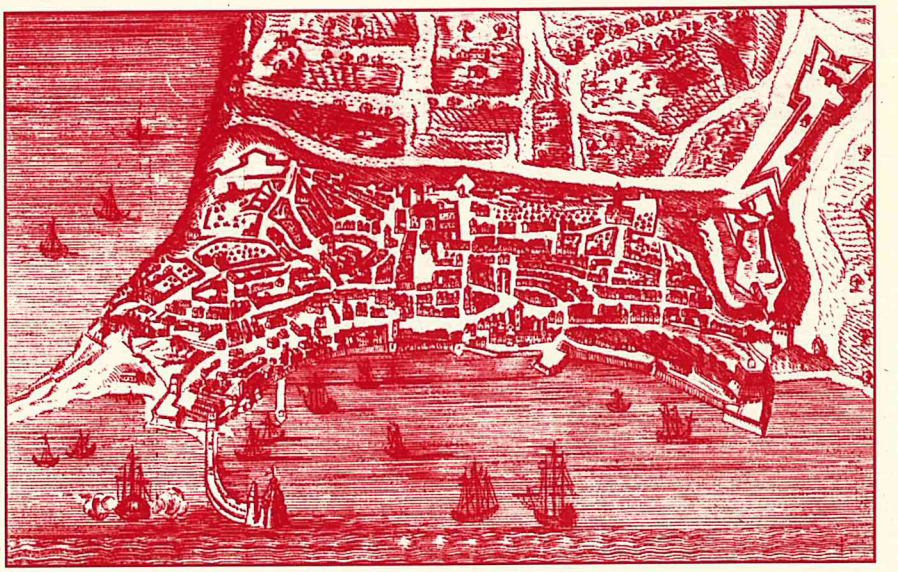
ASSOCIAZIONE ITALIANA DI INGEGNERIA AGRARIA

VI CONVEGNO NAZIONALE DI INGEGNERIA AGRARIA



Ancona - Università degli Studi
11-12 settembre 1997

L'OTTIMIZZAZIONE DELLA VENTILAZIONE NELLE SERRE MEDIANTE MODELLISTICA NUMERICA PER UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE

G. Scarascia Mugnozza
Istituto di Costruzioni Rurali - Università degli Studi di Bari
Via Amendola, 165/a - 70126 Bari (BA)
Tel. 080/5442966 - Fax 080/5442813 - E-mail: scarasci@bibagr.uniba.it

P. Picuno
Dipartimento Tecnico-Economico - Università della Basilicata
Via N. Sauro, 85 - 85100 Potenza (PZ)
Tel. 0971/474217 - Fax 0971/55370 - E-mail picuno@unibas.it

SOMMARIO

I sistemi di ventilazione per gli apprestamenti per le colture protette sono essenziali per il controllo della temperatura, dell'umidità relativa e della concentrazione di CO_2 interne al fine di realizzare un microclima idoneo alla produzione vegetale: la scelta di affidare alla ventilazione naturale il controllo dei parametri microclimatici interni alle serre si sta sempre più affermando soprattutto nei Paesi a clima caldo in virtù dell'economia dei costi di investimento e di gestione che tale sistema consente.

Al fine di definire con precisione i meccanismi che costituiscono il fondamento della ventilazione naturale, è stata condotta un'analisi fluidodinamica del movimento dell'aria in una serra per diverse geometrie delle aperture di aerazione. I risultati ottenuti hanno consentito di individuare criteri di progettazione dei sistemi di ventilazione naturale in serra, in modo da determinare la portata nelle diverse condizioni di simulazione ed una minimizzazione dei gradienti di temperatura interna allo scopo di controllare le condizioni termo-igrometriche; infatti, il controllo della temperatura e dell'umidità relativa costituiscono l'ausilio tecnologico per una riduzione nell'uso dei fitofarmaci, un'ottimizzazione delle risorse idriche ed un incremento della qualità dei prodotti in modo da realizzare una serricoltura più sostenibile.

1. INTRODUZIONE

La produzione delle colture orto-floro-frutticole in apprestamento protetto, ormai diffuso nel mondo in una notevole varietà di situazioni climatiche, sta registrando un notevole incremento nei Paesi a clima caldo in virtù della possibilità di ottenere in maniera economica produzioni extrastagionali grazie a condizioni climatiche miti e ad un elevato irraggiamento solare anche in periodo invernale. Le serre coperte con materiale plastico hanno raggiunto nei Paesi del bacino del Mediterraneo un'estensione di circa 70.000 ha e sono quasi sempre prive di impianti di regolazione del microclima (Scarascia Mugnozza, 1995) poiché in grado di assicurare valori minimi delle variabili termoigrometriche quasi sempre accettabili.

