



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in **INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE**

**SISTEMI AVANZATI PER LA VENTILAZIONE DI ALLEVAMENTI  
INTENSIVI**

**INNOVATIVE VENTILATION SYSTEMS FOR INTENSIVE  
BREEDING SITES**

Relatore: Chiar.mo/a  
**Prof. Giorgio Passerini**

Tesi di Laurea di:  
**Rodolfo Pellegrini**

**A.A. 2020 / 2021**

## Sommario

<b>Capitolo 1</b> .....	3
<b>1.1 Origine degli allevamenti intensivi</b> .....	4
<b>1.2 Allevamenti intensivi in Italia</b> .....	5
<b>1.3 Impatto ambientale e rischi</b> .....	6
<b>Capitolo 2</b> .....	10
<b>Capitolo 3</b> .....	20
<b>3.1 La ventilazione naturale</b> .....	21
<b>3.1.1 Tasso di ricambio dell'aria</b> .....	23
<b>3.1.2 L'effetto camino</b> .....	24
<b>3.1.3 Dimensionamento aperture ventilazione naturale</b> .....	30
<b>3.2 La ventilazione artificiale</b> .....	31
<b>3.2.1 Impianti automatici o meccanici</b> .....	31
<b>3.3 L'efficienza di ventilazione</b> .....	33
<b>3.4 I sistemi di ventilazione artificiale</b> .....	34
<b>3.4.1 Il raffrescamento evaporativo</b> .....	34
<b>3.4.2 Il raffrescamento dell'aria mediante tubi interrati</b> .....	38
<b>3.4.3 Il condizionamento totale o parziale</b> .....	40
<b>3.5 Progettazione della struttura</b> .....	41
<b>Capitolo 4</b> .....	50
<b>Bibliografia</b> .....	51

## Capitolo 1

Lo studio è orientato al fine di garantire alti standard di benessere agli animali negli allevamenti intensivi. L'allevamento intensivo è un tipo di industria zootecnica volta alla crescita e alla riproduzione di alcune specie animali destinate al consumo alimentare della popolazione globale; questo tipo di attività è conosciuto anche con l'acronimo CAFO, ovvero "concentrated animal feeding operation" e rappresenta l'evoluzione del tradizionale sistema di allevamento a livello industriale.

Solitamente gli allevamenti intensivi sono strutture finalizzate ad avere come primo obiettivo la produzione a ritmi "industriali" di prodotti animali puntando quindi al profitto facendo passare in secondo piano il benessere degli animali allevati che molto spesso sono costretti a vivere in spazi sovraffollati, in luoghi angusti, sporchi e spogli e con la sola luce artificiale che non offrono alcuna possibilità di mettere in atto comportamenti naturali.

Le ragioni di tanto successo quindi sono essenzialmente economiche. Una modalità industriale di allevamento del bestiame consente di produrre di più e a costi contenuti, massimizzando i profitti. Le tecnologie per il controllo e l'uso di antibiotici garantiscono l'abbattimento dei rischi di malattie dell'animale. La gestione di cibo e acqua, invece, fa aumentare il peso e quindi la resa in termini di macellazione. Infine, la necessità di un ridotto spazio pro-capite permette di allevare più capi di bestiame a parità di terreni disponibili.

## 1.1 Origine degli allevamenti intensivi

Per rintracciare la loro nascita dobbiamo tornare ai primi anni del 1900. Per la precisione nel 1926 sulla costa orientale degli USA un piccolo allevatore ricevette per errore un carico di circa 450 pulcini. Invece di reclamare per la consegna indesiderata, decise di tenere questi animali nella sua fattoria, nonostante gli spazi ridotti a disposizione.

I pulcini, nonostante le precarie condizioni, sopravvissero e si riprodussero in tempi brevi aumentando in modo esponenziale il numero di esemplari. In meno di 10 anni si arrivò a contarne circa 250 mila.

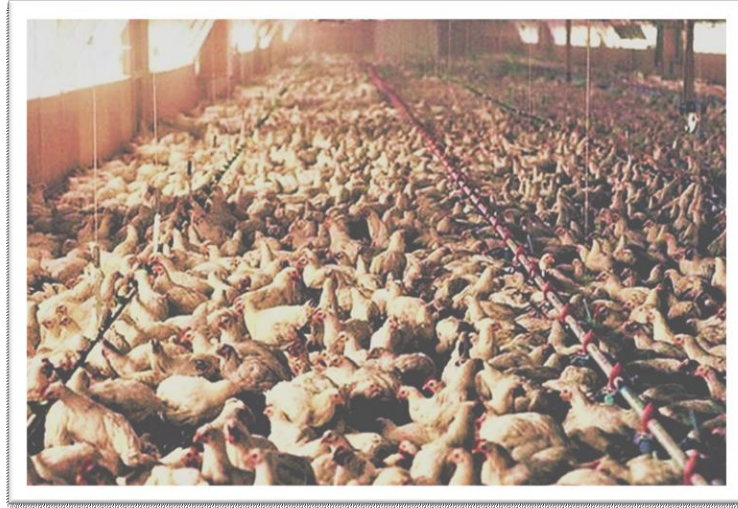
Anche se il primo allevamento intensivo risale agli anni '20, bisognerà comunque aspettare gli anni '60 perché questo tipo di attività si diffonda e prenda piede in diverse parti del mondo. Il fatto che ciò avvenga in questo preciso periodo storico non è un caso, ma il frutto dell'aumento della produzione di antibiotici e della loro diffusione su larga scala: è grazie all'utilizzo massiccio di questi farmaci, infatti, che diventa possibile stipare un gran numero di animali in spazi ristretti preservandoli dalle malattie.

Molti esemplari, infatti, iniziavano ad ammalarsi a causa delle malsane condizioni di vita dovute a spazi ridotti, sovraffollamento, scarsi standard igienici. Da questo momento i numeri degli allevamenti industriali cominciano ad assomigliare sempre di più a quelli odierni anche se il dilagare delle patologie, nonostante l'impiego di antibiotici, resta comunque per anni una problematica importante in questi ambienti.

Il successo economico di questo tipo di produzione spinge ad estendere la sperimentazione anche ad altri tipi di animali. Non solo avicoli ma anche suini e bovini, vengono sottoposti a questo sistema industriale di produzione.

Infatti, l'allevamento industriale non tarda a estendersi ad altre specie animali: siamo negli anni '80 quando Wendell Murphy, allarga l'allevamento intensivo ai maiali su imitazione di quanto avvenuto fino ad allora negli allevamenti avicoli. I risultati di questo tipo di produzione non si fanno attendere, e l'allevamento intensivo negli Stati Uniti inizia a coinvolgere anche i bovini, allevati sia per la produzione di carne che per quella del latte. Da questo momento in poi gli allevamenti intensivi si ingrandiscono e si diffondono a macchia d'olio in diversi paesi del mondo, fino a raggiungere l'estensione odierna.

Nonostante le caratteristiche degli allevamenti industriali siano rimaste simili a quelle attuali, è variata la mole di animali coinvolti. Ogni anno vengono infatti allevati circa 70 miliardi di animali.



*Figura 1 Esempio di polli allevati intensivamente*

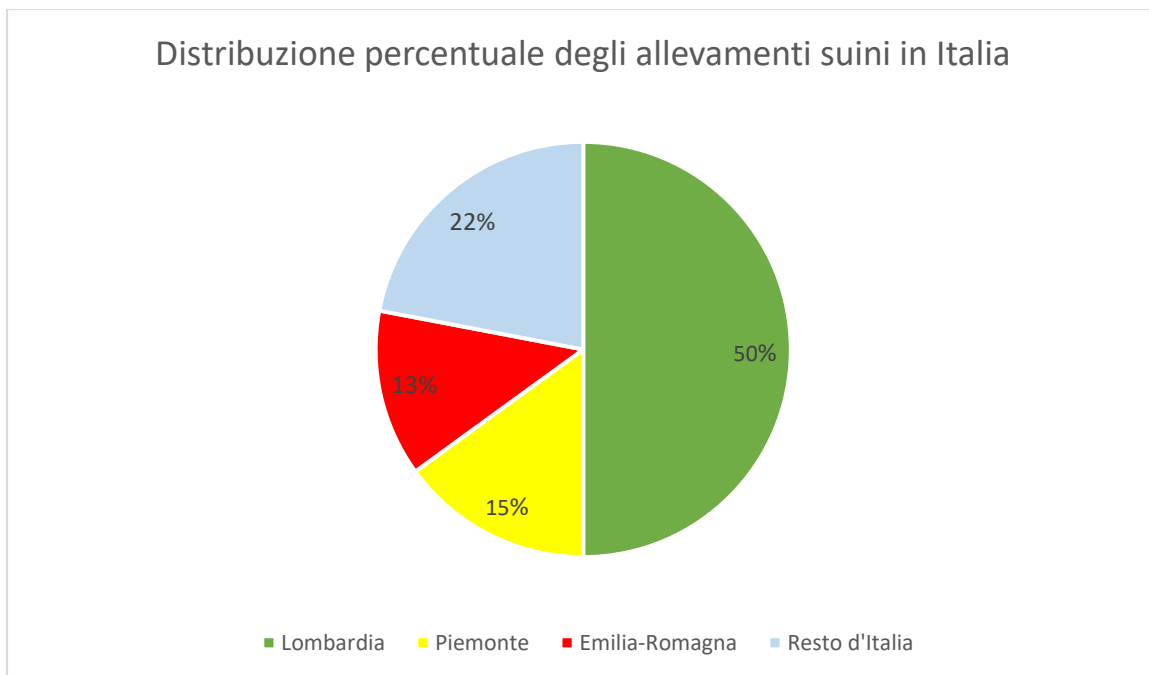
## **1.2 Allevamenti intensivi in Italia**

In Italia il quadro attuale degli allevamenti intensivi descrive una situazione che vede nelle regioni del nord quali Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna e Veneto il maggior numero di allevamenti intensivi in cui sono allevati bovini, suini e avicoli.

Il Bel Paese, infatti, vanta oltre 300 prodotti DOP, IGP e STG molti dei quali hanno origine animale, nel 2019 sono stati marchiati 8,9 milioni di Prosciutti di Parma e prodotte oltre 3,75 milioni di forme di Parmigiano Reggiano. La zona di produzione principale di questi prodotti è il Nord Italia, infatti, nel bacino Padano possiamo trovare la più alta concentrazione di allevamenti intensivi di tutta Italia.

Tramite la Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN) sappiamo che in Lombardia vivono più di 4,4 milioni di suini, ovvero il 50% della produzione nazionale, e allo stesso tempo il numero di allevamenti di suini in questa regione corrisponde solo al 9% degli allevamenti totali e questo perché l'allevamento suinicolo in Lombardia è a carattere fortemente intensivo, infatti, la media di animali presenti in questi allevamenti è di 1629 capi.

La Lombardia è seguita dal Piemonte che vanta l'allevamento di 1,3 milioni di suini dell'Emilia-Romagna con 1,1 milioni di capi.



*grafico 1 Distribuzione percentuale degli allevamenti intensivi in Italia*

### 1.3 Impatto ambientale e rischi

L'agricoltura, secondo i dati diffusi dall'associazione ambientalista, è responsabile del 23% delle emissioni globali di gas serra. Una quota che sale al 37% se si allarga il perimetro, includendo tutta la filiera del cibo (dallo stoccaggio fino alla commercializzazione, passando per il trasporto). Gas serra che, per la maggior parte, sono imputabili proprio agli allevamenti (soprattutto di bovini), visto che l'80% dei terreni agricoli nel mondo è destinato ad alimentare il bestiame (con il dominio incontrastato delle produzioni di mais e soia).

Uno studio portato avanti da Greenpeace in collaborazione con l'ISPRA, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ha portato alla luce un risultato molto preoccupante: tra il 2007 e il 2018 gli allevamenti intensivi hanno inquinato come quasi otto milioni e mezzo di automobili. In questo lasso di tempo l'industria zootecnica ha aumentato del 6% le emissioni ogni anno che equivalgono a 39 milioni di tonnellate di anidride carbonica.

Le piccole quantità di liquame che si produrrebbero in un allevamento tradizionale verrebbero poi utilizzate come fertilizzanti per il terreno, ma quantitativi così alti sono dannosi perché queste sostanze sono ricche di azoto e fosforo che se conservate male rilasciano nell'aria ammoniaca che a sua volta unendosi ad altri componenti inquinanti produce polveri sottili.

