

IL RUOLO DELL'INGEGNERIA PER L'AGRICOLTURA DEL 2000

V Convegno Nazionale A.I.G.R. 7 - 11 giugno 1993



ASSOCIAZIONE ITALIANA
DI GENIO RURALE



INTERNATIONAL COMMISSION
OF AGRICULTURAL ENGINEERING



UNIVERSITA' DEGLI STUDI
DELLA BASILICATA
DITEC

ANALISI FLUIDODINAMICA DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE NEI FABBRICATI ZOOTECNICI

Pietro PICUNO

Dipartimento Tecnico-Economico, Università della Basilicata, Potenza.

RIASSUNTO

Una corretta progettazione del sistema di ventilazione di un fabbricato per l'allevamento intensivo deve tenere conto di alcuni fattori specifici dell'ambiente confinato, quali la posizione, forma e dimensione delle aperture, la presenza all'interno di elementi costruttivi che potrebbero ostacolare il flusso d'aria nonché i livelli termici dell'aria ambiente e di ventilazione; tali fattori, infatti, potrebbero limitare anche notevolmente l'efficienza dell'impianto, determinando una incompleta miscelazione dell'aria ambiente con formazione di zone di ristagno e fenomeni di cortocircuitazione dell'aria.

Allo scopo di esaminare, sotto il profilo dell'efficacia nella distribuzione dell'aria di ventilazione e nell'allontanamento dei gas inquinanti, alcune tra le più diffuse soluzioni impiantistiche adottate per la ventilazione dei fabbricati zootecnici, è stata effettuata un'analisi fluidodinamica con l'ausilio di un modello alle differenze finite, ottenendo indicazioni sulle configurazioni geometriche più favorevoli ad una completa miscelazione dell'aria, sulle zone di più facile concentrazione dei contaminanti gassosi e, in definitiva, sull'efficienza del sistema di ventilazione nel suo complesso.

FLUID DYNAMICS ANALYSIS OF VENTILATION SYSTEM IN LIVESTOCK BUILDINGS

SUMMARY

An accurate design of an intensive livestock building ventilation system must consider some factors, like position, shape and size of inlets, obstacles to air flow and thermal levels of inside and ventilation air, that may considerably limit system efficiency due to an incomplete mixing of inside air, formation of stagnant zones and short-circuiting of ventilation air.

In order to study the efficacy in distributing ventilation air and removing gaseous contaminants of some of more common livestock building ventilation systems, a fluid dynamics analysis with a finite difference model was carried out, obtaining indications about geometrical configurations more favourable for a complete air mixing, about more likely gaseous contaminant concentration regions and, finally, about global ventilation system efficiency.

1. INTRODUZIONE

1. Foreword

Una corretta progettazione dell'impianto di ventilazione di un fabbricato zootecnico deve essere effettuata sulla base della necessità di mantenere a livelli accettabili per gli animali e per gli addetti i valori delle caratteristiche termoigrometriche dell'aria, nonché i livelli delle concentrazioni dei gas e delle polveri (11, 15).

Il calcolo della portata di ventilazione viene tradizionalmente condotto (3) nell'ipotesi di un'uniforme aerazione dell'ambiente confinato e di una completa miscelazione dell'aria all'interno della stalla nella quale, pertanto, le caratteristiche termoigrometriche e di concentrazione dei gas assumono valori pari a quelli riscontrabili nel punto di uscita (1). Tale assunzione, però, non tiene

conto di possibili fenomeni di cortocircuitazione dell'aria di ventilazione, che può attraversare la stalla dal punto di ingresso sino a quello di uscita senza mescolarsi con l'aria ambiente, nè di possibili formazioni di zone di ristagno determinate dalla particolare geometria del sistema di ventilazione adottato ovvero dalla presenza di elementi costruttivi (mangiatoie, muretti di separazione, ecc.) che possono deviare il flusso primario di ventilazione generando zone di flusso secondario in cui l'aria percorre una serie di orbite rotazionali.

Allo scopo di analizzare l'influenza che la scelta del sistema di ventilazione determina sull'efficienza nel funzionamento dell'impianto, ed in particolare sulla distribuzione delle principali specie gassose inquinanti, è stato condotto uno studio con l'ausilio di un codice di calcolo alle differenze finite che ha permesso di evidenziare, nel-

le configurazioni impiantistiche esaminate, le situazioni di scostamento dalle ipotesi di completa miscelazione dell'aria interna individuando contemporaneamente le zone di maggiore concentrazione dei contaminanti gassosi.