Tra i principali fattori limitanti la produzione in ambiente protetto vi sono invece, nei Paesi a clima caldo, i valori elevati che le temperature, non soltanto nella stagione estiva ma anche

nelle giornate assolate del periodo invernale, possono raggiungere, superando i limiti massimi ammissibili per le colture: un ricambio dell'aria risulta necessario non solo per abbattere i picchi di temperatura, ma anche per contenere gli eccessi di umidità relativa che favoriscono gli attacchi di patogeni, nonché per bilanciare la riduzione diurna della concentrazione di CO_2. Tale risultato deve essere ottenuto in maniera economica ed efficiente, in modo da garantire alla coltivazione in ambiente protetto una sostenibilità economica, attraverso scelte che favoriscono il risparmio d'energia e l'utilizzo di fonti naturali, una sostenibilità sociale e di mercato, mediante un incremento nella qualità e quantità delle produzioni ottenute, oltre ad una sostenibilità ambientale, in grado di abbattere e minimizzare l'utilizzo dei prodotti chimici.

La soluzione più opportuna sotto tali punti di vista per ottenere un ricambio dell'aria interna alla serra consiste nel realizzare idonee aperture per consentire una ventilazione naturale, ossia non ottenuta mediante impianti meccanici di estrazione o immissione dell'aria; tale metodologia, tuttavia, essendo legata ai meccanismi di movimento dell'aria dovuti esclusivamente all'azione di fattori naturali, risulta molto sensibile alle condizioni climatiche esterne e pertanto, se non adeguatamente gestita, può determinare inefficienze anche notevoli nel controllo dei parametri microclimatici interni.

Nel presente studio, sulla base delle principali formulazioni analitiche impiegate per il calcolo della ventilazione naturale, è stata condotta un'analisi intesa a definire il comportamento dell'aria all'interno degli apprestamenti protetti per differenti geometrie degli impianti di ventilazione naturale e per varie situazioni climatiche, in modo da poter stabilire le condizioni che possono consentire un'ottimizzazione nella progettazione di tali sistemi di ventilazione.

2. IL CALCOLO DELLA VENTILAZIONE NATURALE DELLE SERRE

La ventilazione naturale è un processo determinato dall'instaurarsi, lungo le superfici di apertura del fabbricato, di differenze di pressione determinate dall'azione del vento e dai gradienti di temperatura.

Tale processo, costituito da un complesso sistema di fenomeni puntuali, viene generalmente espresso in forma matematica attraverso la formulazione di un unico parametro capace di compendiare, in maniera semplificata e speditiva, le caratteristiche globali della ventilazione (Picuno, 1996). In genere viene assunto il tasso di ventilazione globale della serra Q, definito come il volume complessivo di aria di ventilazione scambiato nell'unità di tempo, ovvero, normalizzando tale parametro rispetto al volume V della serra, introducendo il valore del numero di rinnovi orari R = Q/V.

Le principali espressioni impiegate per la formulazione del tasso di ventilazione globale Q sono del tipo:

$$Q = A_0 \sqrt{f_v^2 \; v^2 + f_T^2 \; \Delta T_{i,e}} \qquad \text{(I)}$$

$$Q = A \; G(\alpha) \; v \qquad \text{(II)}$$

ove:

Q = portata di ventilazione, $m^3 s^{-1}$;
v = velocità del vento, $m s^{-1}$;
A_0 = area della copertura, m^2;
A = area delle aperture di ventilazione, m^2;
f_v = opportuno coefficiente moltiplicatore di v nella (I), adimensionale;
f_T = opportuno coefficiente moltiplicatore di $\Delta t_{i,e}$ nella (I), $m s^{-1} K^{-1/2}$;
$\Delta t_{i,e}$ = differenza di temperatura tra interno ed esterno, K;
$G(\alpha)$ = coefficiente di ventilazione, adimensionale;
α = angolo di apertura sportellatura, rad.

La relazione (I) esprime la portata di ventilazione in funzione di v e ΔT, e può venire assunta quando il contributo alla ventilazione naturale è originato sia dal vento che dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno. I valori dei coefficienti f_v e f_T che compaiono nella (I) sono stati ricavati da diversi Autori per serre di differenti geometrie; in particolare, mentre Papadakis et al. (1996) hanno ricavato tali valori mediante prove condotte su serre tunnel ubicate nel Mediterraneo, Fernández & Bailey (1992) hanno ricavato i valori di f_v e f_T per differenti valori dell'angolo di apertura delle sportellature di ventilazione in serre di tipo Venlo ubicate in Nord Europa.

La relazione (II), che esprime la portata di ventilazione in funzione della sola velocità del vento v, equivale alla (I) nel caso in cui risulta trascurabile $\Delta t_{i,e}$, e si può quindi utilizzare quando la velocità del vento diventa predominante; il valore "soglia" di v, oltre il quale ciò avviene, è stato indicato da molti Autori (Papadakis et al, 1996; Boulard et al., 1996; de Jong & Bot, 1992; Feuilloley et al., 1994; Fernández & Bailey, 1992) nell'intervallo di variabilità tra 1 e 2 $m s^{-1}$. Nella relazione (II) il termine $G(\alpha)$, noto come "coefficiente di ventilazione", viene solitamente espresso in funzione esclusivamente dell'angolo α di apertura delle sportellature di ventilazione, attraverso relazioni di proporzionalità diretta secondo una legge lineare (Fernández & Bailey, 1992) ovvero esponenziale (Bot, 1983; De Jong, 1990).