Secondo l'ISPRA gli allevamenti intensivi sono la causa del 75% dell'ammoniaca immessa nell'aria e questi dati riguardano solamente allevamenti italiani; si può dire con sicurezza

quindi che questo tipo di allevamenti sono la seconda causa delle polveri sottili nel nostro Paese, dopo l'inquinamento provocato dal riscaldamento residenziale e commerciale.

Sempre l'ISPRA evidenzia che l'industria zootecnica produce solo l'1,5% di inquinamento da PM primario, ovvero le polveri sottili prodotte direttamente da una sorgente come un tubo di scappamento, mentre la percentuale si alza drasticamente per quanto riguarda il PM secondario, cioè quello che viene generato dalla combinazione di diversi gas presenti in atmosfera.

L'allevamento intensivo inquina anche l'acqua di superficie, le falde acquifere e il suolo se smaltisce in maniera scorretta i liquami raccolti. La regione Lombardia ha suddiviso i territori delle provincie in base alle permeabilità del terreno assegnando a ognuna di esse un grado di vulnerabilità che vincola la quantità di liquami che si possono disperdere sui terreni.

Oltre a questa suddivisione, per salvaguardare le falde acquifere viene imposto un fermo invernale, considerando che in questo periodo solitamente sono previste molte precipitazioni, che vieta di disperdere i liquami stoccati, quindi, in apposite vasche.

La composizione di queste sostanze può accelerare l'eutrofizzazione dell'acqua aumentando la crescita di alghe e altre piante acquatiche causando la diminuzione dell'ossigenazione dell'acqua, facendo quindi morire molte specie ittiche e favorendo infine la proliferazione batterica e di altri microrganismi che possono danneggiare la salute delle persone. Secondo la FAO, ovvero l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura, le riserve d'acqua di tutto il mondo sono contaminate da fitofarmaci e altre sostanze chimiche usate per concimare le colture di mais e soia destinate all'alimentazione degli animali.

Quindi con gli allevamenti intensivi si presentano i seguenti rischi e problematiche:

- Rischio di zoonosi: l'alta concentrazione di animali favorisce lo sviluppo di malattie comprese quelle che dagli animali possono passare all'uomo.
- Concorso nello sviluppo di Antimicrobico resistenza: le condizioni di vita degli animali negli allevamenti intensivi, che, nell'abbassare il loro benessere ne abbassano anche le difese immunitarie, richiedono per il mantenimento della loro salute un alto intervento di medicalizzazione, particolarmente di antibiotici, contribuendo all'antibiotico-resistenza, trasmissibile all'uomo.
- Impatto sulle risorse alimentari umane: per lo sviluppo dell'allevamento intensivo non è più possibile che gli animali si accontentino del cibo fornito da zone marginali e non coltivabili dall'uomo. È necessario coltivare il cibo per gli animali su terreni che potrebbero produrre alimenti per l'uomo;

- Impatto ambientale delle coltivazioni per animali;
- Consumo di risorse idriche: tutti gli animali allevati, con metodo intensivo o meno, consumano risorse idriche. L'imponenza, tuttavia, della produzione industriale di carne, al netto dell'acqua che ritorna nell'ambiente, rende comunque insostenibile questo consumo.
- Inquinamento idrico: questo problema si pone con qualsiasi tipo di allevamento ma il numero di animali allevati è direttamente proporzionale all'inquinamento.
- Uso delle terre e deforestazione: tra uso della terra come pascolo e uso della terra per la produzione di mangimi, nonostante ricerche e dati discordanti il settore dell'allevamento rappresenta, a livello mondiale, il maggior fattore d'uso antropico della terra con conseguente degradazione del suolo e deforestazione;
- Perdita della biodiversità: l'occupazione delle terre per l'allevamento genera alterazione dei sistemi naturali con perdita della biodiversità;
- Emissioni di gas serra e particolato: Nel 2018 l'ISPRA pubblica i dati in un report: Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento indicando come questo contribuisca per un valore attorno al 5-7% dell'emissione di gas serra e serra equivalenti, e al 94% per l'emissione di ammoniaca con conseguente formazione di particolato. In merito però in uno studio più recente 2020, risulta un contributo maggiore per gas climalteranti. A livello globale, secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'agricoltura rappresenta circa un quarto delle emissioni antropiche totali (23% in media), con una tendenza in crescita, mentre si stima che il sistema agroalimentare complessivamente contribuisca per il 21% - 37%. All'interno del comparto agricolo, il settore zootecnico è responsabile del 70% di tutte le emissioni dirette a livello globale, senza contare le emissioni legate alle coltivazioni destinate ad uso mangimistico (ad es. l'uso di fertilizzanti di sintesi). Le emissioni globali derivanti dall'allevamento sono paragonabili a quelle dell'intero settore dei trasporti (14,5% delle emissioni complessive di gas serra).
- Alterazione dell'equilibrio delle acque e del mare-pesca e acquacoltura: anche pesca e acquacoltura non sono da tralasciare in questa disamina per i danni generati agli ecosistemi marini e acquatici.

Una delle molte problematiche date dal sovraffollamento degli allevamenti che si vuole studiare e a cui si cerca di dare una soluzione che va a beneficiare sia sul benessere degli animali che sull'ambiente è la circolazione dell'aria destinata agli animali, quindi la sua qualità e la sua



quantità, ed è questo l'argomento trattato in questo studio, ponendo l'attenzione, in particolare, sugli allevamenti suini.

Sarebbe opportuno filtrare l'aria in un allevamento suino garantendo parametri microclimatici ottimali attraverso l'utilizzo di sistemi di ventilazione naturali e artificiali.

A tal proposito il presente testo ha lo scopo di studiare il metodo più efficace ed efficiente per tale scopo, verranno esposti infatti metodi di ventilazione naturale e diverse soluzioni di ventilazione artificiale che potrebbero essere utilizzati per garantire ai suini gli standard microclimatici che assicurano loro adeguati livelli di benessere che porteranno di conseguenza ad un aumento dell'efficienza di produzione dell'allevamento.

Saranno quindi esposte le ricerche effettuate citando dati ricavati dagli studi di Chiumenti, Hahn, Cohas, Hillman, Bockish e dati forniti da regioni e servizi veterinari che forniscono range ottimali per garantire benessere ai suini.

Attraverso, invece, studi come quelli condotti da Marocco e Orlandi o Chiappini e Barbari verranno discussi i sistemi di ventilazione partendo da quelli naturali per arrivare a quelli artificiali illustrando anche sistemi misti.

Verrà quindi dimensionato un impianto di ventilazione prendendo come riferimento un allevamento di mille suini nelle condizioni più critiche per la ventilazione, ovvero quelle estive.

## Capitolo 2

La ricerca è stata condotta su allevamenti suini al fine di aumentare l'efficienza di produzione tramite il benessere dei suini ospitati all'interno. Si è infatti visto come i parametri microclimatici analizzati influiscano sulla salute dei suini e quindi sono fondamentali per la loro crescita e riproduzione. Gli aspetti considerati sono quelli presenti nelle norme vigenti e nelle note esplicative del Ministero della Salute, cercando di approfondire alcuni aspetti riguardo il clima ottimale per i suini. I parametri microclimatici sono gli elementi essenziali del clima (temperatura ambientale, umidità relativa e velocità dell'aria) riferiti all'ambiente interno delle porcilaie, saranno studiate:

- La temperatura ambientale è la temperatura media dell'aria in un ambiente circoscritto; viene espressa, secondo la scala Celsius, in gradi centigradi (°C).
- L'umidità relativa è il rapporto, espresso in percentuale, fra l'effettiva quantità di vapore acqueo contenuta nell'aria a una data temperatura (umidità assoluta) e quella massima possibile (vapore saturo) alla stessa temperatura.
- La velocità dell'aria è il rapporto fra la distanza percorsa da un flusso d'aria e il tempo impiegato a percorrere tale distanza; viene espressa in metri per secondo (m/s).

I suini sono molto sensibili alle alte temperature ambientali e cercano di proteggersi modificando il loro comportamento.

In situazione di caldo, infatti, il suino assume una posizione di decubito laterale, che offre la massima superficie corporea all'aria e al contatto con il pavimento, cerca posizioni isolate, lontano dagli eventuali compagni di box, e possibilmente nelle zone con maggiori correnti d'aria e riduce il livello di attività.

La ricerca scientifica non ha definito quale sia il range ottimale di umidità relativa dell'aria per i suini allevati in porcilaia. È però evidente che un tasso d'umidità troppo basso può comportare problemi all'apparato respiratorio, per il rischio di disidratazione delle mucose, e un aumento considerevole della polverosità dell'ambiente. Anche un'elevata umidità può risultare estremamente dannosa, soprattutto se abbinata ad alte o basse temperature. La termoregolazione nella stagione calda, infatti, risulta più difficoltosa a causa della ridotta evaporazione cutanea e polmonare, mentre in situazione invernale si ha un aumento delle perdite di calore corporeo. Nei suini da ingrasso, in particolare, l'umidità elevata è generalmente migliore per la condizione della cute del suino, ma compromette il raffreddamento per evaporazione a temperature  $\geq$  a 19 °C per suini oltre i 50 kg di peso vivo e a 25 °C per suini in svezzamento. In sala parto l'umidità sembra non influenzare il benessere e

lo stato sanitario di scrofe e suinetti quando si mantiene tra 55 e 70%; tale range, peraltro, è simile a quello consigliabile per tutti i suini, per non incorrere in ambienti troppo secchi o troppo umidi.

Il d.lgs. n. 146/2001 indica che la circolazione dell'aria, la temperatura e l'umidità relativa devono essere mantenute entro limiti non dannosi per gli animali. Questa disposizione appare estremamente generica, senza che vengano definite le soglie dei parametri microclimatici e le modalità con cui tali parametri devono essere tenuti sotto controllo.

La normativa specifica sui suini (d.lgs. n. 122/2011) non fornisce ulteriori indicazioni sui parametri microclimatici. Gli aspetti considerati sono quelli presenti nelle norme vigenti e nelle note esplicative del Ministero della Salute, cercando di approfondire alcuni aspetti riguardo il clima ottimale per i suini.

Verranno raccolti ed analizzati dei dati pubblicati da enti locale, ad esempio l'ASL di Asti, Il Servizio di Sanità Animale, ha come finalità principale la tutela della salute animale e, indirettamente, della salute collettiva. La sicurezza alimentare, la prevenzione e il controllo delle malattie infettive e trasmissibili, in particolare delle zoonosi, (malattie trasmissibili tra gli animali e l'uomo) costituiscono il terreno di incontro tra il medico e il veterinario. La presenza della sanità pubblica veterinaria nella ASL è legittimata principalmente dall'esigenza di migliorare la collaborazione e il coordinamento tra la medicina umana e la medicina veterinaria a tutela della salute pubblica.

Altri dati analizzati, invece, sono forniti dalla CRPA, che ha come scopo la conduzione di ricerche, la realizzazione e la gestione di servizi per i produttori agricoli, l'industria agro-alimentare e gli Enti pubblici competenti, con lo scopo di promuovere il progresso tecnico, economico e sociale del settore primario e di conseguire una generalizzata diffusione delle forme più avanzate di agricoltura ecocompatibile.

I valori ottimali di temperatura ambientale sono quelli in cui l'animale si trova in una condizione di comfort all'interno dell'ambiente d'allevamento e sono definiti per categoria animale (età, peso vivo e stato fisiologico) e per un dato livello alimentare. Le richieste termiche degli animali più giovani (lattonzoli, suinetti) sono notevolmente più elevate rispetto a quelle degli altri suini; per questi ultimi è necessario adottate misure per facilitare la perdita di calore corporeo. La tipologia di pavimentazione e la stabulazione individuale o in gruppo sono altri fattori che determinano la capacità di termoregolazione del suino.

L'umidità relativa ottimale varia in base alla categoria produttiva: 65-75% nei reparti di fecondazione-gestazione e di accrescimento-ingrasso, 60-70% nei reparti di maternità e di post-

svezzamento (CRPA, 2004). Gli animali possono soffrire un alto tasso di umidità associato ad alte temperature dell'aria, in questo caso essi non riescono a liberare il proprio calore dal corpo, inoltre, un'elevata umidità favorisce lo sviluppo di batteri e muffe.

