m} \quad K = 0,72 \text{ "}$$

9



Copertura in tegoloni autoportanti di cemento amianto.

$$s = 0,008 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,4 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$z = 1,20$$

$$K = 5,4 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

10



Copertura in tegoloni autoportanti di cemento amianto con sottostante strato isolante in lastre di polistirolo espanso.

$$\lambda \text{ cem. amianto} = 0,4 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda \text{ polistirolo} = 0,05 \text{ "}$$

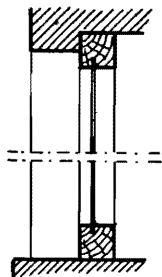
sp = spessore lastra di polistirolo

$$\text{per } sp = 0,01 \text{ m} \quad K = 2,02 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

$$\text{per } sp = 0,02 \text{ m} \quad K = 1,44 \text{ "}$$

$$\text{per } sp = 0,05 \text{ m} \quad K = 0,77 \text{ "}$$

11



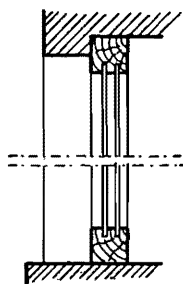
Finestra in legno con vetro semplice.

s	legno (val. medio)	= 0,05	m
s	vetro	= 0,0025	
λ	legno	= 0,2	kcal/h m °C
λ	vetro	= 0,99	»

z = incidenza percentuale della superficie del legno sulla superficie totale del serramento.

per z = 10%	K = 4,71	kcal/h mq °C
per z = 20%	K = 4,44	»
per z = 30%	K = 4,16	»

12



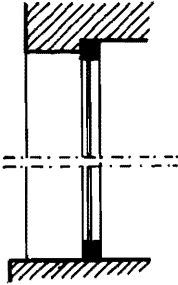
Finestra in legno con doppio vetro.

s	legno (val. medio)	= 0,05	m
s	vetro	= 0,0025	
s	cam. d'aria	= 0,006	
λ	legno	= 0,2	kcal/h m °C
λ	vetro	= 0,99	»
1/R	cam. d'aria	= 8,33	»

z = incidenza percentuale della superficie del legno sulla superficie totale del serramento.

per z = 10%	K = 3,01	kcal/h mq °C
per z = 20%	K = 2,93	»
per z = 30%	K = 2,84	»

13

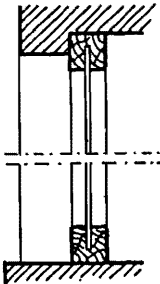


Finestra in metallo con vetro semplice.

$s = \text{metallo (val. medio)} = 0,025 \text{ m}$
 $s = \text{vetro} = 0,0025$
 $\lambda = \text{metallo} = 62 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$
 $\lambda = \text{vetro} = 0,99 \text{ »}$
 $z = \text{incidenza percentuale della superficie metallica sulla superficie totale del serramento.}$

per $z = 5\%$ $K = 4,99 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$
 per $z = 10\%$ $K = 5,00 \text{ »}$
 per $z = 15\%$ $K = 5,00 \text{ »}$

14



Finestra costituita da lastra traslucida di metacrilato su telaio in legno.

$s = \text{legno (val. medio)} = 0,03 \text{ m}$
 $s = \text{metacrilato} = 0,003$
 $\lambda = \text{legno} = 0,2 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$
 $\lambda = \text{metacrilato} = 0,2 \text{ »}$
 $z = 10\%$

$K = 4,43 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

15



Porta in legno di essenza resinosa leggera.

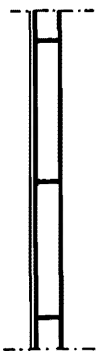
$$s = 0,035 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,2 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$K^* = 3,00 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

* Il valore di K risultante dai calcoli è pari a 2,87 che viene però incrementato del 5% per tener conto delle discontinuità costruttive dell'infilso.

16



Porta in scatolato di lamiera metallica.

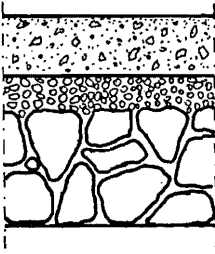
$$s = 0,001 \text{ m}$$

$$\lambda = 60 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$$

$$K^* = 5,00 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

* Nel calcolo si è tenuto conto della maggior superficie dovuta alle costolature della lamiera, e dei numerosi ponti termici che caratterizzano la struttura.

17



Pavimentazione di tipo continuo, poggiate su sottofondo in pietra-
me disposto direttamente sul terreno, e costituita:

— da calcestruzzo ordinario:

$$K = 1,2 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

— da calcestruzzo a base di inerti leggeri:

$$K = 1,0 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

— da calcestruzzo cellulare su sottofondo di inerti leggeri o strato
isolante equivalente:

$$K = 0,8 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

APPENDICE B

Esempio di calcolo dell'isolamento termico per un fabbricato zootecnico.