L'impiego delle relazioni (I) e (II), a seconda del caso, risulta agevole e abbastanza soddisfacente al fine di definire le caratteristiche del fenomeno della ventilazione naturale nella sua globalità; non è possibile, tuttavia, con tali relazioni semplificate ricavare alcuna indicazione circa l'efficienza della ventilazione e sulla distribuzione dell'aria all'interno della serra, che potrebbe venire compromessa anche considerevolmente determinando flussi di aria insufficienti o, anche se globalmente sufficienti, mal distribuiti a livello delle piante.

Indicazioni di questo genere sono ottenibili soltanto mediante un'analisi di dettaglio, condotta esaminando il flusso di ventilazione all'interno di tutta la serra che si può ricavare attraverso un approccio analitico non più globale ma condotto esaminando in maniera puntuale il comportamento fluidodinamico in tutti i punti dell'ambiente confinato.

3. L'ANALISI FLUIDODINAMICA DELLA VENTILAZIONE NELLE SERRE

Il movimento dell'aria all'interno degli ambienti confinati è, in generale, governato da un sistema di equazioni differenziali (Picuno & Godosi, 1995) che esprimono analiticamente i principi di conservazione della massa, del momento e dell'energia. Esse definiscono le condizioni del moto laminare o turbolento e l'eventuale trasporto di massa di altri gas contenuti nell'aria. Una volta definite le condizioni al contorno del dominio esaminato, si può risolvere il sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali, ottenendo così in ogni punto

i valori di tutte le variabili (pressione, temperatura, componenti del vettore velocità, ecc.) necessarie per definire il movimento dell'aria e, di conseguenza, le caratteristiche della ventilazione.

Più in dettaglio, il complesso delle equazioni di conservazione che descrivono i fenomeni di trasporto anzidetti può venire sintetizzata nella forma generale (Mistriotis et al., 1997/b):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \vec{\nabla}\varphi\vec{v} = \vec{\nabla}(\Gamma_{\varphi}\vec{\nabla}\varphi) + S_{\varphi} \qquad \text{(III)}$$

ove $\vec{v}$ è il vettore velocità, Γ_{φ} è il coefficiente di diffusione e S_{φ} il termine che contiene eventuali sorgenti. Il simbolo φ rappresenta la concentrazione delle quantità trasportate: nell'equazione di bilancio totale di massa (o di continuità), φ corrisponde alla densità ρ. In un campo di flusso, anche il momento viene trasportato e φ corrisponde a $\rho\vec{v}$; l'equazione (III) rappresenta pertanto, in tal caso, ben tre equazioni, e cioè le tre equazioni di conservazione (o equazioni di Navier-Stokes) corrispondenti alle tre componenti di $\rho\vec{v}$.

Se anche l'energia viene trasportata nel campo di flusso, un'ulteriore equazione, con φ corrispondente a $\rho C_p T$, descrive il campo della temperatura; laddove inoltre svolga un ruolo determinante la gravità, viene aggiunta la forza $\varphi\vec{g}$ alle equazioni di conservazione del momento.

A tale sistema di equazioni devono quindi essere aggiunte le equazioni descriventi il comportamento turbolento del fluido, il che solitamente avviene aggiungendo due equazioni suppletive che introducono l'energia cinetica turbolenta k ed il suo tasso di dissipazione ε (Mistriotis et al., 1997/a).

La soluzione rigorosa di tali equazioni è resa oggigiorno più agevole in virtù del notevole aumento raggiunto nella velocità e potenza dei calcolatori elettronici e nella diffusione di programmi solutori di equazioni differenziali mediante metodi alle differenze finite.

Al fine di definire con precisione la distribuzione dei filetti fluidi dell'aria all'interno di una serra, è stata effettuata una modellizzazione numerica con l'ausilio di uno dei più diffusi software per l'analisi fluidodinamica: il programma impiegato, FLUENT (Fluent Europe, 1994) Vers. 4 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 chimiche 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 delle variabile termofluidodinamiche coinvolte in ogni punto del dominio analizzato.

Allo scopo di ottenere un'idea completa del comportamento di una tipica serra mediterranea (fig. 1), già oggetto di alcuni studi sperimentali condotti in precedenza (Bot. et al, 1996) e caratterizzata da aperture di ventilazione realizzate con deflettori posti sia sui lati che in corrispondenza della linea di gronda, sono state condotte simulazioni numeriche in tre differenti condizioni:

A) Velocità del vento nulla e ventilazione innescata dalle sole forze convettive dovute all'emissione del calore dal terreno, assunto come unica sorgente di energia presente;
B) Velocità del vento moderata ($v=0.2$ m s^{-1}) all'esterno della serra ad opportuna distanza accoppiata ad una emissione di calore da parte del terreno assunto come unica sorgente di energia presente;
C) Velocità del vento sostenuta ($v=2$ m s^{-1}) all'esterno della serra ad opportuna distanza, tale cioè da poter trascurare, in forza di quanto in precedenza accennato, ogni contributo dovuto alla componente termica. Tale ultima situazione, resa semplificata dalla presenza di un campo di moto puramente aerodinamico, è stata esaminata per differenti combinazioni di apertura delle sportellature di ventilazione.