Al contrario un tasso di umidità troppo basso, come si riscontra specialmente in inverno nelle stalle riscaldate, favorisce la creazione di polvere e la secchezza nelle vie respiratorie aumentando la predisposizione alle infezioni.

Per determinare l'umidità relativa dell'aria si può utilizzare uno psicrometro, questo strumento necessita di misurazioni continue per un tempo sufficientemente lungo al fine di ottenere una valutazione rappresentativa.



*Figura 2 Esempio di uno psicrometro utilizzato per misurare l'umidità*

Lo psicrometro è costituito da due termometri affiancati, uno chiamato “bulbo secco” e misura la temperatura dell'aria, l'altro è umidificato con acqua distillata ed è chiamato “bulbo umido” e misura la temperatura dell'acqua a contatto con l'aria. La lettura dei due termometri permette di conoscere tramite delle tabelle o diagrammi il valore dell'umidità relativa e assoluta dell'aria.

Tramite i dati raccolti dall'ASL di Asti, da quelli forniti dalla regione Lombardia e da quelli ricavati dalle pubblicazioni di Chiumenti et al. possiamo costruire la seguente tabella suddividendo tra scrofe, verri e suini in base alla loro età:

Umidità dell'aria (%)	ASL Asti	l.g. regione Lombardia	Chiumenti et al.	Bockisch et al.
Suineti alla nascita	60-70	60-70	60-70	
Suineti di 10-15 giorni	60-70	60-70	60-70	
Suineti a 15-25 giorni	60-70	60-70	60-70	
Suineti allo svezzamento	60-80	60-80	60-80	50-80
Suineti di 30 kg	60-80	60-80	60-80	
Suini all'ingrasso	60-80	60-80	60-80	50-70
verri	65-75	65-75	65-75	
Scrofe gestanti	65-75	65-75	65-75	60-80
Scrofe con nidiate	60-70	60-70	60-70	50-70

*Tabella 1 Range ottimali di umidità relativa*

Centrare un range di umidità è quindi molto importante ma essa deve essere combinata con un giusto range di temperatura per cui l'ambiente non risulti troppo secco e caldo o umido e freddo. Per questo la temperatura dell'aria rappresenta uno dei fattori microclimatici più importanti ed a maggiore impatto sulle condizioni sanitarie e di benessere degli animali. Infatti, è ampiamente accertato che il mantenimento dei suini a temperature diverse da quelle ottimali incide direttamente e negativamente sul consumo di mangime, sull'accrescimento giornaliero, sull'attività riproduttiva e inoltre anche sulla comparsa di patologie dell'apparato digerente e respiratorio. Per ogni animale esiste una fascia di temperatura ambientale all'interno della quale l'organismo può mantenere la sua temperatura corporea ricorrendo in misura minima a misure regolatrici. Questa fascia viene definita "zona di neutralità termica". Al di sotto di essa troviamo la temperatura critica inferiore, qui l'organismo attiva dei meccanismi (ad esempio brividi di freddo) per aumentare la produzione di calore. Al di sopra della zona di neutralità termica troviamo la temperatura critica superiore che rappresenta la temperatura a partire dalla quale l'animale inizia a liberare acqua attraverso la sudorazione e la respirazione per impedire il rialzo della temperatura del corpo.

All'interno della zona di neutralità termica si trova la zona di indifferenza termica nella quale la temperatura corporea resta costante senza che intervengano misure regolatrici e l'animale sopporta bene sia il caldo che il freddo.

Per gli animali appena nati la zona di neutralità termica è molto più sottile e le temperature richieste sono più alte rispetto a quelle richieste da esemplari adulti. Affinché il loro sviluppo sia ottimale, dunque, essi necessitano di un settore con temperature elevate e costanti.

Una temperatura anomala cambia il comportamento dei suini, se è troppo bassa, infatti, gli animali non si stendono più su un fianco ma sul ventre al fine di ridurre la quantità di calore scambiato con il suolo, se necessario tendono anche ad ammassarsi gli uni con gli altri; un ulteriore sintomo di una temperatura troppo bassa sono i brividi di freddo.

Quando invece la temperatura è troppo elevata i suini cercano di stendersi su superfici fresche e umide evitando il più possibile il contatto con gli altri compagni. Un altro indicatore di una temperatura troppo elevata è l'insudiciamento degli animali che tendono a rotolarsi nel fango oltre a una diminuzione di appetito. Tramite i dati forniti e ricavati dalle pubblicazioni dell'ASL di Asti, dal CRPA, dalla regione Lombardia e dalle ricerche di Bianca W. et al. possiamo costruire una tabella in cui riportiamo i range di temperatura ottimali per ogni categoria di suino, suddiviso in base all'età:

Temperatura °C	ASL Asti	I.g. regione Lombardia	Bianca W. Et al.	CRPA	Hahn et al.	Chiumenti et al.	Cohas et al.	EFSA	Bockisch et al.	Hillman et al.
Suinetti alla nascita	32-34	32-34	33-22	32-35	32	32-34	30-40	34	>30	
Suinetti di 10-15 giorni	26-28	26-28		26-28		26-28	21-28	25-30		
Suinetti a 15-25 giorni	24-26	24-26		22-26		25	24-26		16-20	
Suinetti allo svezzamento	26-28	26-28	15-22	21-28		26-28	20-25	25	14-18	

Suinetti di 30 kg	22-24	22-24		16-22		22-24			17	19-21
Suini all'ingrasso	18-21	18-21	9-18	16-20	15	18-21	15-25	20	12-16	10-17
verri	16-18	16-18	8-15	14-20	15	16-18		20	12-16	5-17
Scrofe gestanti	16-18	16-18	8-15	19-20	15	16-18		20	15	
Scrofe con nidiata	18-20	18-20	5-15	16-20	15	18-20		20	17	

*Tabella 2 range di temperatura ottimali*

Un altro parametro microclimatico a cui si deve tener conto è la velocità dell'aria.

La velocità dell'aria ottimale varia in base alla stagione: in estate un'elevata velocità favorisce la dispersione di calore e l'evaporazione cutanea, limitando lo stress termico; in inverno una velocità più bassa garantisce una limitata dispersione di calore, importante soprattutto per i suini più piccoli e per quelli allevati singolarmente.

I suini sono molto sensibili alle alte temperature ambientali e cercano di proteggersi modificando il loro comportamento.

In situazione di caldo, infatti, il suino assume una posizione di decubito laterale, che offre la massima superficie corporea all'aria e al contatto con il pavimento, cerca posizioni isolate, lontano dagli eventuali compagni di box, e possibilmente nelle zone con maggiori correnti d'aria riducendo anche il suo livello di attività.

Nei suini riproduttori gli effetti di temperature ambientali superiori ai 32 °C sono particolarmente gravi (Barbieri et al., 2011), in quanto causano disfunzioni nel ciclo riproduttivo della scrofa, soprattutto minore fertilità, e nei casi più gravi un aumento della mortalità in prossimità del parto. Le basse temperature che si registrano all'interno delle porcilaie difficilmente risultano dannose per gli animali, ad eccezione dei soggetti giovani.

La velocità dell'aria presenta una stretta correlazione con la temperatura ambientale nel senso che quando la stagione è fredda si ritiene necessario ridurre la velocità dell'aria mentre, nella stagione estiva, è necessario aumentarla per aumentare la dispersione del calore dal corpo dei suini. È stato stabilito che ad un aumento di 0,1 m/sec corrisponde una riduzione della temperatura percepita dall'animale di circa 1°C.

Velocità dell'aria elevate hanno un duplice effetto: da un lato aumentano lo scambio termico per ogni grado di differenza di temperatura tra la superficie dell'animale e l'aria, e d'altro canto, diminuiscono l'isolamento termico.

Il benessere degli animali è condizionato soprattutto quando l'aria in movimento ha una temperatura più bassa di quella della stalla.

D'estate un movimento dell'aria abbastanza sostenuto dà refrigerio all'animale, d'inverno, invece, se la velocità dell'aria è troppo elevata si possono avere perdite eccessive di calore.

La misurazione della velocità dell'aria può essere effettuata in modo strumentale con l'anemometro a filo caldo.



*Figura 3 Esempio di un anemometro a filo caldo*

Questo apparecchio consente misurazioni a partire da 0,1 m/s, i valori misurati sono indipendenti dalla direzione ed è quindi adatto per la misurazione di basse velocità, per la misurazione di alte velocità può essere utilizzato un anemometro a mulinello i cui valori misurati dipendono dalla direzione dell'aria.

Oppure, in alternativa, con il modo empirico della “cartina da sigarette”. Tenendo un angolo della cartina tra due dita si osserva se essa viene mossa o meno dall'aria. Se la cartina non viene mossa, si può ritenere che la velocità dell'aria sia inferiore a 0,2 m/sec. Se invece viene mossa, è possibile rapportare la velocità dell'aria con l'entità dello spostamento della cartina stessa.

Il valore ottimale della velocità dell'aria dipende essenzialmente dalla temperatura dell'aria nella seguente tabella verranno quindi riportati i dati forniti dall' ASL di Asti, dal CRPA, dalla



regione Lombardia e dagli studi di Chiumenti et al. avendo cura di fare un'opportuna distinzione tra inverno ed estate essendo fondamentali le temperature dell'aria.

	ASL Asti	CRPA		l.g. regione Lombardia (*)	Chiumenti et al. (*)	Cohas et al.	
		Inverno	Estate			Inverno	Estate
Velocità dell'aria (m/s)							
Suinetti alla nascita	0,1-0,3	0,1	0,7	0,1-0,3	0,1-0,3	0,05	0,1
Suinetti di 10-15 giorni	0,1-0,3	0,1	0,7	0,1-0,3	0,1-0,3		
Suinetti a 15-25 giorni	0,1-0,3	0,1	0,7	0,1-0,3	0,1-0,3	0,15	0,2
Suinetti allo svezzamento	0,1-0,3	0,15	0,8	0,1-0,3	0,1-0,3		
Suinetti di 30 kg	0,1-0,4	0,15	0,8	0,1-0,4	0,1-0,4	0,2	1,5
Suini all'ingrasso	1	0,3	3	1	1	0,5	4,5
verri	2	0,3	3	2	2		
Scrofe gestanti	0,2-0,4	0,3	3	0,2-0,4	0,2-0,4		
Scrofe con nidiata	0,2-0,7	0,3	3	0,2-0,7	0,2-0,7		

*Tabella 3 Range di velocità dell'aria suddivisi per stagione con alte temperature e stagione con basse temperature*

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 per le 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.

Tutti gli animali da allevamento appartengono a specie omeoterme e, pertanto, devono reagire agli stimoli termici provenienti dall'ambiente in modo da mantenere pressoché 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:

$$M+J+L+G+C+R+E= 0$$

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.

Affinché 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.

Sarebbe opportuno filtrare l'aria in un allevamento suino garantendo parametri microclimatici ottimali attraverso sistemi di ventilazione naturali e artificiali.

La ventilazione dell'edificio acquisisce notevole peso in quanto ha un ruolo primario nel controllo delle condizioni ambientali interne. La ventilazione all'interno delle strutture zootecniche è basata sulla qualità dell'aria.

Portata d'aria (m <sup>3</sup> /h)	CRPA			Iowa State University		Prairie swine centre		MWPS	
	Inverno	estate	Aperture per ventilazione naturale	Inverno	estate	Inverno	estate	inverno	estate
Suinetti alla nascita	3	20	0,05 (m <sup>2</sup> /capo)			3	90	1	9
Suinetti di 10-15 giorni	4	25		3	42				
Suinetti a 15-25 giorni	5	30				5	122		
Suinetti allo svezzamento	7	50							
Suinetti di 30 kg	9	65		5	60	9	245	5	54
Suini all'ingrasso	18	120	0,07(m <sup>2</sup> /capo)	17	204	18	460	17	204
verri	25	220						85	800
Scrofe gestanti	24	215	0,10(m <sup>2</sup> /capo)	34	850	23	730	20	255
Scrofe con nidiata	32	300				53	1100	34	850

Tabella 4 Portata d'aria necessaria per garantire benessere ai suini suddivisa per stagione calda e stagione fredda

### Capitolo 3

Facendo riferimento alle problematiche esposte nel Capitolo 1 e sfruttando i dati raccolti nel Capitolo 2 cerchiamo ora di progettare un sistema di ventilazione per un capannone destinato all'allevamento di suini proponendo varie soluzioni di areazione, condizionamento dell'aria e raffrescamento.