1. Dati preliminari

1.1. Animali

- Specie: ovina
- Indirizzo produttivo: agnelli all'ingrasso 2^a fase
- Peso medio: 20 Kg
- Numero di capi allevati (N): $N = 500$
- Produz. oraria di calore per capo (q_s): $q_s = 50 \text{ kcal/h}$
- Produz. oraria di vapore per capo (X_s): $C_s = 15 \text{ g/h}$

1.2. Edificio (Fig. 6)

Di tipo chiuso, con recinti di gruppo disposti su doppia fila, con corsia centrale di alimentazione e corsie laterali di servizio.

1.3. Ambiente interno

- Temperatura ottimale: $t_i = 15^\circ\text{C}$
- Umidità relativa ottimale: $UR_i = 70\%$
- Umidità assoluta ottimale: $x_i = 8,98 \text{ g/mc}$

1.4. Ambiente esterno

- Zona climatica di ubicazione edificio: 3^a
- Temperatura minima: $t_e = 2^\circ\text{C}$
- Umidità relativa massima: $UR_e = 85\%$
- Umidità assoluta massima: $x_e = 4,73 \text{ g/mc}$

1.5. Differenze termolgrometriche tra ambiente interno ed esterno

- Differenza di temperatura: $\Delta_t = 13^\circ\text{C}$
- Differenza di umidità assoluta: $\Delta_x = 4,25 \text{ g/mc}$

2. Bilancio termico dell'edificio

2.1. Calore sensibile globale

$$Q_s = q_s \cdot N = 50 \cdot 500 = 25.000 \text{ kcal/h}$$

2.2. Portata di ventilazione

2.2.1. Portata totale di ventilazione

$$V = \frac{X_s \cdot N}{\Delta_x} = \frac{15 \cdot 500}{4,25} = 1765 \text{ mc/h}$$

2.2.2. Portata di ventilazione per capo

$$V_c = V/N = 1765 / 500 = 3,53 \text{ mc/h}$$

2.3. Calore asportato con la ventilazione

$$Q_v = 0,31 \cdot V \cdot \Delta_t = 0,31 \cdot 1765 \cdot 13 = 7133 \text{ kcal/h}$$

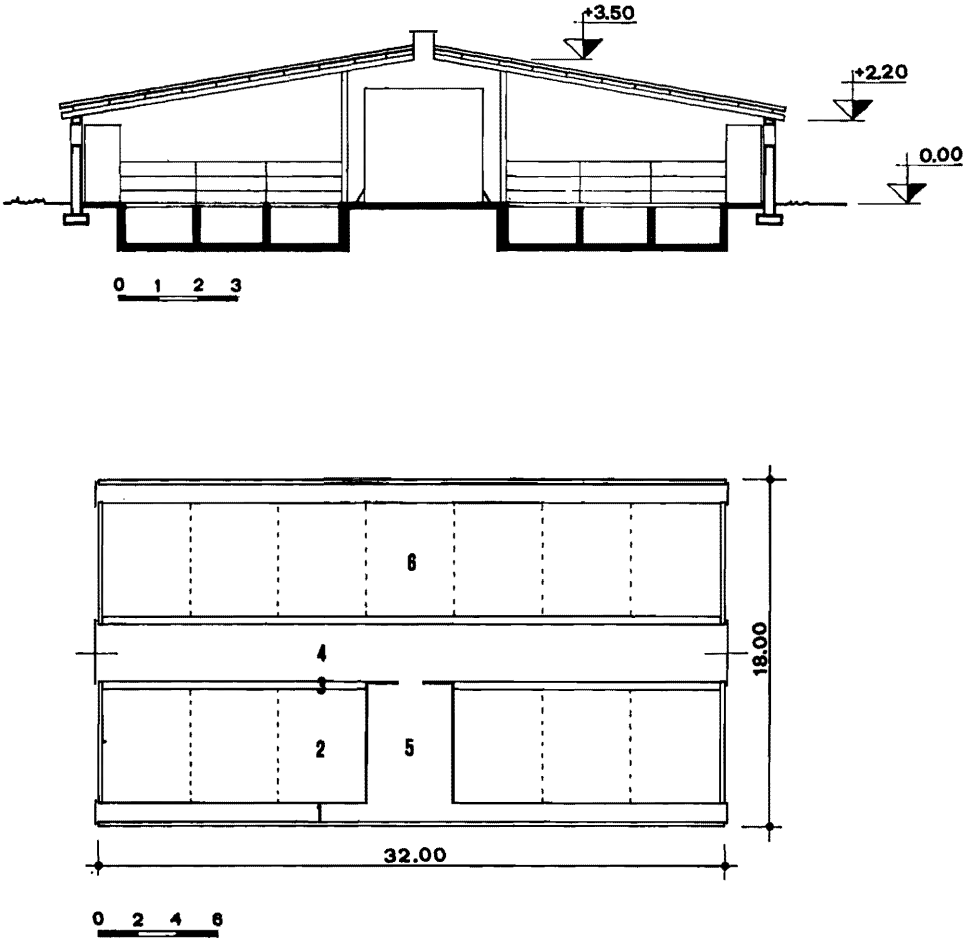


Fig. 6 - Edificio per 500 agnelli di tipo chiuso:
 1. Corsia di sorveglianza e di passaggio degli ovini, 2. recinto di confinamento, 3. mangiatoia, 4. corsia di alimentazione, 5. area di servizio, 6. recinto di isolamento.