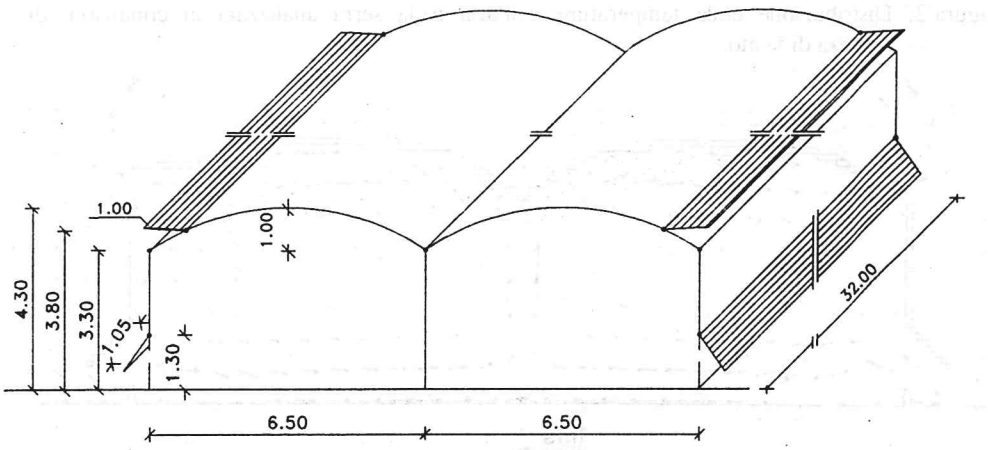


Figura 1: Vista assonometrica della serra sperimentale di riferimento per l'analisi fluidodinamica.

La modellizzazione, di tipo bidimensionale, è stata condotta nelle ipotesi di flusso stazionario e di moto turbolento nel piano della sezione trasversale della serra.

Dai risultati ottenuti è possibile osservare la distribuzione delle temperature e delle velocità dell'aria nel caso A (figg. 2, 3) da cui si può notare una concentrazione, nella parte centrale della serra, delle zone a più elevato livello termico mentre, in presenza di una sia pur minima componente della velocità del vento, la zona della serra sottovento risulta, a parità di apertura delle sportellature di ventilazione, a temperatura maggiore (fig. 4), anche a livello delle coltivazioni. Ciò porta a dedurre come, in tali condizioni, sia opportuno intervenire sulle sportellature di ventilazione realizzando una configurazione di apertura che meglio si adatti alla presenza di un vento spirante da un lato: tale risultato potrebbe venire ottenuto, ad esempio, chiudendo la sportellatura di colmo sopravento che, altrimenti, funzionerebbe da zona di uscita dell'aria, come evidente dalla distribuzione delle velocità dell'aria (fig. 5).

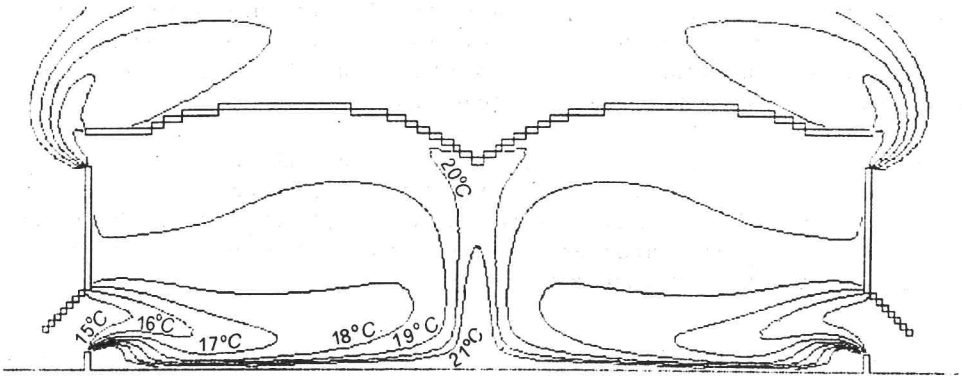


Figura 2: Distribuzione delle temperature dell'aria nella serra analizzata in condizioni di assenza di vento.