2. IL COMPORTAMENTO FLUIDODINAMICO DELL'ARIA DI VENTILAZIONE E LA DISTRIBUZIONE DEI GAS INQUINANTI NEI FABBRICATI ZOOTECNICI

2. Ventilation air fluid dynamics behaviour and gaseous contaminants distribution in live-stock buildings

Numerosi studi sono stati condotti allo scopo di analizzare l'influenza determinata sui filetti fluidi dell'aria di ventilazione da parte di:

-) caratteristiche geometriche e di forma dell'ambiente confinato;
-) soluzioni adottate per l'ingresso e l'estrazione dell'aria;
-) caratteristiche geometriche, forma e posizione di elementi costruttivi interni all'ambiente confinato;
-) livelli termici dell'aria interna all'ambiente confinato e di quella di ventilazione.

Un approccio volto a definire in termini globali la stabilità fluidodinamica del getto d'aria ha portato all'elaborazione del Numero di Archimede corretto (14) che rappresenta, da un punto di vista fisico, il rapporto adimensionale tra le pressioni statica e dinamica che governano il comportamento fluidodinamico del getto d'aria in ingresso. Per valori del Numero di Archimede corretto inferiori a 30 è stato osservato (14) come il getto rimane orizzontale, mentre per valori superiori a 75 l'aria di ventilazione tende a scendere verso gli strati più bassi immediatamente dopo il punto d'ingresso; nel caso di valori intermedi sono stati osservati comportamenti instabili del flusso d'aria e quindi condizioni ambientali variabili all'interno dell'allevamento.

Il Numero di Archimede corretto è stato impiegato per stimare lo scostamento dall'ipotesi di completa miscelazione dell'aria nell'ambiente confinato (2) ovvero per stabilire criteri per il controllo di getti d'aria di ventilazione molto più fredda di quella ambiente (9) in Paesi caratterizzati da climi rigidi; esso tuttavia non può rappresentare, da solo, un indice globale dell'efficienza dell'impianto di ventilazione poichè in esso non figurano una serie di parametri quali la presenza all'interno dell'ambiente di ostacoli, la posizione relativa dei punti di ingresso e di uscita dell'aria ed il "momento di getto" (8), ossia il rapporto tra la portata entrante e la configurazione tridimensionale dell'ambiente confinato.

Il comportamento fluidodinamico dei filetti all'interno degli ambienti di allevamento è stato oggetto di numerosi studi volti a definire in maniera puntuale le caratteristiche del campo di moto ed a studiare l'influenza esercitata su di esso da parte di una serie di fattori; in particolare, Randall (12) ha osservato, attraverso prove sperimentali condotte in un fabbricato suinicolo ventilato artificialmente, che il modello fluidodinamico che si instaura nell'ambiente è determinato dalla direzione e dalla temperatura dell'aria in ingresso e che su di esso ha un'influenza molto più marcata la posizione del punto d'ingresso dell'aria rispetto a quella del punto d'uscita. Randall e Battams (13), inoltre, hanno esaminato l'influenza esercitata sul modello fluidodinamico dell'aria da parte delle travi di supporto del solaio di copertura, sporgenti all'interno dell'ambiente.

Il modello di distribuzione dell'aria all'interno di ambienti confinati è stato oggetto più recentemente di analisi condotte mediante l'ausilio di modelli matematici di tipo turbolento, basati sulla soluzione numerica delle equazioni governanti il moto in una serie di punti in cui lo spazio si immagina discretizzato; tra essi, il modello più diffuso, noto come "k-ε" (ove k rappresenta l'energia cinetica turbolenta ed ε è il suo fattore di dissipazione), è stato impiegato da Choi et al. (4, 5) per analizzare la distribuzione dell'aria in un ambiente confinato, in assenza o in presenza di un ostacolo rettangolare posato all'interno sul pavimento.

Gli studi mirati ad esaminare l'efficacia della ventilazione da un punto di vista fluidodinamico sono stati soltanto di recente estesi all'esame della distribuzione dei gas inquinanti e delle polveri. In particolare, De Praetere et al. (6, 7) hanno condotto un esame dei modelli fluidodinamici e del loro effetto sulla distribuzione dell'ammoniaca all'interno di allevamenti suinicoli intensivi con pavimento fessurato; attraverso prove condotte in ambienti sperimentali è stato rilevato come dal punto di vista della generazione di ammoniaca lo spazio sottostante il pavimento fessurato va considerato come una parte essenziale dell'ambiente confinato poichè il flusso d'aria che lo attraversa esercita una diretta influenza sulla temperatura delle deiezioni, e quindi sul rilascio di gas inquinanti, nonchè sulla distribuzione dell'ammoniaca all'interno di tutto l'ambiente di allevamento.