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 opposta 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 e, 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.

La ventilazione dell'aria è garantita da:

- Ventilazione naturale che entra da aperture laterali (finestre) alla struttura e ne fuoriesce dall'area sottostante il tetto sviluppando "l'effetto camino". Un notevole dislivello tra

l'altezza d'ingresso e di uscita dell'aria assicura un buon funzionamento dell'effetto camino e quindi un'adeguata ventilazione. Le aperture laterali dovranno essere collocate ad un'altezza di circa 3 metri.

- Ventilazione artificiale; questi impianti sono di diverse tipologie ma di solito vengono impiegati aspiratori elicoidali che permettono di aumentare la velocità dell'aria fino a 4-5 m/s. Il blocco, anche temporaneo, di un impianto di ventilazione artificiale determina un rapido accumulo dei gas ambientali che può causare la morte degli animali presenti. Pertanto, il legislatore ha previsto, la presenza di un impianto sostitutivo che permetta un ricambio dell'aria sufficiente per garantire la sopravvivenza degli animali, che in caso di blocco dell'impianto principale possa essere attivato. L'impianto di ventilazione artificiale deve essere dotato di un sistema di allarme che segnali tempestivamente il guasto all'allevatore. È compito dell'allevatore verificare regolarmente l'efficienza del sistema di allarme.
- Sistemi misti; impiego combinato di sistemi naturali e artificiali.

### **3.1 La ventilazione naturale**

La progettazione deve prevedere:

predisposizione di deflettori, sia in prossimità dell'ingresso che dell'uscita dell'aria, per ridurre l'influenza negativa del vento (specialmente in inverno);

realizzazione di serramenti per le finestre facilmente regolabili eventualmente con l'apertura meccanizzata comandata da centralina automatica;

posizionamento di convogliatori sulle aperture per evitare che l'aria fredda in ingresso possa raggiungere gli animali prima di essere miscelata con l'aria ambientale;

realizzazione di un tetto con pendenza di almeno 25 – 30%.

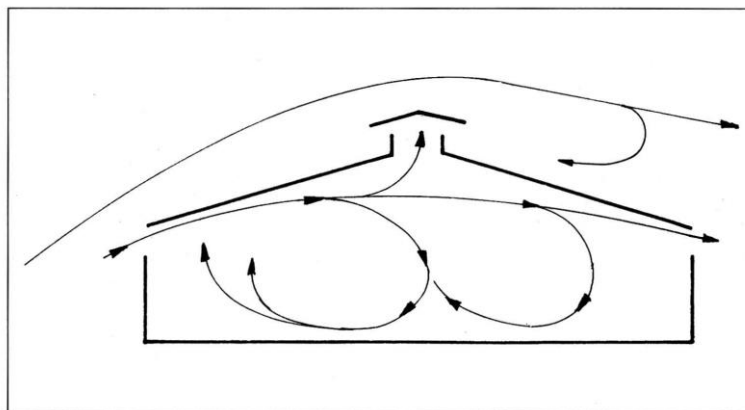
Sia il clima interno sia il bilancio energetico di un edificio sono influenzati in maniera determinante dal ricambio d'aria.

Occorre fare distinzione fra ricambio d'aria per infiltrazione naturale, scambio d'aria che avviene in maniera non controllata attraverso punti dove l'involucro dell'edificio non è stagno e ricambio d'aria per ventilazione artificiale (per mezzo di appositi meccanismi).

Per poter garantire la presenza d'aria fresca e specialmente per evitare di avere tassi d'umidità relativa dell'aria elevati in genere l'utente deve svolgere un arieggiamento dei locali. Il ricambio, breve ma completo, permette di evacuare l'aria viziata (ricca di vapore e di diossido di carbonio) senza disperdere, nello stesso tempo, quantitativi notevoli di calore.

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 termoigrometriche 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 termoigrometriche ottimali per gli animali allevati. In particolare, è nota 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 1-3 ° 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. 4).



*Figura 4 Il vento prevale sull'effetto camino*

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 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.

### 3.1.1 Tasso di ricambio dell'aria

Per casi non troppo complessi è sufficiente calcolare l'apporto d'aria in rapporto alle dimensioni dell'edificio. La corrente d'aria (fresca), o portata volumetrica può essere calcolata nel seguente modo:

$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

dove  $\Delta V$  è il volume d'aria sostituito nell'intervallo di tempo  $\Delta t$ .

Dividendo i  $m^3$  che in un'ora entrano, e che rispettivamente lasciano l'edificio, per il volume netto dell'edificio  $V_R [m^3]$  si ottiene il tasso di scambio dell'aria  $n_L$ .

$$n_L = \frac{\dot{V}}{V_R} [h^{-1}]$$

$n_L$  fornisce anche un valore medio di quanto spesso (all'ora) l'aria viene ricambiata, ipotizzando che l'aria fresca apportata sostituisca completamente quella viziata (effetto pistone).

La corrente d'aria si sviluppa a causa di una differenza di pressione tra due regioni che possono ad esempio coincidere con l'interno e l'esterno dell'edificio.

Questa differenza di pressione può essere ad esempio indotta dal vento. Un altro fattore che può causare una corrente d'aria è costituito dalla temperatura. Infatti, scaldando un gas, esso tenderà ad espandersi, provocando una diminuzione della sua densità. Quando gli interstizi e le aperture nell'edificio sono presenti ad altezze differenti, questo fenomeno si traduce in un tiraggio d'aria dal basso verso l'alto, denominato "effetto camino".

Quando due masse d'aria hanno differenti temperature anche le loro densità e pressioni sono differenti e questo dà origine ad un movimento dell'aria stessa dalla zona a più alta densità (più fredda) verso quella a densità più bassa.

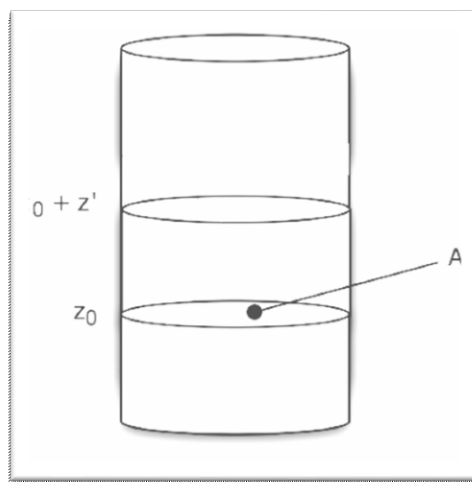
Nelle situazioni in cui l'aria interna dell'edificio sia più calda di quella esterna e sia richiesto un raffrescamento, l'effetto naturale di spostamento dell'aria appena descritto può essere usato per introdurre aria più fresca all'interno dell'edificio ed espellere quella calda.

### 3.1.2 L'effetto camino

La forza peso della massa dell'aria che ci sovrasta determina la pressione dell'atmosfera. La pressione diminuisce con l'altezza in quanto la parte d'aria che si trova al di sotto di una determinata quota non contribuisce al peso della colonna d'aria che si trova sopra una quota prestabilita. Un'analisi precisa della pressione in funzione dell'altezza deve tener conto anche della rarefazione dell'atmosfera.

Tuttavia, se ci si limita a piccole differenze di quote, come si incontrano di solito nell'analisi degli edifici, la variazione della pressione è descritta da una semplice funzione lineare:

$$p = \frac{F}{A} \left[ \frac{N}{m^2} = Pa \right]$$





La pressione di una colonna d'aria all'altezza  $z_0+z'$  può essere calcolata sottraendo dal valore di  $p(z_0)$  la pressione esercitata dal volumetto:

$$p = p(z_0) - \frac{\rho \cdot A \cdot z' \cdot g}{A}$$

Dove:

$$P = F/A$$

$$F = mg$$

$$m = \rho V$$

$$m = \rho A z'$$

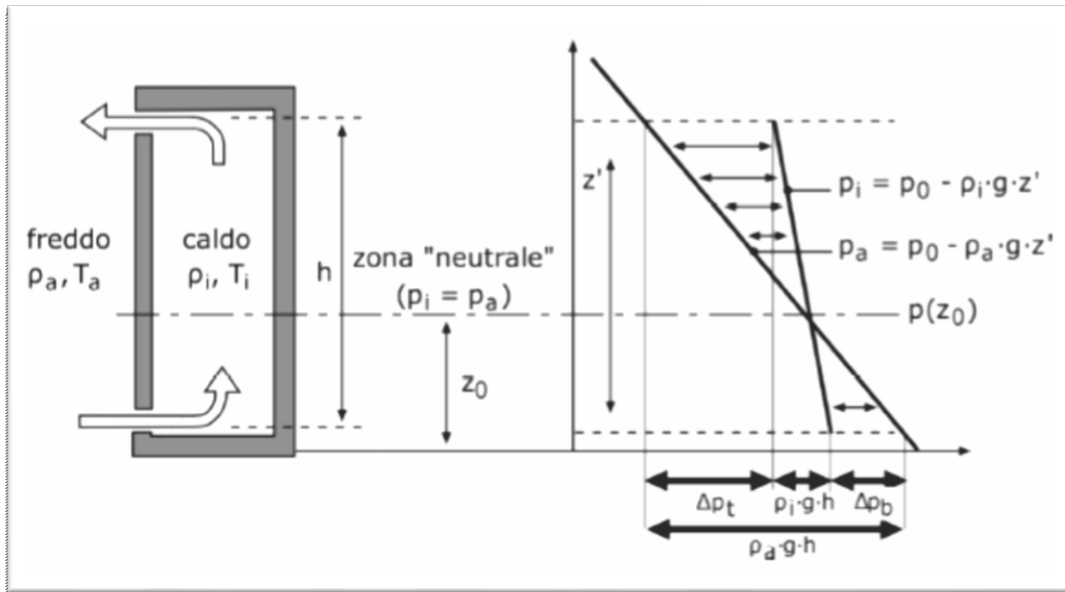
$$F = \rho A z' g$$

$$P = (\rho A z' g / A)$$

Quindi:

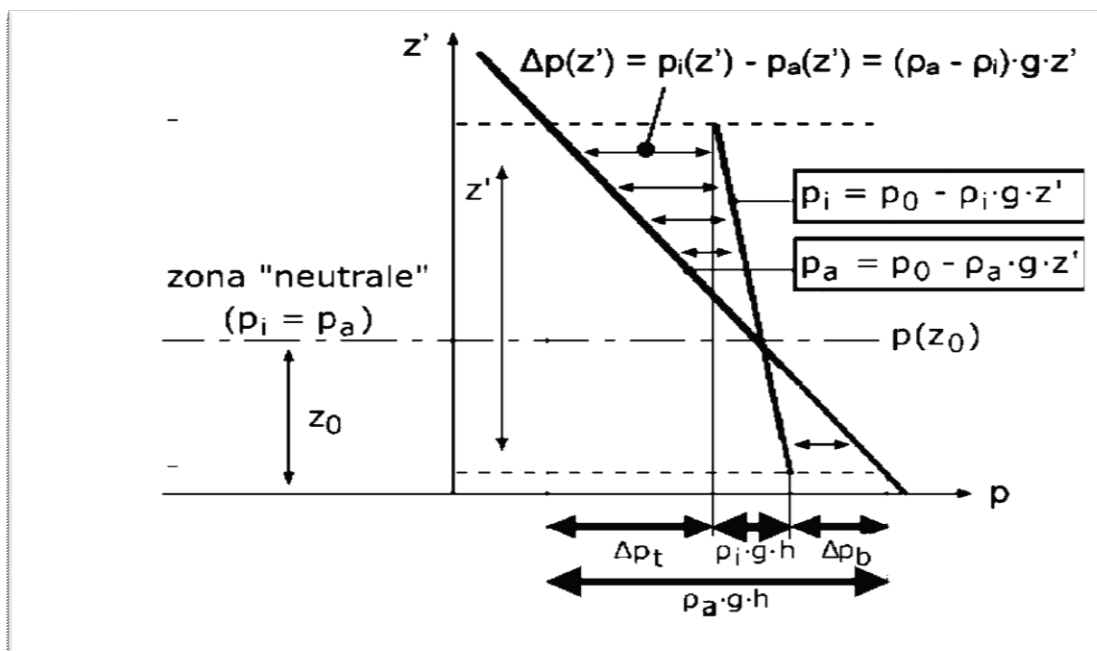
$$p = p(z_0) - \rho \cdot g \cdot z'$$

Dato che l'aria calda ha una densità inferiore a quella dell'aria fredda, la variazione di pressione con la quota per l'aria calda è quindi inferiore a quella che si riscontra per l'aria fredda. Nel caso di spazi riscaldati alti o ancora maggiormente nel caso di camini (temperature dei fumi molto elevate) ciò può causare grandi differenze di pressione tra l'interno e l'esterno e quindi un elevato ricambio d'aria



Ponendo l'altezza di riferimento  $z_0$  nel punto neutro, dove la pressione interna eguaglia quella esterna, l'andamento delle pressioni interne ed esterne in funzione dell'altezza  $z'$  (misurata rispetto a  $z_0$ ) può essere scritto nel seguente modo:

$$p_i(z') = p(z_0) - \rho_i \cdot g \cdot z' \quad p_a(z') = p(z_0) - \rho_a \cdot g \cdot z' \quad \rho_i < \rho_a$$



Considerando l'aria come un gas ideale si può mettere in relazione la pressione  $p$  dell'aria alla sua temperatura  $T$  in Kelvin (K):

$$p \cdot V = m \cdot R_s \cdot T$$

dove  $R_s$  è la costante dei gas per l'aria secca.