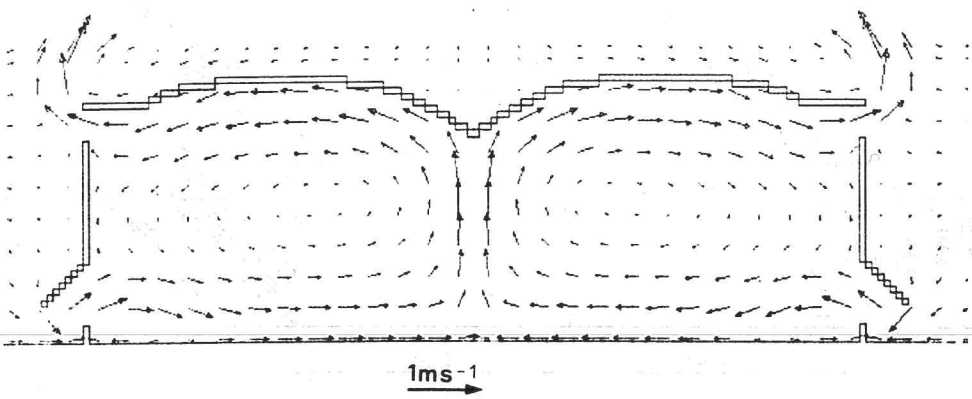


Figura 3: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria nella serra analizzata in condizioni di assenza di vento.

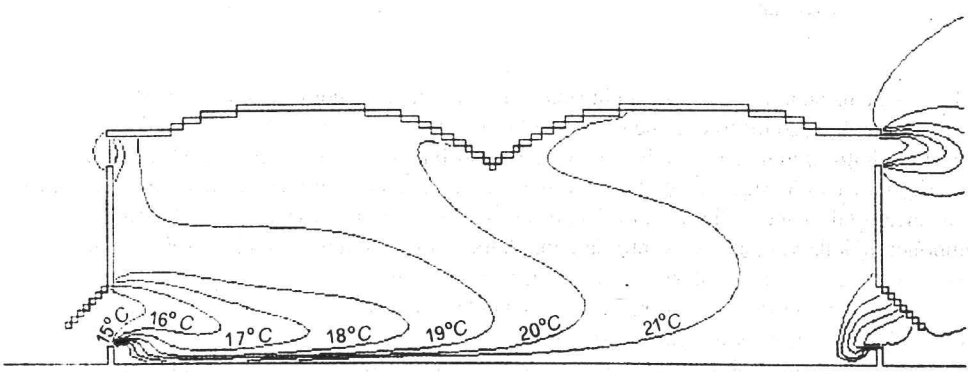


Figura 4: Distribuzione delle temperature dell'aria nella serra analizzata in condizioni di vento moderato ($v = 0.2$ m s^{-1}).

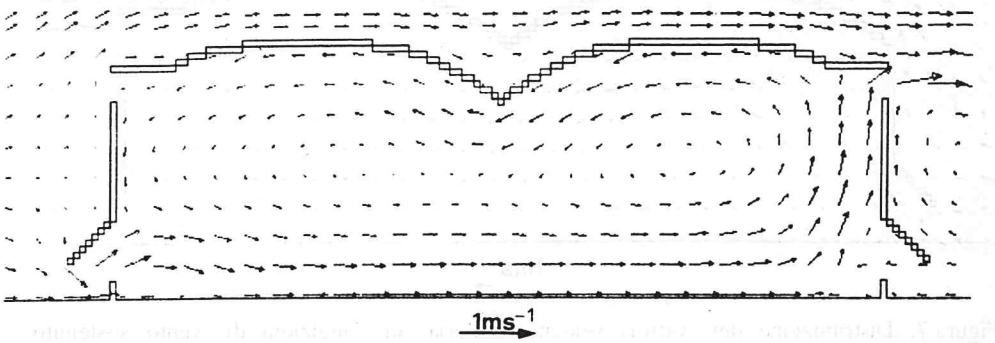


Figura 5: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria nella serra analizzata in condizioni di vento moderato ($v = 0.2$ m s^{-1}).

Il ruolo svolto dalle differenti geometrie delle aperture della serra è stato in particolare esaminato nel caso C, in presenza di una velocità del vento pari a 2 m s^{-1} che, risultando la causa preponderante alla base dei meccanismi di ventilazione, porta a concludere come, nei sei casi esaminati (figg. 6, 7, 8, 9, 10 e 11) i risultati in termini di campo fluidodinamico siano ben differenti.

Si osservino, in particolare, le figure 6 e 8 ove l'adozione di sportellature di ventilazione solo laterali (fig. 6) invece che solo di colmo (fig. 8) determina una sensibile differenza in termini di velocità dell'aria a livello delle coltivazioni. Ovviamente, l'apertura poi di entrambe le sportellature dal lato sottovento (fig. 10) consente un marcato miglioramento nell'efficienza complessiva nella distribuzione dell'aria.