Una metodologia basata su una procedura di tipo numerico per lo studio del comportamento fluidodinamico dell'aria in un modello in scala di un ambiente di allevamento di broilers ventilato artificialmente, unitamente all'esame della distribuzione dei contaminanti gassosi e delle polveri, infine, è stata di recente proposta (10) sulla base di un algoritmo di calcolo utilizzando una procedura alle differenze finite.

Lo stesso algoritmo di calcolo è stato impiegato in questa sede per l'analisi di differenti sistemi di ventilazione relativi ad uno stesso ambiente per l'allevamento intensivo, sotto l'aspetto dell'efficienza nella distribuzione dell'aria e dell'allontanamento dei gas inquinanti.

3. ANALISI NUMERICA DEL COMPORTAMENTO FLUIDODINAMICO DELL'ARIA DI VENTILAZIONE E DELLA DISTRIBUZIONE DEI GAS INQUINANTI

3. Numerical analysis of ventilation air fluid dynamics behaviour and gaseous contaminants distribution

3.1. Configurazioni esaminate e metodologia di calcolo

3.1. Examined configurations and calculation algorithm

Al fine di esaminare la capacità da parte di un modello matematico di fornire indicazioni circa il comportamento fluidodinamico dell'aria di ventilazione e la distribuzione dei gas inquinanti in funzione delle caratteristiche geometriche del sistema di ventilazione dell'ambiente confinato per differenti regimi di funzionamento, è stato im-

piegato un codice di calcolo alle differenze finite per l'analisi di due differenti sistemi di ventilazione artificiale relativi ad uno stesso ambiente di allevamento intensivo di sezione rettangolare 14.0 x 3.5 m (fig.1); il primo dei due schemi (fig. 1 A) prevede l'immissione della portata di ventilazione da aperture poste sulle sommità delle pareti laterali ed estrazione da un condotto verticale centrale, mentre nel secondo (fig. 1 B) la portata di ventilazione viene immessa dal soffitto, in posizione centrale, e l'estrazione avviene dalla sommità delle pareti laterali con condotti che consentono l'aspirazione dell'aria quasi a livello del pavimento. Ogni schema è stato esaminato per due diversi regimi di funzionamento caratterizzati da differenti valori della portata di ventilazione.

Il codice di calcolo impiegato, FLUENT (CREARE.x Inc., FLUENT Europe Ltd.) Vers. 3.03, è un algoritmo fluidodinamico di carattere generale, impiegabile per la modellizzazione di flussi di fluidi anche in presenza di gradienti termici e reazioni chimiche tra le specie costituenti il fluido. Il dominio esaminato viene discretizzato in un numero finito di celle elementari, in ciascuna delle quali vengono risolte le equazioni differenziali alle derivate parziali che governano il flusso fluidodinamico. la turbolenza. le eventuali reazioni chimi-

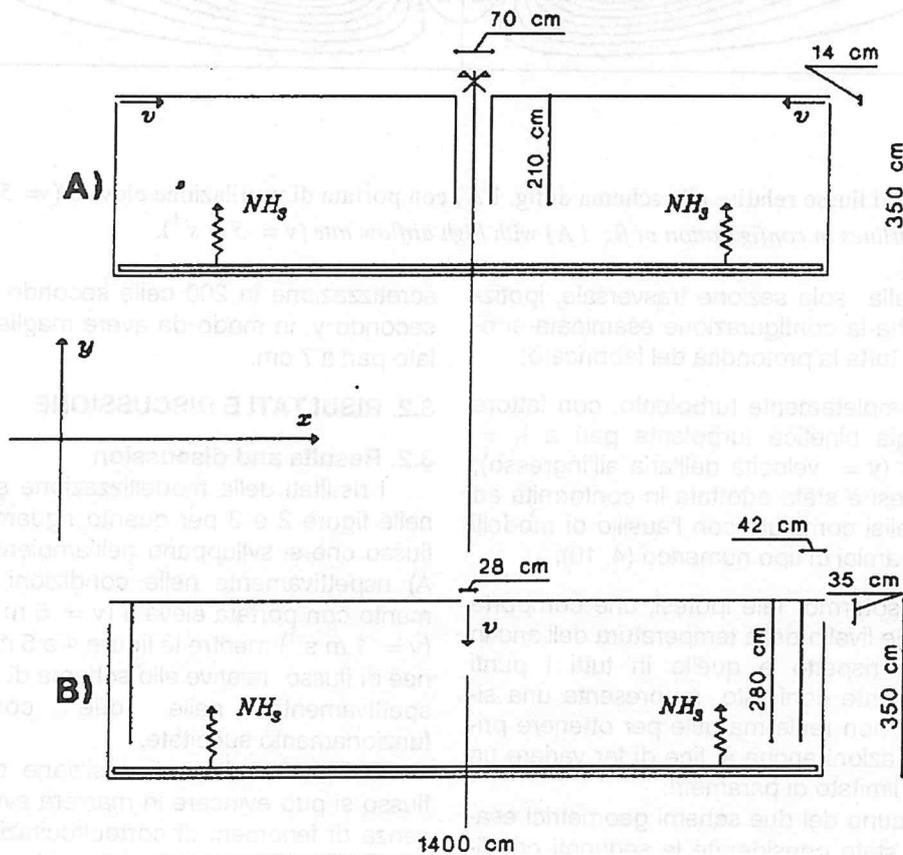


Fig. 1 - Configurazioni impiantistiche esaminate

Fig. 1 - Examined system configurations

che tra le specie presenti ed il trasferimento di calore.