Da tale equazione si può dedurre una relazione tra la densità  $\rho$  dell'aria e la sua temperatura:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{R_s \cdot T}$$

Utilizzando la pressione media del luogo – nel quale è situata la costruzione – le densità dell'aria interna ed esterna si possono esprimere nel modo seguente:

$$\rho_i = \frac{p_m}{R_s \cdot T_i}$$

$$\rho_a = \frac{p_m}{R_s \cdot T_a}$$

Inserendo questi valori nelle equazioni:

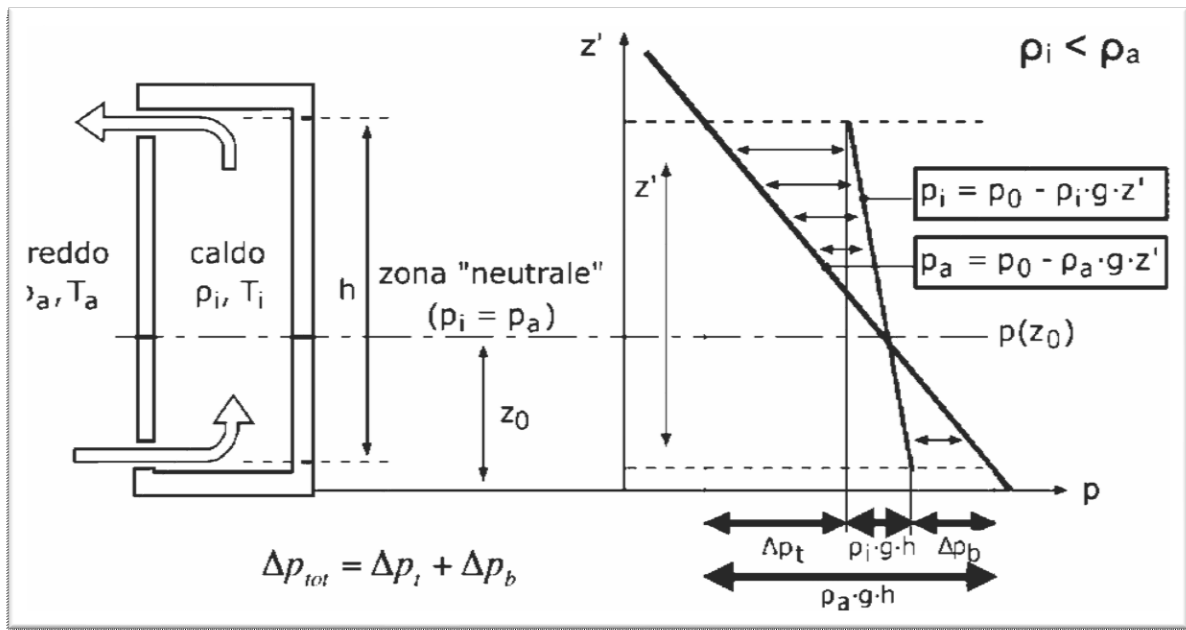
$$p_i(z') = p(z_0) - \rho_i \cdot g \cdot z'$$

$$p_a(z') = p(z_0) - \rho_a \cdot g \cdot z'$$

e sottraendole si ottiene:

$$\Delta p(z') = p_i(z') - p_a(z') = \frac{p_m \cdot g \cdot z'}{R_s} \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_i} \right)$$

In prossimità del suolo ( $z' < 0$ ) si ha  $\Delta p < 0$  (dato che  $1/T_a - 1/T_i > 0$ ) e quindi l'aria esterna tende a penetrare nell'edificio spingendo l'aria calda verso i piani alti ( $z' > 0$ ), dove la pressione interna sull'involucro supera quella esterna ( $\Delta p > 0$ ) provocando la fuoriuscita di aria calda.



Dove h è l'altezza della struttura.

$$\Delta p_{tot} = \rho_a \cdot g \cdot h - \rho_i \cdot g \cdot h$$

Si può ricorrere all'effetto camino fornendo l'edificio di aperture sia in basso che alla sua sommità, l'aria calda salirà naturalmente e uscirà dalle aperture in alto mentre l'aria fredda entrerà attraverso le aperture alla base. La ventilazione con effetto camino è molto utile per evitare stratificazioni d'aria calda nella parte alta degli ambienti interni.

Per una buona estrazione dell'aria è utile che la temperatura esterna non sia troppo alta; più precisamente occorre che vi siano differenze piuttosto rilevanti tra l'aria calda nella parte più alta dell'edificio e l'aria esterna.

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 dei 25-30% e luci di 7-8 m se ad una sola falda e 14-15 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 colmo. È buona norma (Bruce, 1978) adottare superfici delle aperture di ingresso dell'aria almeno pari al doppio di quelle di uscita.

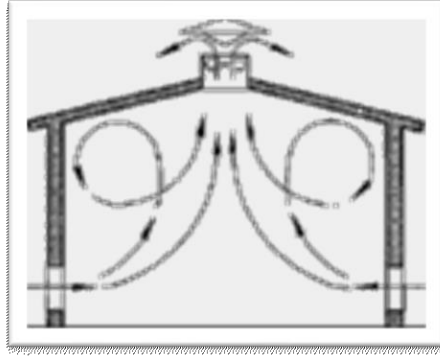


Figura 5 Flussi d'aria causati dall'effetto camino

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 abbeveraggio 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  $C_e$  [ $\text{kgCO}_2/\text{kg}_{\text{aria}}$ ] la concentrazione di anidride carbonica nell'aria e con  $C_i$  [ $\text{kgCO}_2/\text{kg}_{\text{aria}}$ ] 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 (Lilleng, 1989):

$$Q_v = \frac{Q_{ac}}{C_i - C_e}$$

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.

### 3.1.3 Dimensionamento aperture ventilazione naturale

È possibile ricavare la seguente espressione approssimata per la quantità d'aria che, in un dato intervallo di tempo fluisce attraverso un'apertura:

$$W = 4382 [0,425Af - 0,1126Af^2 + 0,017 Af^3][0,383 (t/60) - 0,027 (t/60)^2 + 0,0038 (t/60)^3][3,71 (\Delta t/25) - 5,27 (\Delta t/25)^2 + 2,56 (\Delta t/25)^3]h^{0,5}$$

(Marocco, Orlandi, 2000)

con:

W = quantità d'aria che fluisce attraverso l'apertura (mc)

t = tempo di apertura della finestra (min)

Af = superficie della finestra (mq)

$\Delta t$  = differenza di temperatura tra l'aria interna ed esterna (°C)

h = altezza della finestra (m)

è importante anche la posizione verticale delle chiusure presenti:

- se l'obiettivo è il raffrescamento corporeo le chiusure devono essere collocate ad altezza d'uomo,
- se l'obiettivo è il raffrescamento della massa muraria la chiusura d'entrata (non necessariamente quella d'uscita) deve essere posizionata vicino alla massa da raffrescare, al soffitto o al pavimento.

L'aria, come tutti i fluidi, a causa della legge di Bernoulli ha una diminuzione di pressione in corrispondenza di un aumento di velocità e quando una corrente d'aria è costretta ad attraversare una sezione più piccola si ha un aumento della velocità e una diminuzione della pressione in corrispondenza della strozzatura.

Questi effetti possono essere utilizzati per aumentare il tiraggio:

- un'area di apertura di ingresso inferiore all'area in uscita determina, a parità di altri fattori, un aumento della velocità massima del flusso d'aria interno rispetto a quella del vento all'esterno della chiusura;
- un'area di ingresso superiore a quella di uscita determina un decremento della velocità interna rispetto all'aria all'esterno;
- un'area di ingresso uguale determina il minore scostamento tra velocità dell'aria interna e velocità esterna.

## **3.2 La ventilazione artificiale**

La ventilazione artificiale è necessaria nei climi caldi e nelle porcilaie con pavimento fessurato per allontanare i gas nocivi, specialmente in estate.

In genere viene utilizzato un sistema a depressione considerando il minor costo.

Il controllo del sistema deve essere affidato ad una centralina che monitorizzi la temperatura e l'umidità. Deve essere presente un impianto di riserva da attivare in caso di guasto del sistema principale e un sistema di allarme che segnali tempestivamente i guasti all'allevatore.

### **3.2.1 Impianti automatici o meccanici**

Ogni impianto automatico o meccanico indispensabile per la salute ed il benessere dei suini deve essere ispezionato almeno una volta al giorno. Gli eventuali difetti riscontrati devono essere eliminati immediatamente; se ciò non fosse possibile, occorrerebbe prendere le misure adeguate a salvaguardare la salute ed il benessere degli animali. Se la salute ed il benessere degli animali dipendono da un impianto di ventilazione artificiale, deve essere previsto un adeguato impianto di riserva per garantire un ricambio di aria sufficiente a salvaguardare la salute ed il benessere degli animali.

In caso di guasto all'impianto deve essere previsto un sistema di allarme che segnali il guasto.

Detto sistema di allarme deve essere sottoposto a controlli regolari. (D.L. 146/2001)

Solitamente, nei moderni allevamenti suini, gli impianti automatici riguardano l'alimentazione, il riscaldamento e la ventilazione. Per quanto riguarda la ventilazione, in un contesto di ventilazione naturale, gli automatismi possono essere limitati all'apertura di finestre e capolino, mentre in caso di ventilazione dinamica (artificiale) il controllo elettronico si estende anche ai ventilatori.

Poiché il blocco, anche temporaneo, di un impianto di ventilazione esclusivamente artificiale determina un rapido accumulo dei gas ambientali e può causare, nel volgere di alcune ore, la

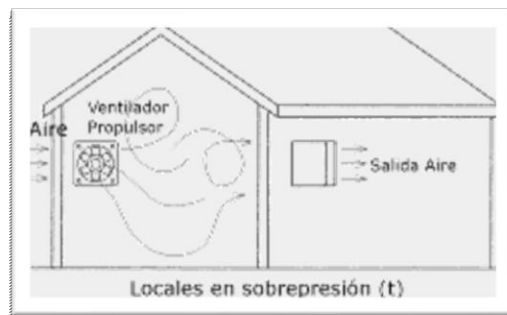
morte degli animali presenti, il Legislatore ha previsto sia un impianto sostitutivo che entri in funzione in caso di blocco dell'impianto principale che un idoneo sistema di allarme che segnali il guasto in modo certo. Purtroppo, nonostante sia condiviso il rischio di asfissia, non tutti gli impianti non sono ancora dotati di tali sistemi di allarme e soccorso.

Il controllo della presenza e dell'efficienza dei sistemi di allarme, oltre a salvaguardare il benessere degli animali, pone al riparo l'Allevatore dai rischi di malfunzionamento degli impianti.

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.