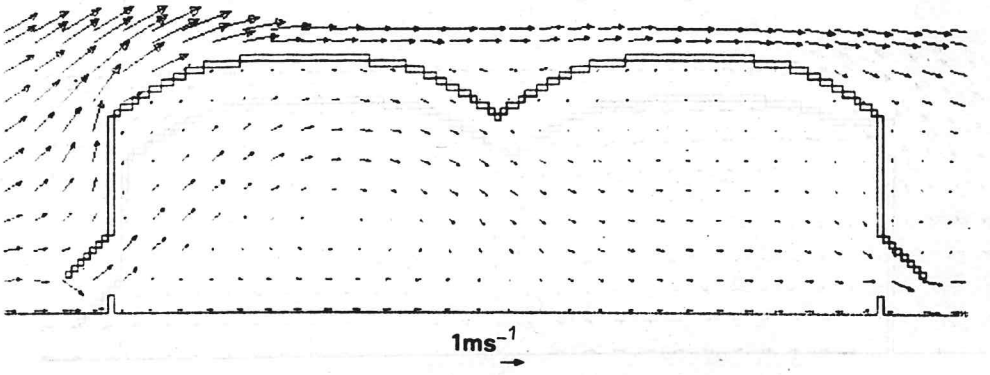


Figura 6: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 1.

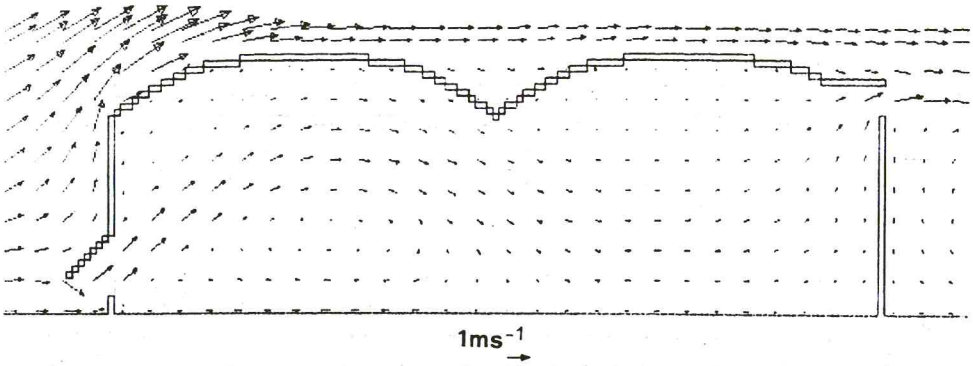


Figura 7: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 2.

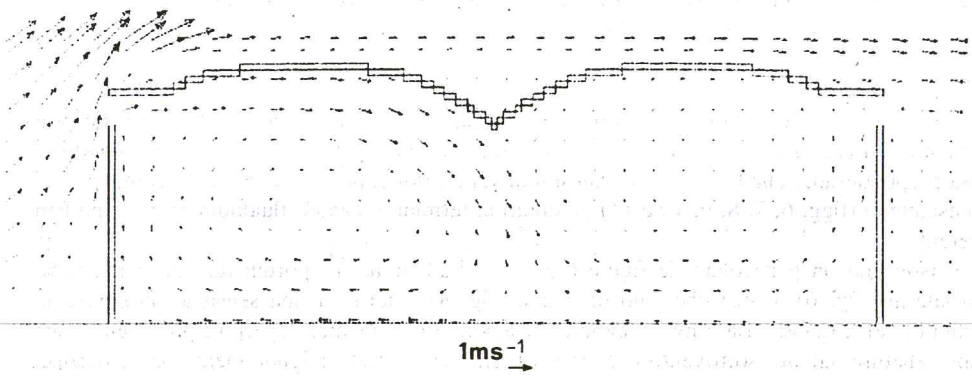


Figura 8: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 3.

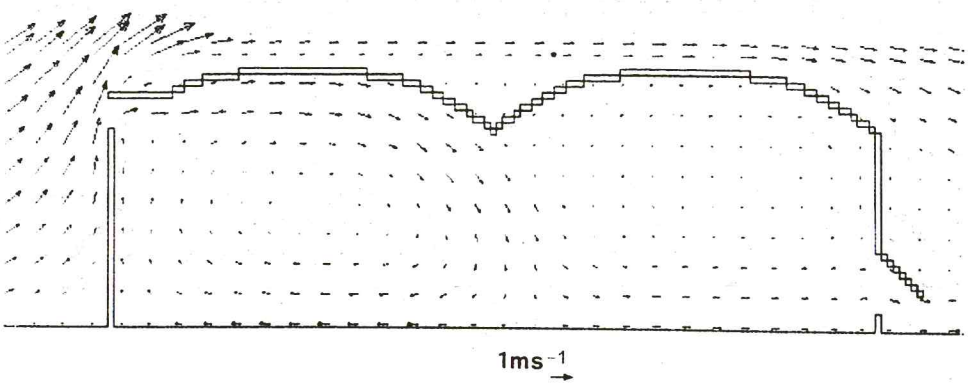


Figura 9: Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 4.