La procedura di soluzione è di tipo iterativo, a causa della non-linearità e dell'interdipendenza delle equazioni differenziali; una volta raggiunta la convergenza la procedura di calcolo si arresta automaticamente ed è possibile ottenere rappresentazioni grafiche e/o valori quantitativi dei parametri termofluidodinamici coinvolti, in tutti i punti del dominio considerato.

L'analisi è stata condotta nelle seguenti ipotesi:

-) flusso stazionario, ossia tutti i parametri coinvolti sono stati considerati indipendenti dal tempo;
-) dominio bidimensionale; l'analisi è stata cioè

b) una concentrazione di NH_3 costante, pari al 10%, nelle celle adiacenti al pavimento, con componente di velocità secondo y pari a $+1 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$; per l'analisi della distribuzione dei gas si è preferito considerare soltanto l'ammoniaca, trascurando gli altri gas nocivi presenti all'interno dell'ambiente confinato, in modo da poter ottenere indicazioni circa l'efficacia dell'impianto di ventilazione nell'allontanamento di un singolo inquinante;

c) un profilo uniforme di velocità dell'aria all'ingresso pari a 5 oppure 1 m s^{-1} , per simulare condizioni di funzionamento con valori di portata di ventilazione rispettivamente elevata o ridotta.

L'analisi è stata condotta mediante una di-

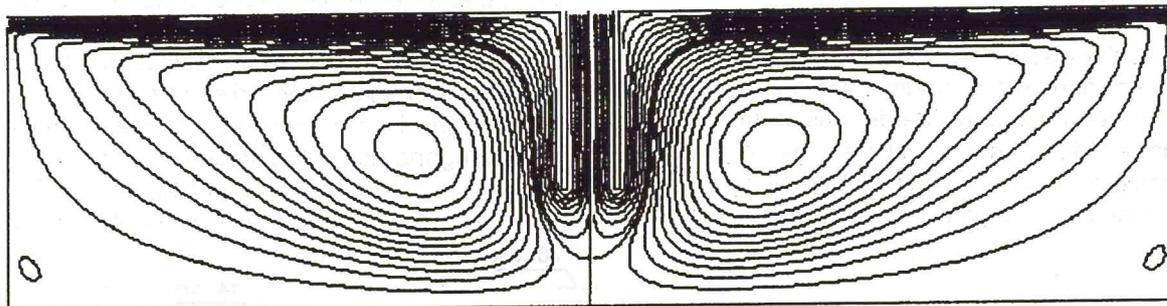


Fig. 2 - Linee di flusso relative allo schema di fig. 1 A) con portata di ventilazione elevata ($v = 5 \text{ m s}^{-1}$).

Fig. 2 - Streamlines in configuration of fig. 1 A) with high airflow rate ($v = 5 \text{ m s}^{-1}$).

limitata alla sola sezione trasversale, ipotizzando che la configurazione esaminata si ripeta per tutta la profondità del fabbricato;

-) moto completamente turbolento, con fattore di energia cinetica turbolenta pari a $k = 0.005 v^2$ ($v =$ velocità dell'aria all'ingresso); tale ipotesi è stata adottata in conformità ad altre analisi compiute con l'ausilio di modelli fluidodinamici di tipo numerico (4, 10);
-) campo isoterma; tale ipotesi, che comporta un uguale livello della temperatura dell'aria in ingresso rispetto a quello in tutti i punti dell'ambiente confinato, rappresenta una situazione non reale ma utile per ottenere prime indicazioni anche al fine di far variare un numero limitato di parametri.

Per ciascuno dei due schemi geometrici esaminati sono state considerate le seguenti condizioni al contorno:

- a) componenti della velocità nulle al contatto con le pareti;

scretizzazione in 200 celle secondo x e 50 celle secondo y, in modo da avere maglie quadrate di lato pari a 7 cm.

