

Permeabilità all'aria di reti per la protezione delle colture

Pietro Picuno

Introduzione

L'uso di reti plastiche si va diffondendo nell'agricoltura italiana per applicazioni sempre più numerose e svariate, grazie soprattutto alla capacità che tali materiali possiedono di proteggere da grandine, neve o forti piogge gli apprestamenti per orticoltura, floricoltura e frutticoltura (Fig. 1). Stanno inoltre riscontrando una diffusione sempre maggiore reti per la protezione da insetti vettori di virus e da uccelli, sia dispiegate su apposite strutture di supporto che disposte in qualità di filtri sulle aperture di ventilazione di serre e tunnel.

Nelle serre le reti trovano largo impiego sia come teli ombreggianti che come strumenti per interventi sulle modifiche microambientali. Nella protezione delle colture, inoltre, spesso vengono preferite a elementi naturali nel

momento in cui sia necessario disporre delle barriere frangivento atte a ridurre gli effetti negativi delle correnti d'aria in ampi spazi scoperti (Fig. 2).

La Tabella 1 riporta le principali applicazioni delle reti nell'agricoltura italiana ed europea.

L'uso di reti permeabili per scopi agricoli presenta ad oggi diversi complessi problemi tecnici, anche dovuti alla scarsa conoscenza delle loro caratteristiche ingegneristiche, con particolare riferimento alla capacità di venire attraversate dall'aria. Tale proprietà determina infatti rilevanti influenze nel caso di impiego per protezione dagli effetti del vento nonché di modifica delle condizioni microclimatiche all'interno

di apprestamenti protetti.

L'uso di materiali permeabili per la protezione delle coltivazioni

Come tutti i materiali impiegati per la protezione delle coltivazioni, anche le reti possono determinare una serie di ef-

DITEC, Università della Basilicata
Campus di Macchia Romana - 85100 Potenza (Pz)
Tel. 0971-205437; fax 0971-205429; e-mail: picuno@unibas.it

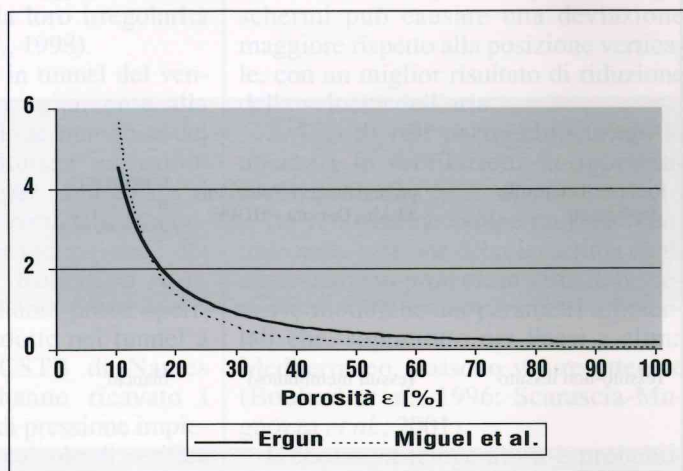


Fig. 3 - Fattore d'inerzia Y in funzione della porosità ε secondo Ergun (1952) e secondo Miguel et al. (1997).



Fig. 1 - Reti per la copertura di un tendone di uva da tavola.



Fig. 2 - Reti impiegate per protezione frangivento.

RICERCA E SPERIMENTAZIONE

fetti, sommariamente catalogabili in due tipologie:

– diretti, attraverso la protezione meccanica esercitata nei confronti di agenti atmosferici avversi, quali vento, neve, grandine, forti piogge, ecc. Soprattutto se impiegata in forma stabile durante tutto il corso dell'anno, una parete permeabile dovrebbe essere in grado, particolarmente durante le giornate cattive del periodo invernale, di diminuire l'effetto del vento tanto sulle coltivazioni quanto sulle strutture per la loro

protezione.

– indiretti, attraverso l'influenza sui valori dei principali parametri ambientali, quali in particolare la temperatura, l'umidità relativa, la concentrazione di anidride carbonica e la radiazione solare, che svolgono un ruolo fondamentale nelle produzioni vegetali (Picuno P., 1996). I loro livelli possono venire invece significativamente influenzati dalla presenza di pareti porose poste a chiusura di costruzioni agricole quali serre, tunnel, ecc.

Le caratteristiche di permeabilità delle reti sono strettamente correlate alla porosità determinata dalla presenza di spazi vuoti nella rete, la cui dimensione dovrebbe essere in grado di consentire un ricambio d'aria adeguato garantendo, al contempo, una efficace riduzione di forti spinte del vento. Le principali applicazioni per la protezione delle coltivazioni sono:

1. Frangivento realizzati con rete permeabile

I frangivento sono utilizzati per la

Tab. 1: Principali applicazioni di reti in agricoltura.