La ventilazione in sovrappressione si ottiene soffiando aria in un locale, portandolo ad una sovrappressione interna rispetto a quella atmosferica. L'aria fluisce quindi verso l'esterno dalle altre aperture, così, l'aria pulita immessa dall'esterno sostituisce quella già presente con agenti inquinanti che va all'esterno.



*Figura 6 Locale con ventilazione in sovrappressione*

La ventilazione per depressione, invece, si ottiene collocando il ventilatore in modo da estrarre l'aria dal locale che quindi va in depressione rispetto alla pressione atmosferica. L'aria pulita entra nel locale tramite adeguate aperture realizzando una ventilazione con effetti uguali a quella precedente.



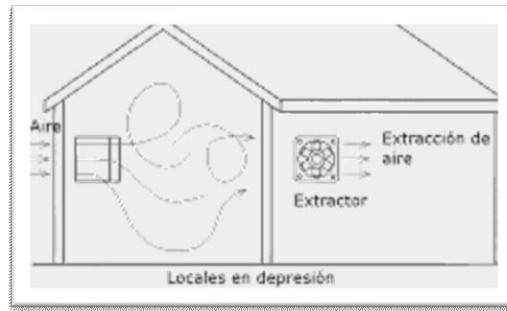


Figura 7 Locale con ventilazione in depressione

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 (Navarotto, 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 ricambio e movimento dell'aria all'interno dei locali.

Una ventilazione è efficiente quando è in grado di rimuovere le sostanze inquinanti dall'ambiente. Esiste dunque una "efficienza di ventilazione", che definisce quanto più veloce venga rimosso un inquinante dall'ambiente (Manuale degli Impianti di Climatizzazione). Ovvero che il sistema di distribuzione deve diffondere uniformemente l'aria nel volume occupato, per evitare che si formino zone di aria pulita e zone di aria contaminata. Pertanto, l'aria immessa deve potersi miscelare in modo omogeneo con quella presente.

### 3.3 L'efficienza di ventilazione

$$\varepsilon_v = \frac{C_e - c_s}{C_i - C_s}$$

Dove:

$C_e$ : concentrazione dell'inquinante nell'aria in uscita

$C_s$ : concentrazione dell'inquinante nell'aria in ingresso

$C_i$ : concentrazione dell'inquinante nella zona all'interno della struttura

In caso di miscelazione perfetta il risultato è pari a 1.

La ventilazione è regolata attraverso due approcci:

- VENTILATION RATE che stabilisce i valori minimi di portata d'aria di ricambio nell'ambiente. Si applica nell'ipotesi di immissione di aria esterna pulita, in edifici lontani da zone densamente popolate o zone industriali.
- INDOOR AIR QUALITY che stabilisce i valori massimi della concentrazione per gli inquinanti ammessi nell'ambiente. Specifica, perciò, la quantità d'aria esterna che serve per miscelare quella interna per poter contenere il livello di concentrazione degli inquinanti nei limiti di Legge.

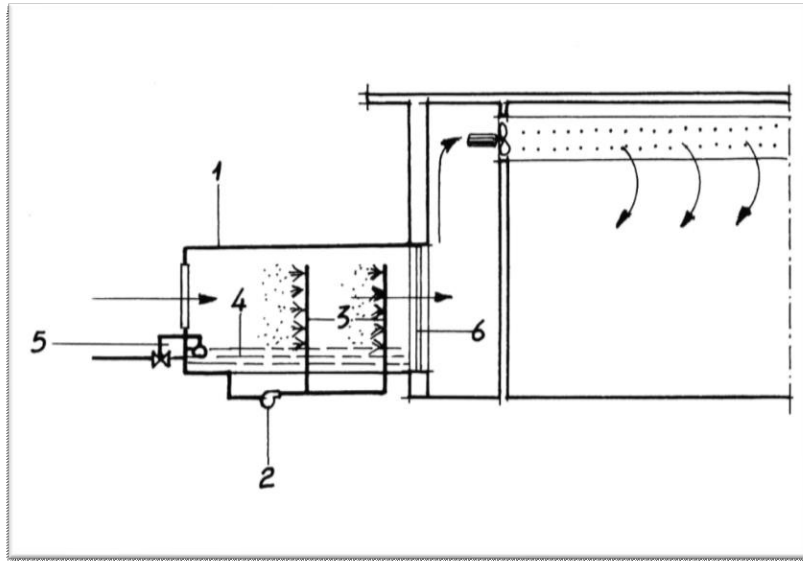
### **3.4 I sistemi di ventilazione artificiale**

Avendo fatto una macro-distinzione tra ventilazione per sovrappressione e depressione da queste due tipologie si possono sviluppare svariate soluzioni che differiscono tra loro per alcune caratteristiche. Queste soluzioni vanno scelte ed utilizzate in base alle necessità dell'allevamento e in funzione della geometria del capannone per sfruttarle al meglio e per far lavorare il sistema nel modo più efficiente possibile.

#### **3.4.1 Il raffrescamento evaporativo**

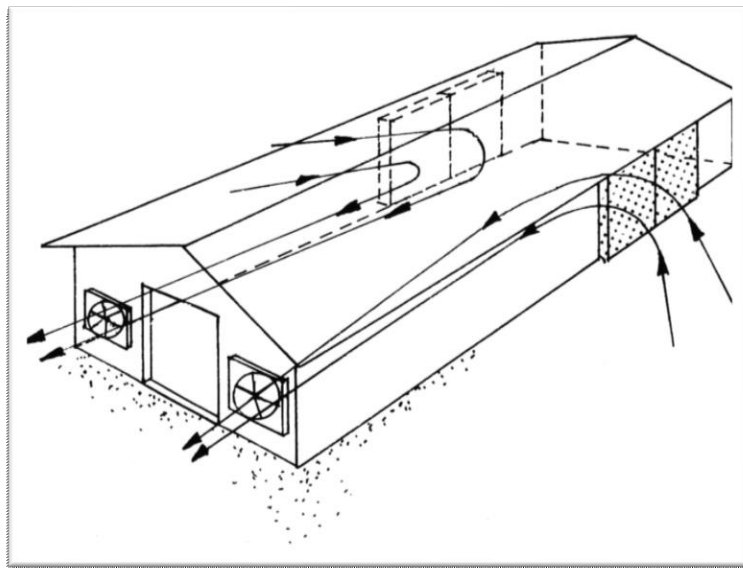
Il raffrescamento evaporativo dell'aria rappresenta un mezzo efficace per abbassarne la temperatura in quanto, attraverso processi adiabatici di evaporazione di acqua, una parte del calore sensibile dell'aria è convertito in calore latente con conseguente diminuzione della temperatura al bulbo asciutto 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. 8), 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.



*Figura 8 Esempio di impianto di raffrescamento evaporativo a saturatori adiabatici*

Nel secondo caso (fig.9), alle aperture di ingresso dell'aria vengono 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.



*Figura 9 Esempio di impianto di raffrescamento evaporativo a filtri umidi*

Impianti ben dimensionati ed accuratamente gestiti consentono di ottenere, nelle ore più calde della giornata, temperature interne 2-3 ° C minori di quelle esterne e quindi 5-6 ° 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.

Per il dimensionamento di un impianto di raffrescamento evaporativo, note la temperatura e l'umidità relativa dell'aria esterna al 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):

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

dove:

- $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono tre fattori che valgono 2,36,  $2,87 \times 10^3$  e -41,50 per i suini da ingrasso;
- $\phi_s$  [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;
- $t_u$  [°C] e  $m_u$  [ $\text{kg}_{\text{acqua}}\text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$ ] sono, rispettivamente, la temperatura e l'umidità specifica dell'aria che, dopo avere attraversato il raffrescatore evaporativo, entra nell'ambiente.

Note la temperatura  $t_e$  [°C] e l'umidità relativa  $\phi_e$  dell'aria esterna, fissata l'umidità relativa  $\phi_u$  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):

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

dove:

- $c_{pa}$  [ $\text{kJkg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ ] è il calore specifico dell'aria;
- $c_{pv}$  [ $\text{kJkg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ ] è il calore specifico del vapore d'acqua;
- $h_{go}$  [ $\text{kJkg}^{-1}$ ] è il calore di vaporizzazione dell'acqua alla temperatura di 0°C;
- $m_e$  [ $\text{kg}_{\text{acqua}}\text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$ ] e  $m_u$  [ $\text{kg}_{\text{acqua}}\text{kg}_{\text{aria}}^{-1}$ ], ricavate con le relazioni:

$$m_e = \frac{0,622 \varphi_e P_s(t_e)}{P_{atm} - \varphi_e P_s(t_e)}$$

$$m_u = \frac{0,622 \varphi_u P_s(t_u)}{P_{atm} - \varphi_u P_s(t_u)}$$

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):

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

La temperatura  $t_i$ [°C] e l'umidità assoluta  $m_i$ [kg<sub>acqua</sub>kg<sub>aria</sub><sup>-1</sup>] dell'aria all'interno dell'ambiente di allevamento sono date, rispettivamente, da (Chiappini, 1988):

$$t_i = \frac{\phi_s + \phi_r}{C_{pa} q_v} + t_u$$

$$m_i = \frac{q_p}{q_v} + m_u$$

dove  $\phi_r$ [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  $\varphi_i$  in funzione di  $t_i$  e  $m_i$  dalla relazione del tipo (10) e (11).

Poiché l'aria immessa negli ambienti è umida, il raffrescamento 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.

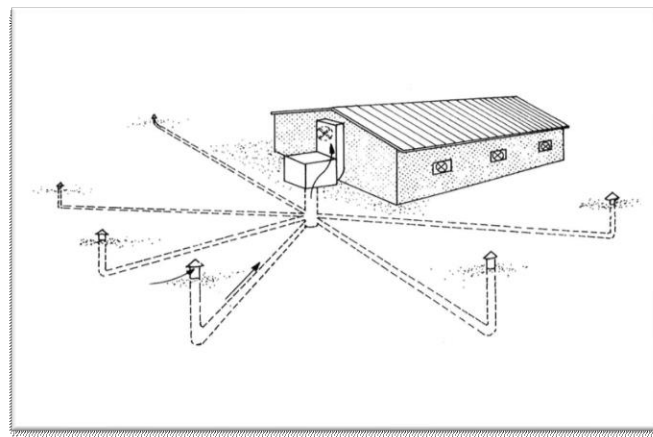
Il raffrescamento evaporativo può essere impiegato anche per ridurre la temperatura delle coperture degli edifici zootecnici spruzzando acqua sulla superficie esterna del tetto.

L'acqua evaporando assorbe calore dalla copertura riducendone la temperatura con conseguente diminuzione dell'energia termica irradiata dalla superficie inferiore di quest'ultima.

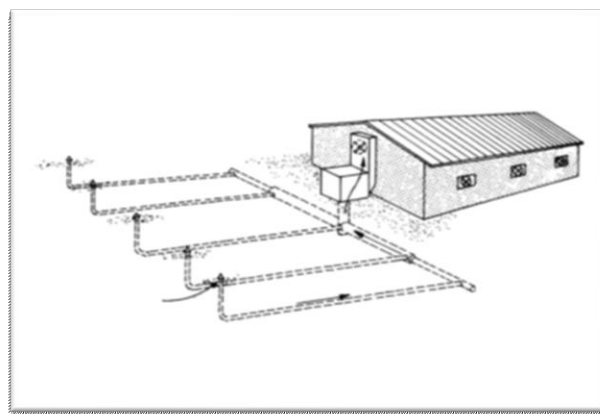
### 3.4.2 Il raffrescamento dell'aria mediante tubi interrati

Un altro tipo di intervento volta al raffrescamento all'interno del fabbricato consiste nel convogliare l'aria di ventilazione attraverso tubi interrati prima di immetterla 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.



*Figura 10 Esempio tubi disposti a raggiera*



*Figura 11 Esempio tubi disposti a pettine*

La prima disposizione, a causa della distribuzione a semi cerchio 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 1,5-2,0 m, 10 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 dei ventilatori.

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 4-7 m di tubo per ogni 100 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> di portata di ventilazione.