3.2. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.2. Results and discussion

I risultati della modellizzazione sono riportati nelle figure 2 e 3 per quanto riguarda le linee di flusso che si sviluppano nell'ambiente di figura 1 A) rispettivamente nelle condizioni di funzionamento con portata elevata ($v = 5 \text{ m s}^{-1}$) e ridotta ($v = 1 \text{ m s}^{-1}$) mentre le figure 4 e 5 mostrano le linee di flusso relative allo schema di figura 1 B) rispettivamente nelle due condizioni di funzionamento succitate.

Dall'esame della disposizione delle linee di flusso si può evincere in maniera evidente la presenza di fenomeni di cortocircuitazione e di formazione di aria stagnante; i primi, infatti, sono corrispondenti a linee di flusso sviluppantisi direttamente tra il punto di ingresso e quello d'uscita dell'aria, mentre le zone di aria stagnante sono

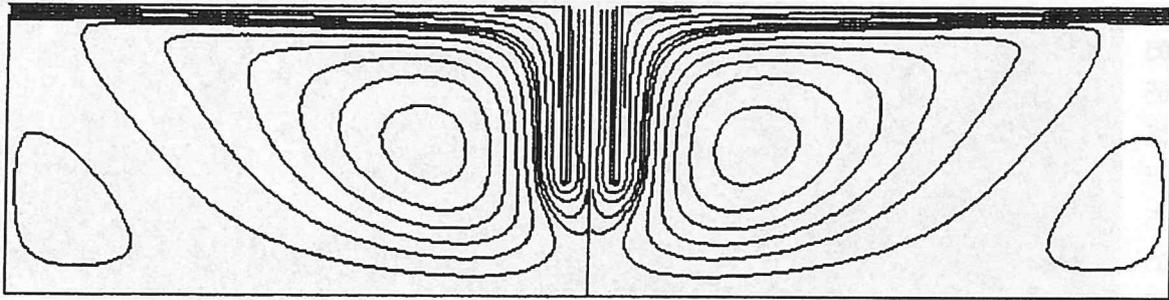


Fig. 3 - Linee di flusso relative allo schema di fig. 1 A) con portata di ventilazione ridotta ($v = 1 \text{ m s}^{-1}$).
 Fig. 3 - Streamlines in configuration of fig. 1 A) with low airflow rate ($v = 1 \text{ m s}^{-1}$).

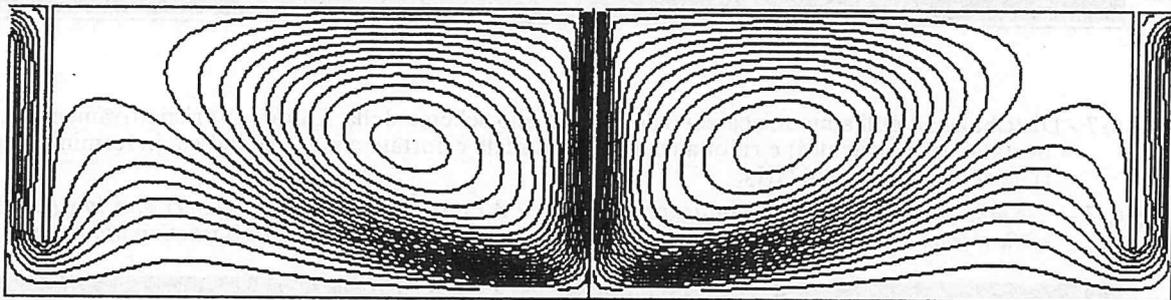


Fig. 4 - Linee di flusso relative allo schema di fig. 1 B) con portata di ventilazione elevata ($v = 5 \text{ m s}^{-1}$).
 Fig. 4 - Streamlines in configuration of fig. 1 B) with high airflow rate ($v = 5 \text{ m s}^{-1}$).

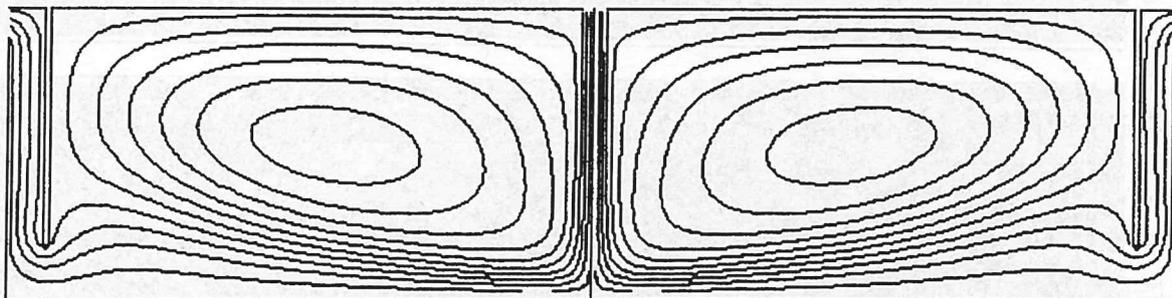


Fig. 5 - Linee di flusso relative allo schema di fig. 1 B) con portata di ventilazione ridotta ($v = 1 \text{ m s}^{-1}$).
 Fig. 5 - Streamlines in configuration of fig. 1 B) with low airflow rate ($v = 1 \text{ m s}^{-1}$).

evidenziate da linee di flusso richiuse su sè stesse e svincolate dal flusso d'aria primario.