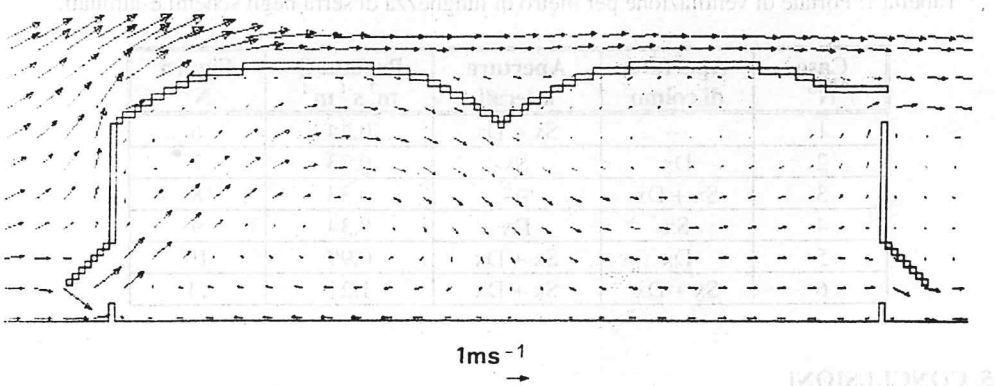


Figura 10:Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 5.

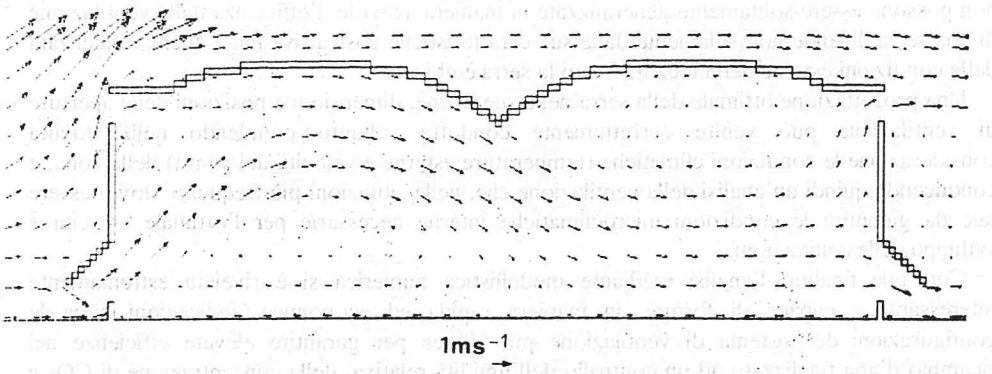


Figura 11:Distribuzione dei vettori velocità dell'aria in condizioni di vento sostenuto ($v = 2$ m s^{-1}) e configurazione geometrica delle aperture di ventilazione di tipo 6.

Al fine di ricavare anche indicazioni quantitative circa il valore del ricambio d'aria globale che interessa la serra nelle condizioni esaminate, che si differenziano solo per le differenti geometrie del sistema di ventilazione, sono state inoltre calcolate, sulla base dei valori puntuali del vettore velocità ottenuto in corrispondenza di ciascuna cella situata lungo le aperture, i valori della portata di ventilazione (tab. 1).

Dall'esame dei valori riportati in tabella è ancora più evidente la marcata influenza che la geometria del sistema di ventilazione ha sull'effettivo ricambio dell'aria; se ad esempio si confrontano i casi n° 2 e 4, in cui le aperture sono state considerate in maniera ribaltata si può osservare come la portata sia all'incirca dimezzata nel caso n°4; in cui l'apertura sopravento è quella di colmo, più piccola ma anche meno efficiente rispetto a quella laterale.

Si evince quindi che la sportellatura dal lato sopravento svolge un ruolo senz'altro predominante rispetto a quello sottovento ai fini della portata complessiva di ventilazione, e che comunque le geometrie vanno esaminate ed ottimizzate in funzione delle più frequenti condizioni a cui il sistema di ventilazione deve fare fronte.

Tabella 1: Portate di ventilazione per metro di lunghezza di serra negli schemi esaminati.

Caso N°	Aperture di colmo	Aperture laterali	Portata Q $m^3 s^{-1} m^{-1}$	Figura N°
1	---	Sx + Dx	0.74	6
2	Dx	Sx	0.73	7
3	Sx + Dx	---	0.33	8
4	Sx	Dx	0.34	9
5	Dx	Sx + Dx	0.99	10
6	Sx + Dx	Sx + Dx	1.21	11

5. CONCLUSIONI

Il processo di ventilazione in una serra, dipendente da una varietà di fattori, molti dei quali in relazione tra loro, risulta complesso da esaminare e le conclusioni cui si riesce a pervenire non possono essere solitamente generalizzate in maniera agevole: l'efficienza della ventilazione di una serra dipende non solamente dalle sue caratteristiche costruttive ma è anche influenzata dalle condizioni esterne della località in cui la serra è ubicata.

Una progettazione ottimale della serra nelle sue forme, dimensioni e posizioni delle aperture di ventilazione può venire correttamente condotta soltanto prendendo nella dovuta considerazione le condizioni climatiche (temperature esterne e velocità del vento) della zona, e conducendo quindi un'analisi della ventilazione che, nelle situazioni più frequenti, dovrà essere tale da garantire le condizioni microclimatiche interne necessarie per l'ottimale crescita e sviluppo delle coltivazioni.