Stabilito il numero dei tubi e fissata la velocità  $v$  dell'aria nei tubi nell'intervallo compreso tra 4 ms<sup>-1</sup> e 6 ms<sup>-1</sup> (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 una minima 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:

$$R_d = f \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

$$R_c = r \frac{\rho v^2}{2}$$

dove  $\rho$  [kgm<sup>-3</sup>] 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 ( $10^4 < Re < 10^7$ ), è dato dalla relazione empirica (Parolini et al., 1983):

$$f = 0,046 Re^{-0,2}$$

con

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$\nu$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] 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 -10 ° C più basse della temperatura esterna al fabbricato con abbassamenti massimi di 12-15°C.

### 3.4.3 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 dotato di un sistema di raffrescamento a pompa di calore (Chiumenti e Bizzotto, 1984), hanno evidenziato che, in presenza di temperature massime giornaliere comprese tra 35 e 39,5°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.

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 Ouwerkerk, 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.

### **3.5 Progettazione della struttura**

Per individuare i parametri da considerare per dimensionare la struttura ci si basa sulla normativa di riferimento: decreto legislativo 7 luglio 2011, n. 122.

Attuazione della direttiva 2008/120/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini.

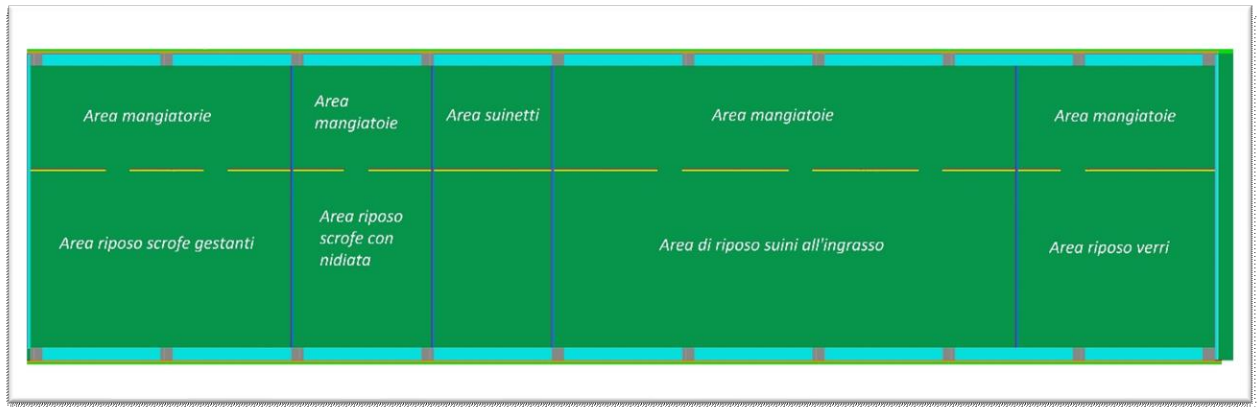
Le superfici libere per ciascun suinetto o suino all'ingrasso allevato in gruppo escluse le scrofette dopo la fecondazione e le scrofe devono essere almeno:

- 0,15 m<sup>2</sup> per suini di peso ≤ 10 kg
- 0,20 m<sup>2</sup> per suini tra 10-20 kg
- 0,30 m<sup>2</sup> per suini tra 20-30 kg
- 0,40 m<sup>2</sup> per suini tra 30-50 kg
- 0,55 m<sup>2</sup> per suini tra 50-85 kg
- 0,65 m<sup>2</sup> per suini tra 85-110 kg
- 1,00 m<sup>2</sup> per suini di peso > 110 kg

per ciascuna scroffetta dopo la fecondazione 1,64 m<sup>2</sup> e per ciascuna scrofa 2,25 m<sup>2</sup> se allevate in gruppo. Se sono meno di sei animali le superfici libere devono essere aumentate del 10%, se sono 40 o più animali possono essere ridotte del 10%.

Per progettare la stalla di un allevamento che può ospitare 1000 suini, quindi, è necessario edificare un edificio di almeno 1000 m<sup>2</sup>, infatti, possiamo considerare, su un totale di 1000 capi, circa il 65% di suini all'ingrasso, il 10% di verri, il 10% di scrofe gestanti, il 5% di scrofe con nidiata e il 10% di suinetti.

- Per i suini all'ingrasso e verri saranno quindi necessari almeno 750 m<sup>2</sup>
- Per le scrofe serviranno 307 m<sup>2</sup>
- Per i suinetti saranno necessari 55 m<sup>2</sup>



*Figura 12 Suddivisione recinti*

Alla luce di questi dati occorre edificare un capannone di almeno 1100 m<sup>2</sup> tenendo conto di tutte le esigenze degli animali e cercando di adottare soluzioni costruttive che rendano poi i sistemi di ventilazione il più efficienti possibili.

Si pensa quindi ad una struttura che si sviluppa longitudinalmente, con una lunghezza di 75 m e una larghezza di 15 m.



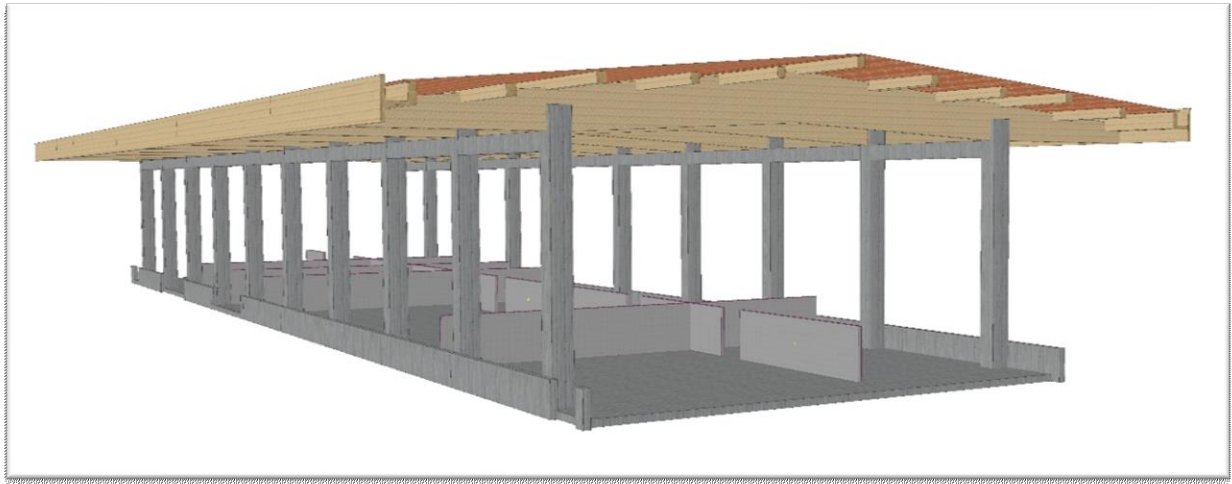
*Figura 13 Vista frontale della struttura*

Dal punto di vista della progettazione strutturale e i materiali utilizzati la stalla è stata pensata con una sporgenza di 5 m che protegge la struttura e le aperture dalle intemperie e crea spazio utilizzabile per il rimessaggio delle attrezzature ottimizzando gli spazi.

Un altro vantaggio che si ha da una progettazione di questo tipo è avere una copertura con un'elevata superficie che può essere utilizzata per l'installazione di impianti fotovoltaici che riducono i costi di energia elettrica.

In particolare, con una luce di 15 m, che posiziona il colmo a 7,50 m dai pilastri, la sporgenza pone quasi al centro della falda il pilastro in modo tale da far scaricare verticalmente sul pilastro tutti i sovraccarichi variabili, in questo modo si allontanano pericoli come carichi neve dovuti a copiose e impreviste nevicate.

Dividendo opportunamente all'interno gli spazi necessari ad ogni classe di suini precedentemente definite, facendo distinzione e dividendo ulteriormente per ognuna di esse i locali di riposo e quelli dove viene distribuito il mangime, c'è quindi una zona cosiddetta "di riposo" dove i suini passano la maggior parte del tempo e zone utilizzate dagli animali sono per nutrirsi.



*Figura 14 Schema di recinzioni per separare la zona di riposo e la zona con le mangiatoie*

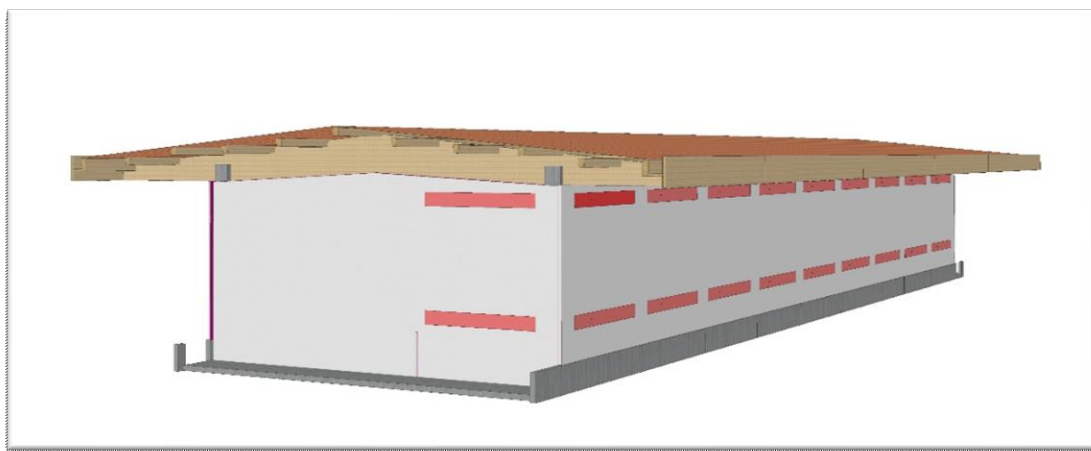
Per garantire un'adeguata portata d'aria e di luce devono essere disposte delle aperture.

Dai dati precedentemente raccolti sappiamo che per un sistema di ventilazione solamente naturale sono necessarie aperture di:

- 0,05 m<sup>2</sup>/capo per i suinetti
- 0,07 m<sup>2</sup>/capo per i suini all'ingrasso
- 0,1 m<sup>2</sup>/capo per le scrofe

Serviranno quindi un totale di 68 m<sup>2</sup> di aperture disposte in modo da ottimizzare al meglio la circolazione dell'aria e l'effetto camino a tal proposito la larghezza di progetto è proprio 15 m, misura alla quale è più efficace l'effetto camino se si hanno due falde.

Le aperture previste in questo progetto hanno una superficie complessiva di 102,5 m<sup>2</sup>.



*Figura 15 Struttura con aperture per la ventilazione naturale*

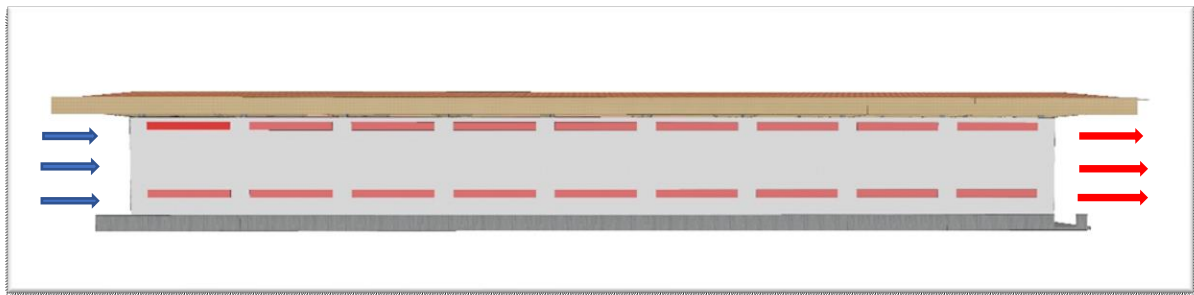
Anche se l'obiettivo è sfruttare al meglio tutte le risorse e le conoscenze per progettare un impianto di ventilazione all'avanguardia, la struttura sarà dotata di tutte le aperture necessarie a garantire benessere con la sola ventilazione naturale poiché:

- Quando le condizioni climatiche lo permettono si può utilizzare la sola ventilazione naturale per assicurare il benessere agli animali limitando così consumi di energia ed essendo in questo modo più ecosostenibile
- In caso di rotture dell'impianto di ventilazione artificiale la ventilazione naturale può comunque garantire adeguate portate d'aria.

Si pensa quindi ad un impianto ibrido che si avvale sia della ventilazione naturale che artificiale.