In corrispondenza delle zone d'aria stagnante messe in evidenza dalla distribuzione delle linee

di flusso, si possono riconoscere le zone a più elevata concentrazione di NH_3 ; come si può notare infatti in particolare dalle figure 6 e 7, relative al sistema di ventilazione di figura 1 A) in condizioni

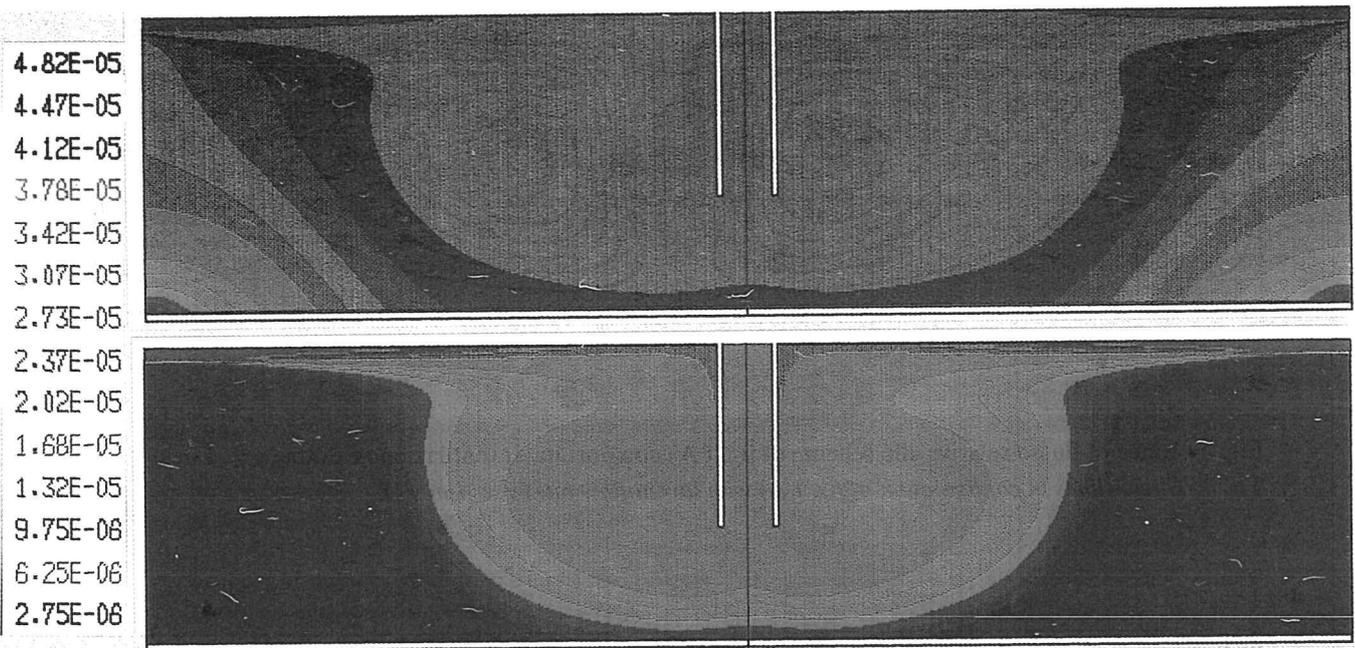


Fig. 6, 7 - Distribuzione dell'ammoniaca con riferimento allo schema della figura 1 A) rispettivamente con portata elevata (in alto) e ridotta (in basso); la scala riportata a margine indica, in termini unitari, le concentrazioni di NH_3 .

Fig. 6, 7 - Ammonia distribution in configuration of fig. 1 A) respectively for high (upper) and low (lower) airflow rate; the scale on the edge indicates NH_3 concentration expressed as a fraction of the unit.