2.4. Computo delle superfici disperdenti dell'edificio

Tipo di sup.	lungh. m	largh. m	altez. m	sup. unit. mq	num.	sup. parz. mq	sup. tot. mq	%
Pavimento	32,00	1,00		32,00	2	64,00	100	11,0
	18,00	1,00		18,00	2	36,00		
Finestre	2,38		0,90	2,14	14	30,00	30	3,3
Porte		3,20	3,20	10,24	2	20,48	26	2,9
		0,80	2,00	1,60	4	5,40		
Tamp. esterni	32,00		2,20	70,40	2	140,80	170	18,7
	18,00		2,35	42,30	2	84,60		
a detrarre porte e finestre						-58,00		
Copertura	32,00	9,10		291,20	2	582,40	583	64,1
Totale superficie disperdente							909	100,0

— Superficie disperdente globale: $S = 909 \text{ mq}$
 — Superficie disperdente per capo: $S_c = S / N = 909/500 = 1,82 \text{ mq}$

2.5. Determinazione del K medio

$$K \text{ medio} = \frac{1}{S_c} \left(\frac{Q_s}{\Delta_i} - 0,31 \cdot V_c \right) = \frac{1}{1,82} \left(\frac{50}{13} - 0,31 \cdot 3,53 \right)$$

$$K \text{ medio} = 1,51 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

2.6. Determinazione del K delle varie superfici disperdenti (cfr. App. A)

2.6.1. Pavimento:

non coibentato $K = 1,2 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

2.6.2. Finestre:

In metallo con vetro semplice $K = 5,0 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

2.6.3. Porte:

In legno $K = 3,0 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

2.6.4. Tamponamenti esterni:

In blocchi di calcestruzzo vibrato unigranulare a cavità multiple, spessore 0,25 m $K = 2,19 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$

2.6.5. Copertura:

In prima approssimazione si determina il valore di K in relazione al K medio dell'edificio.

$$K = 0,5 \cdot K \text{ medio} \frac{S_{\text{totale}}}{S_{\text{copertura}}} = 0,5 \cdot 1,51 \frac{909}{583}$$

$$K = 1,18 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$$

Supponendo la copertura costituita da lastre ondulate di cemento amianto con sottostante strato isolante in lastre di polistirolo espanso, si determina lo spessore di queste con la seguente relazione:

$$1/K_{\text{copertura}} = 1/h_f + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + 1/(h_s \cdot z)$$

dove:

- $K_{\text{copertura}}$ è il coefficiente di trasmissione del calore relativo alla copertura determinato in precedenza:
 $K_{\text{copertura}} = 1,18 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$
- h_i è il coefficiente di adduzione interna:
 $h_i = 7 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$
- s_1 è lo spessore incognito delle lastre di polistirolo
- λ_1 è il coefficiente di conducibilità termica per detto materiale:
 $\lambda_1 = 0,05 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$
- s_2 è lo spessore delle lastre di cemento amianto:
 $s_2 = 0,006 \text{ m}$
- λ_2 è il corrispondente valore del coefficiente di conducibilità termica:
 $\lambda_2 = 0,4 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$
- h_e è il coefficiente di adduzione esterna:
 $h_e = 18 \text{ kcal/h mq } ^\circ\text{C}$
- z è il rapporto tra lo sviluppo della superficie ondulata delle lastre di cemento amianto e la sua proiezione orizzontale:
 $z = 1,20$

Sostituendo nella relazione precedente i termini noti rimane come unica incognita il termine s_1 che può essere così ricavato:

$$s_1 = 0,032 \text{ m}$$

2.7. Determinazione del flusso di calore totale disperso dall'edificio

$$Q_d = \sum_{m=1}^{m=n} K_m \cdot S_m \cdot \Delta_t$$

Tipo di superficie disperdente	K kcal/h mq $^\circ\text{C}$	S mq	Δ_t $^\circ\text{C}$	Calore disperso kcal/h	%
Pavimento	1,20	100	13	1.560	8,5
Finestre	5,00	30	13	1.950	10,7
Porte	3,00	26	13	1.014	5,5
Tamp. esterni	2,19	170	13	4.840	26,4
Copertura	1,18	583	13	8.943	48,9
				Totale	100,0
				18.307	

$$Q_d = 18.307 \text{ kcal/h}$$

2.8. Determinazione del flusso di calore residuo

$$\Delta_o = Q_s - Q_v - Q_d = 25.000 - 7.113 - 18.307$$

$$\Delta_o = - 420 \text{ kcal/h}$$

3. Brevi osservazioni

L'esame del flusso di calore residuo determinato in precedenza mette in evidenza un lieve eccesso di calore disperso (420 kcal/h) nei confronti di quello prodotto. È sufficiente tuttavia incrementare leggermente la resistenza termica della copertura per riequilibrare il sistema. Questo aggiustamento può essere attuato portando lo spessore delle lastre di polistirolo espanso da 0,032 m a 0,035 m, spessore quest'ultimo oltretutto più commerciale.