Con tale finalità, l'analisi mediante modellistica numerica si è rivelata estremamente interessante e capace di fornire, in maniera rapida ed economica, indicazioni circa le configurazioni del sistema di ventilazione più idonee per garantire elevate efficienze nel ricambio d'aria finalizzato ad un controllo dell'umidità relativa, della concentrazione di CO_2 e della temperatura, per una maggiore sostenibilità delle colture in serra. La ricerca sta proseguendo in maniera da condurre, parallelamente alle modellizzazioni numeriche, delle prove sperimentali, che possano consentire una più esatta definizione dei parametri che vengono imputati e delle condizioni al contorno assunte nelle simulazioni fluidodinamiche.

Il contributo all'impostazione ed allo svolgimento del lavoro va suddiviso in maniera paritetica tra gli Autori.

Bibliografia

1) Scarascia Mugnozza G. (1995) - *Quali strutture per il serricoltore italiano.* Colture Protette, 24, (10), 61-65.
2) Picuno P. (1996) - *La ventilazione naturale delle serre.* Colture Protette, 25, (9), 127- 133.
3) Papadakis G., Mermier M., Meneses J.F. & Boulard T. (1996) - *The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses.* Agric. For. Meteorol., 79: 61-77.
4) Fernández J.E. & Bailey B.J. (1992) - *Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates.* Agric. For. Meteorol., 58: 229-245
5) Boulard T., Meneses J.F., Mermier M. & Papadakis G. (1996) - *The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses.* In corso di stampa su: Agric. For. Meteorol..

6) de Jong T. & Bot G.P.A. (1992) - *Air exchange caused by wind effects through (window) openings distributed evenly on a quasi-infinite surface.* Energy and buildings, 19: 93-103.
7) Feuilloley P., Mekikdjian C., Lagier J. & Yard C. (1994) - *Natural aeration of plastic tunnels in mediterranean area.* Cemagref Internal Report.
8) Bot G.P.A. (1983) - *Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model.* Thesis Agric. University, Wageningen, The Netherlands.
9) de Jong T. (1990) - *Natural ventilation of large multi-span greenhouses.* Thesis Agric. University, Wageningen, The Netherlands.
10)Picuno P. & Godosi Z. (1995) - *La verifica dell'efficienza dell'impianto di ventilazione con l'ausilio dell'analisi fluidodinamica.* Rivista di Suinicoltura, 36, (3): 71-80.
11)Mistriotis A., Arcidiacono C., Picuno P., Bot G.P.A., Scarascia Mugnozza G., (1997)/b - *Computational analysis of the natural ventilation in greenhouses at low and zero wind speeds.* (In corso di stampa su: Agr. and For Meteorol.)
12) Mistriotis A., Bot G.P.A., Picuno P., Scarascia Mugnozza G., (1997)/a - *Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics.* (In corso di stampa su: Agr. and For Meteorol.)
13)Fluent (1994) - *Fluent Manual.* Fluent Europe Ltd., Holmwood House, Cortworth Road, Sheffield S11 9LP, United Kingdom.
14)Bot G.P.A., Boulard T., Mistriotis A., Papadakis G., Picuno P., Scarascia Mugnozza G. (1996) - *New techniques in greenhouse ventilation analysis.* Atti dell'International Conference on Agricultural Engineering, AgEng 96, Madrid (Spagna), 23-26 Settembre 1996, 392-393.

SUMMARY

THE OPTIMIZATION OF GREENHOUSE VENTILATION WITH NUMERICAL SIMULATION FOR A SUSTAINABLE AGRICULTURE

The diffusion of greenhouses in Mediterranean Countries is favoured mostly by mild climatic conditions and high solar radiation that allow to obtain in an economic way out of season productions of flower and horticultural species.

Among the principal factors that limit quantity and quality of greenhouse production, high temperatures that may be reached during summer or also in sunny days of winter period, together with the excess in relative humidity that may cause pathogen attacks, and the diurnal reduction of CO_2 concentration, have to be limited.

The choice of controlling high levels of temperature, relative humidity and CO_2 concentration of internal air by natural ventilation is more and more made thanks to the economy in investment costs and in plant management and to a lower use of pesticides.

In consideration of the progressive utilization of natural ventilation for greenhouse temperature control, a research with the aim to analyse its fundamental mechanisms, based on traditional formulations for the calculation of ventilation airflow, has been conducted. This analysis, pursued with the use of a fluid dynamic numerical model, enabled to examine temperature distribution inside the greenhouse for different geometrical configurations and external conditions of air temperature and wind speed.

The obtained results enabled to characterise design criteria for greenhouse natural ventilation plants, suitable for a minimisation of gradient in temperature spatial distribution and for the achievement of uniform thermo-hygrometrical conditions, in order to obtain, through an adequate internal microclimate control, a sustainable horticulture in Mediterranean Countries thanks to pesticide reduction and product quality increase.