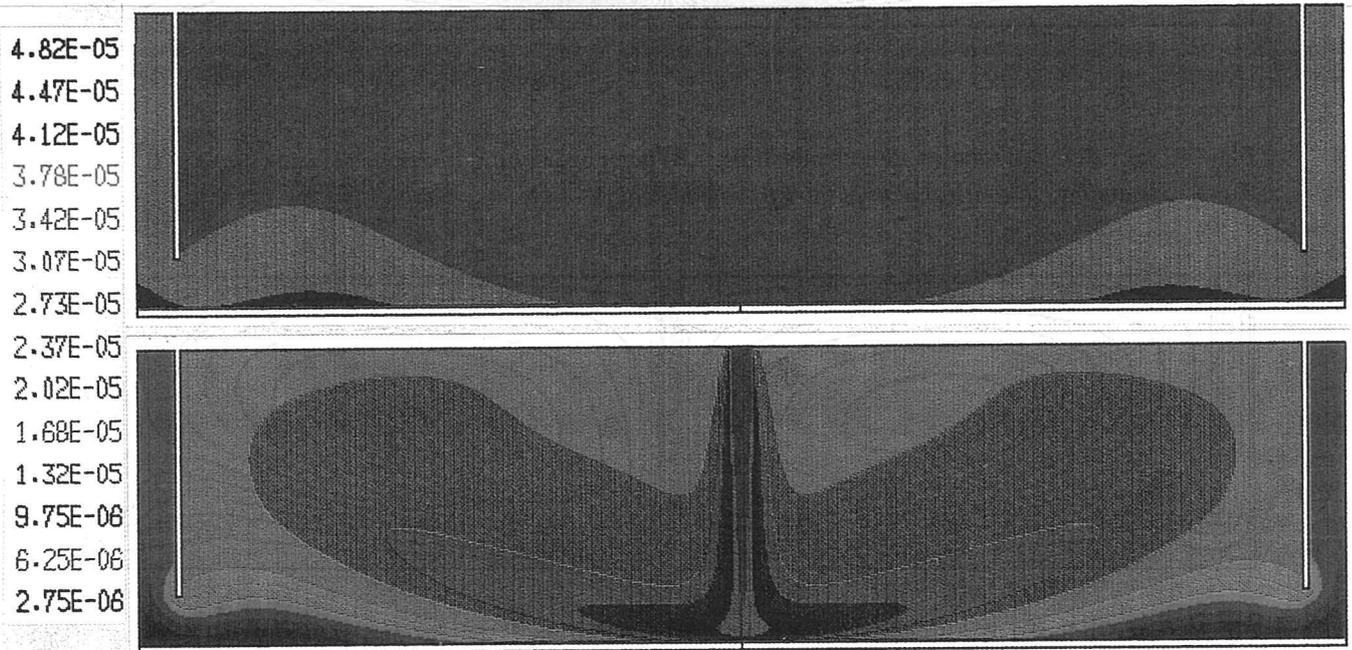


Fig. 8, 9 - Distribuzione dell'ammoniaca con riferimento allo schema della figura 1 B) rispettivamente con portata elevata (in alto) e ridotta (in basso); la scala riportata a margine indica, in termini unitari, le concentrazioni di NH_3 .

Fig. 8, 9 - Ammonia distribution in configuration of fig. 1 B) respectively for high (upper) and low (lower) airflow rate; the scale on the edge indicates NH_3 concentration expressed as a fraction of the unit.

di funzionamento con portata rispettivamente elevata e ridotta, l'ammoniaca tende ad accumularsi nei punti dove la ventilazione è meno efficiente, raggiungendo concentrazioni oltre 10 volte superiori a quelle delle zone ove il passaggio dell'aria garantisce un'efficace ricambio. Tale fenomeno è osservabile anche nelle figure 8 e 9, relative al sistema di ventilazione di figura 1 B) nelle due condizioni di funzionamento con portata rispettivamente elevata e ridotta.

Dall'esame dei risultati ottenuti si possono trarre le seguenti considerazioni:

-) l'utilizzo di un codice di calcolo quale quello impiegato, i cui risultati andranno comunque verificati attraverso riscontri sperimentali, si rivela estremamente utile per una verifica delle soluzioni impiantistiche adottate per la ventilazione dei locali per l'allevamento intensivo, in quanto permette di evidenziare la formazione di zone d'aria stagnante e di fenomeni di cortocircuitazione in funzione della geometria interna dell'ambiente;
-) le indicazioni ottenibili anche sotto il profilo della distribuzione dei gas nocivi costituiscono un ulteriore elemento di scelta in sede di progettazione del sistema di ventilazione, in modo che questo riesca nella maniera più efficace possibile ad allontanare gli inquinanti e migliorare la qualità dell'aria interna;
-) l'indagine avviata in questa sede dovrà essere proseguita rinunciando ad alcune ipotesi semplificative e considerando l'effetto di una situazione non-isoterma, in cui non esiste cioè necessariamente in tutti i punti del dominio considerato un uguale livello termico, e valutando in queste condizioni il comportamento di un getto d'aria in ingresso avente un livello termico differente rispetto all'interno;
-) ulteriori indicazioni, infine, potranno essere ottenute estendendo l'analisi ad un esame tridimensionale del flusso d'aria di ventilazione, alla distribuzione delle polveri e delle differenti specie di gas inquinanti nonché alle fasi transitorie del moto.