Così come la ventilazione naturale è progettata per garantire da sola il ricircolo dell'aria anche l'impianto di ventilazione deve poter lavorare e garantire da solo l'afflusso di aria. A tale scopo, data la lunghezza imponente della stalla viene adottato sia il sistema di ventilazione per sovrappressione, su un lato della stalla, che immette aria dall'esterno, sia il sistema di ventilazione per depressione che tira fuori l'aria dall'interno, dal lato opposto della stalla.

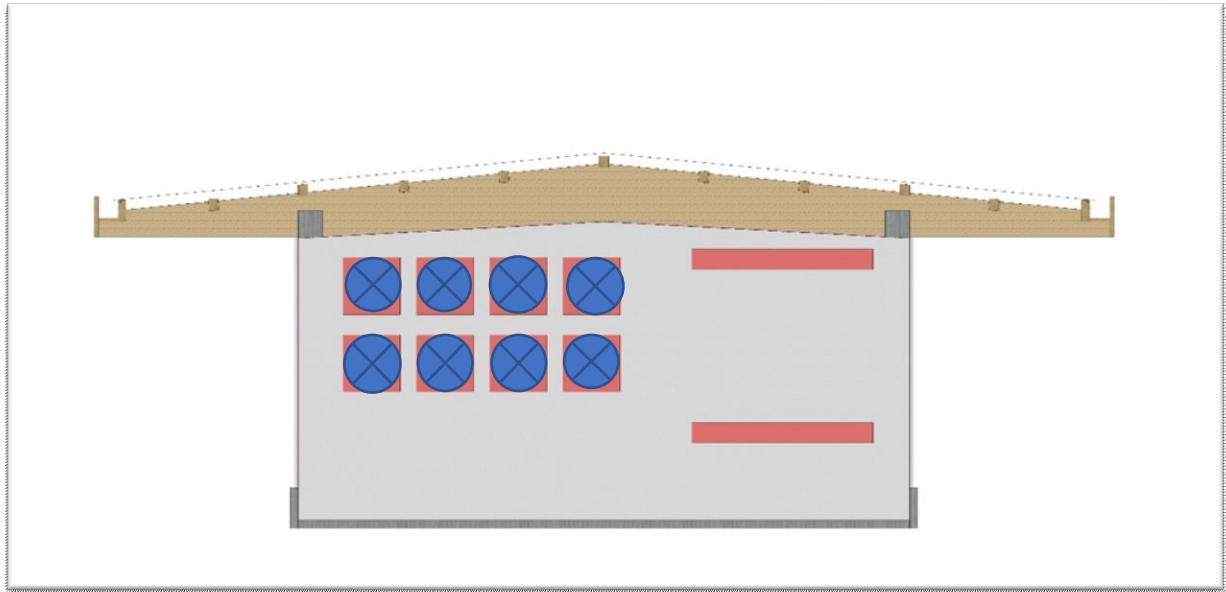
Il sistema deve garantire una portata d'aria adeguata ai 1000 suini.



*Figura 16 Schema di circolazione forzata dell'aria*

Le ventole per la sovrappressione fanno entrare l'aria pulita (in blu) mentre le ventole per la depressione fanno uscire l'aria dall'interno (in rosso) (fig.16).

In una situazione critica, in cui il sistema, se erroneamente progettato, può risultare insufficiente o inadeguato, come la stagione estiva in cui le temperature più alte richiedono portate e velocità dell'aria più alte, dai dati precedentemente ricavati calcoliamo che è necessaria una portata di 155.000 m<sup>3</sup>/h.



*Figura 17 Installazione ventole per la ventilazione artificiale*

Per ottenere una tale portata si utilizzano, su un lato della struttura, più ventole con asse orizzontale ad alta portata con il diametro più grande possibile, qui utilizziamo un diametro di 140 cm in modo tale da poterla far girare al minimo consumando meno e senza creare fastidiose correnti all'interno della struttura.



*Figura 18 esempio di ventola ad alta portata*

Per una maggiore efficienza, riducendo i consumi le ventole sono installate solo in corrispondenza delle aree di riposo degli animali essendo queste le zone che i suini prediligono e in cui passano la maggior parte del tempo.

Per far sì che l'aria fatta entrare dalle ventole per la sovrappressione sia più fresca si potrebbe convogliare l'aria di ventilazione attraverso tubi interrati prima di immetterla nell'ambiente di allevamento. Nei mesi estivi, essendo la temperatura del terreno è più bassa di quella dell'ambiente, l'aria passando all'interno di tubi interrati cede calore al terreno raffreddandosi.



*Figura 19 Struttura con impianto di ventilazione misto*

Quando i suini si spostano nell'altro recinto per mangiare, un raschiatore pulisce le aree di riposo rimuovendo liquami e le indirizza nelle vasche di stoccaggio. I liquami saranno poi sparsi sui terreni circostanti nei periodi consentiti ovvero nei giorni in cui non ci sono precipitazioni che potrebbero veicolare il liquame nelle falde acquifere o farlo ruscellare fino a corsi d'acqua.

Dalle vasche di stoccaggio, quindi, viene messo in delle cisterne trainate da trattori che lo spargono sui campi cercando di distribuirlo raso terra per evitare di liberare in atmosfera le sostanze volatili che sono causa di inquinamento da PM sia primario che secondario.



*Figura 20 Raschiatore per la rimozione dei liquami*

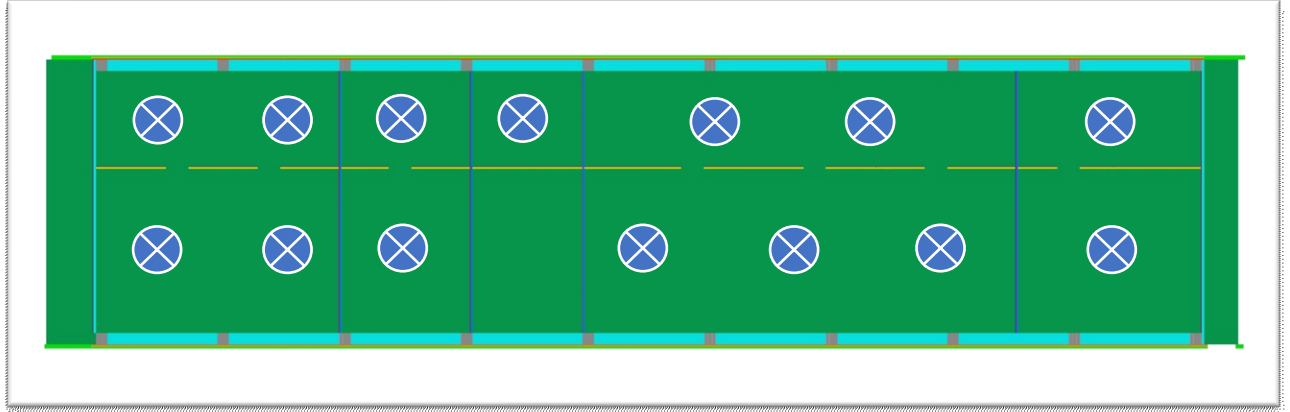


*Figura 21 Vasca di stoccaggio dei liquami*

Per garantire invece un'adeguata velocità dell'aria in base alle temperature, dato che aumentando la velocità dell'aria di 0,1 m/a la temperatura percepita diminuisce di 1°C, devono essere installate delle ventole con asse verticale in modo da colpire i suini dall'alto, non creando correnti d'aria che colpiscono i suini solo da un lato in quanto questo risulterebbe fastidioso più che raffrescante.

La velocità delle ventole varia in funzione della temperatura, più la temperatura è alta più si deve aumentare la velocità dell'aria. Le ventole, applicate su tutte le recinzioni, hanno velocità diverse per ogni recinzione in quanto queste ospitano suini con caratteristiche e necessità differenti.





*Figura 22 Disposizione ventole per la velocità dell'aria*

Sia le ventole di portata che le ventole utilizzate per aumentare la velocità dell'aria potrebbero essere alimentate da un impianto fotovoltaico che, sfruttando la luce del sole, produce energia elettrica pulita e rinnovabile riducendo le emissioni inquinanti. L'impianto installato sulla copertura della struttura che è di 1875 m<sup>2</sup>, abbattendo così i costi per l'energia elettrica.

## Capitolo 4

Avendo come obiettivo il benessere degli animali negli allevamenti intensivi, in particolare in questo testo ci si occupa dello studio delle necessità e dei bisogni dei suini, si è fatta un'analisi dei pro e soprattutto dei contro che si riscontrano in un allevamento intensivo.

Si è infatti visto come un allevamento di tipo intensivo sia molto inquinante per l'aria così come per le falde acquifere, come in questi allevamenti diventi più facile lo sviluppo di infezioni animali che potrebbero essere anche passate all'uomo. Si è visto anche che questi allevamenti sono una delle cause della deforestazione che porta di conseguenza anche a una perdita di biodiversità, inoltre vengono messe a dura prova le risorse idriche, buona parte di queste, infatti, sono consumate dagli allevamenti intensivi.

Alla luce di tutte queste problematiche, che hanno sull'altro piatto della bilancia solo una produzione a ritmi industriali con conseguenti benefici solo di tipo economico, si è voluto spostare l'attenzione più sul benessere degli animali allevati, in particolare sul ricambio dell'aria all'interno della stalla e sulle temperature alle quali vivono al meglio i suini, tenendo conto dell'efficienza e dei consumi, quindi anche dei costi e cercando di eliminare sprechi.

Sono state infatti condotte ricerche al fine di recuperare più dati possibile per quanto riguarda i parametri microclimatici che vanno a influire sul benessere degli animali. Sono stati studiati i diversi sistemi di ventilazione sia naturale che artificiale illustrando le varie soluzioni.

Tenendo conto delle ricerche fatte è stata progettata una struttura in grado di ospitare 1000 suini e garantire loro un adeguato livello di benessere che poi va a beneficiare anche sulla produttività della struttura.

Sono state infatti progettate le aperture per la ventilazione naturale e le ventole per la ventilazione artificiale e in funzione delle normative e dai dati ricavati sono state installati sistemi in grado di arrivare a garantire anche doppio dell'apporto di aria necessaria, inoltre anche se la struttura possiede appunto un sistema di ventilazione di tipo misto è in grado di assicurare sempre benessere agli animali anche avendo in funzione uno solo dei sistemi.

Sono stati suddivisi inoltre i recinti facendo una macro-distinzione su zone di riposo, dove i suini passano la maggior parte del tempo, e zone utilizzate dagli animali solo per nutrirsi, questo per concentrare gli effetti del sistema nelle aree più sfruttate dai suini, aumentando l'efficienza della struttura pensando anche a un sistema di rimozione dei liquami che permette di mantenere la stalla e gli animali sempre puliti riscontrando anche benefici dal punto di vista ambientale in particolare salvaguardando le falde acquifere e riducendo le emissioni.

## Bibliografia

- Ventilation et qualité de l'air dans l'habitat, Michel Cohas
- Midwest Plan Service. Mechanical ventilating systems for livestock housing. First edition, Midwest Plan Service, MWPS-32, Iowa State University, Ames, Iowa. 1990.
- L.A. Blair, Production and Marketing Branch, Saskatchewan
- Department of Agriculture, Melfort
- A. Castell, Canada Research Station, Canada Department of agriculture, Melfort
- Pork Production Reference Guide, Prairie Swine Centre
- Bianca W., 1976. The significance of meteorology in animal production. International Journal of Biometeorology 20,139-156
- Linee guida per il benessere degli animali, regione Lombardia, 2008
- Chiumenti, 1991
- Hahn, 1976
- Bockisch, et al., 1999
- Hillman, et al., 2004
- Valori climatici della stalla e loro misura nella detenzione di suini, Ufficio federale della sicurezza alimentare e di veterinaria USAV
- Il benessere dei suini in allevamento, Alessandro Gastaldo, Paolo Rossi e Marzia Borciani
- Sicurezza in ambiente di lavoro rurale : i requisiti strutturali delle aziende agricole zootecniche e la biosicurezza, Servizio Veterinario Area C ASL AT
- I suini, Paolo Candotti
- Microclima nelle stalle da valutare con cura, Alessandra Ferretti
- Sistemi passivi ed impianti attivi per il controllo ambientale degli edifici per l'allevamento nei paesi a clima caldo, Giovanni Cascone