4. CONCLUSIONI

4. Conclusions

L'efficienza dell'impianto di ventilazione nell'assicurare il ricambio dell'aria, riducendo i livelli termici e contenendo al contempo i valori di umidità relativa, gas inquinanti e polveri all'interno dei fabbricati zootecnici per l'allevamento intensivo, è stata oggetto di svariati studi intesi a definire l'influenza esercitata dalle caratteristiche geometriche dell'ambiente confinato e dell'impianto di

ventilazione nonché dai livelli termici relativi dell'aria interna e di quella di ventilazione.

L'analisi mediante un algoritmo di calcolo di differenti sistemi di ventilazione ha consentito in questa sede una verifica della formazione dei fenomeni di riduzione dell'efficienza dell'impianto ad assicurare un'adeguata ventilazione e ad allontanare l'ammoniaca; l'estensione di tale metodologia per l'analisi tridimensionale di differenti configurazioni impiantistiche, anche in situazioni non-isoterme, potrà consentire un affinamento dell'esame dell'influenza che i singoli parametri esercitano sull'efficienza del sistema di ventilazione e, pertanto, una ottimizzazione nella sua progettazione.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Barber E.M., Ogilvie J.R. (1982) "Incomplete mixing in ventilated airspaces. Part I. Theoretical considerations". *Can. Agric. Eng.*, 24, (1), 25-29.
- 2) Barber E.M., Ogilvie J.R. (1984) "Incomplete mixing in ventilated airspaces. Part II. Scale model study". *Can. Agric. Eng.*, 26, (2), 189-196.
- 3) Candura A., Gusman A. (1971) "La ventilazione dei fabbricati per allevamenti zootecnici". *Genio Rurale*, 34, (7-8), 17-42.
- 4) Choi H.L., Albright L.D., Timmons M.B., Warhaft Z. (1988) "An application of the k-epsilon turbulence model to predict air distribution in a slot-ventilated enclosure". *Transactions of the ASAE*, 31, (6), 1804-1814.
- 5) Choi H.L., Albright L.D., Timmons M.B. (1990) "An application of the k-epsilon turbulence model to predict how a rectangular obstacle in a slot-ventilated enclosure affects air flow". *Transactions of the ASAE*, 33, (1), 274-281.
- 6) De Praetere K., Van Der Biest W. (1989) "Airflow patterns and their relation to ammonia distribution". *Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering, Dublino (Irlanda), 4-8 Settembre 1989, Vol. 2, 1457-1463.*
- 7) De Praetere K., Van Der Biest W. (1990) "Airflow patterns in piggeries with fully slatted floors and their effect on ammonia distribution". *J. Agric. Engng. Res.*, (46), 31-44.
- 8) Hoff S.J., Janni K.A., Jacobson L.D. (1992) "Three-dimensional buoyant turbulent flows in a scaled model, slot-ventilated, livestock confinement facility". *Transactions of the ASAE*, 35, (2), 671-686.

- 9) Leonard J.J., Mc Quitty J.B. (1986) "Archimedes number criteria for the control of cold ventilation air jets". *Can. Agric. Eng.*, 28, (2), 117-123.
 - 10) Maghirang R.G., Manbeck H.B., Puri V.M. (1990) "Numerical study of air contaminant distribution in livestock buildings". ASAE Paper N° 90-4543, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
 - 11) Manera C., Picuno P., Margiotta S. (1991) "L'inquinamento atmosferico ambientale nei fabbricati per allevamenti suinicoli intensivi". *Atti del 3° Seminario della 2ª Sezione tecnica dell'A.I.G.R., Udine, 25-27 Settembre 1991*, 107-118.
 - 12) Randall J.M. (1975) "The prediction of airflow patterns in livestock buildings". *J. Agric. Engng. Res.*, (20), 199-215.
 - 13) Randall J.M., Battams V.A. (1976) "The observed influence of surface obstructions on the airflow pattern within livestock buildings". *J. Agric. Engng. Res.*, (21), 33-39.
 - 14) Randall J.M., Battams V.A. (1979) "Stability criteria for airflow patterns in livestock buildings". *J. Agric. Engng. Res.*, (24), 361-374.
 - 15) Scarascia Mugnozza G., Manera C., Fiume G. (1990) "L'emissione di inquinanti atmosferici nei fabbricati per l'allevamento intensivo dell'agnello da carne". *Genio Rurale*, 53, (11), 27-34.
-