Tipologia	Materiali	Colorazione	Applicazioni
Reti per protezione	principalmente Polietilene ad Alta Densità - HDPE	nero, bianco, verde scuro, verde chiaro, color alluminio	Frangivento Ombreggianti, sotto forma di schermi adibiti a contrastare la radiazione solare, e per la protezione dagli agenti atmosferici come pioggia, gelo, grandine, neve, ecc. Per proteggere ed isolare i vivai frutticoli dai vettori di virus Come materiale schermante contro la contaminazione di anticrittogamici nebulizzati nell'aria Come reti frangivento negli edifici adibiti all'allevamento animale, in particolar modo per quelli aperti per la ventilazione Nelle barriere verdi antirumore Come schermo termico nelle serre
Reti per il controllo degli insetti	principalmente Polietilene ad Alta Densità - HDPE	trasparenti o di colore nero	Sulle finestrate delle serre adibite alla ventilazione, in modo tale da trattenere all'interno insetti impollinatori e all'esterno quelli dannosi Direttamente sul raccolto, onde evitare attacchi da parte di insetti nocivi Come isolanti, che evitano l'ingresso di altri nemici naturali Per le strutture a pergola o tendone, utilizzate nella coltivazione di viti, kiwi, ecc. Per tunnel anti-pidocchi, utilizzati nella produzione di bulbi virus-esenti, come ad es. per patate e coltivazione di fragole
Tessuto-non tessuto	Tessuti membranosi	bianchi	A copertura di serre contro la radiazione solare Distesi direttamente sulle coltivazioni ortive nella prima fase di sviluppo, onde evitare danni da gelo, per creare un microclima ottimale, e per difesa da insetti e piccoli animali Per schermare la radiazione IR
Geotessili	Polipropilene - PP	neri, bianchi, verde o marrone	Nelle serre, come calpestio per il transito degli operatori che in questo modo evitano il contatto con il terreno Come substrato per colture fuori suolo Come contenitore dei pani di terra al fine di favorire l'assenza di erbe infestanti e come barriera alla fuoriuscita delle radici Sotto ponti, terrazzi e rampe Come stabilizzanti per costruzione di strade Per favorire l'inerbimento superficiale di versanti sistemati con l'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica Nelle colture contro le erbe infestanti
Altre reti realizzate con materiale plastico	Polipropilene - PP e Polietilene ad Alta Densità - HDPE	Verde, bianco o nero	Per la raccolta di olive, frutti, ecc. Come reti per gli uccelli Reti di sostegno, orizzontali e verticali Contro le talpe Come reti per la ventilazione e la protezione dagli uccelli negli allevamenti animali Come stabilizzatrici nelle opere di rinverdimento effettuate con zolle erbose o idrosemina In qualità di recinzioni Contro il vento Come strumento di protezione di alberi forestali o fruttiferi dall'attacco di lepri e conigli

Tab. 2: Valori di Porosità ϵ e dei corrispondenti fattori d'inerzia Y per reti plastiche per protezione delle colture.

Materiale	Applicazione	Porosità ϵ [%]	Fattore d'inerzia Y (Miguel et al.) [adimensionale]
Biorete 50 meshes 20/10 Arrigoni	Anti-insetto	37	0,359
Insect Net M Howitec	Anti-insetto	62	0,120
Antiafide 16 Tenax	Anti-insetto	47	0,216
Scirocco 50 Black Arrigoni	Frangivento	67	0,102
Windbreak Net Tape Howitec	Frangivento	35	0,404
Monotex 50 Tenax	Frangivento	61	0,124

protezione di suolo, vegetazione, e costruzioni rurali contro gli effetti dannosi di frequenti e turbolenti forti flussi d'aria. Una piena comprensione delle proprietà aerodinamiche del frangivento è quasi impossibile a causa della complessità del problema: la natura del frangivento e le condizioni del flusso d'aria determinano infatti il grado di protezione che questa struttura può garantire nei

confronti del vento.

L'approccio basato sulle analisi del flusso, che include alcune variabili del vento come velocità e direzione, turbolenza, oltre alla rugosità ed all'estensione delle superfici investite e la presenza di oggetti vicini, è ancora oggi molto complicato, risultando maggiormente realistico nel caso di barriere costruite dall'uomo, atteso che quelle naturali sono di difficile caratterizzazione a causa della loro irregolarità (Dierickx W., 1998).

Lo studio in tunnel del vento, condotto unitamente alla modellizzazione numerica dei flussi, costituisce un valido strumento per analizzare i complicati aspetti delle caratteristiche aerodinamiche dei frangivento. Robertson *et al.* (2002), mediante prove sperimentali condotte nel tunnel a vento del CSTB di Nantes (Francia), hanno ricavato i coefficienti di pressione impiegabili per il calcolo di verifica a carico vento di strutture coperte con materiali permeabili caratterizzati da differenti gradi di porosità.

Dierickx *et al.* (2003) hanno condotto un'analisi degli effetti causati da superfici lisce e ruvide e piani inclinati sulla riduzione della velocità dell'aria attraverso un materiale tessile bidimensionale disposto in tunnel del vento. Tali risultati sono stati ottenuti sulla base di precedenti prove (Dierickx *et al.*, 2001) in cui erano stati valutati differenti schermi di origine sintetica con vari gradi di porosità, posizionati in modo perpendicolare alla direzione del vento ed in alcuni casi di-

sposti in successione l'uno dietro l'altro, in modo da analizzarne l'effetto di riduzione della velocità.

Al fine di validare la ricerca sui frangivento condotta in tunnel artificiali, Dierickx (2003) ha condotto un'analisi per la determinazione dell'effetto di protezione dei frangivento attraverso prove in campo svolte in un frutteto. L'esito di queste prove, realizzate tramite l'inserimento di barriere verticali frontali, ha permesso di comparare e valutare l'influenza di tali superfici sulla riduzione della velocità del vento, connessa alla turbolenza determinata dall'avvicinarsi del flusso dell'aria alla barriera frangivento. La riduzione della velocità del vento dovuta a barriere sintetiche bidimensionali è stata studiata anche disponendo tali barriere in posizioni inclinate, ottenendo per risultato che quando l'inclinazione è lievemente controvento, la parte superiore degli schermi può causare una deviazione maggiore rispetto alla posizione verticale, con un miglior risultato di riduzione della velocità dell'aria.

2. Uso di reti permeabili lungo le aperture di ventilazione in apprestamenti protetti

La ventilazione svolge un ruolo centrale nella gestione del microclima degli apprestamenti protetti, in virtù delle decisive modifiche dei parametri ambientali che, soprattutto nei Paesi a clima Mediterraneo, possono venire ottenute (Boulard *et al.*, 1996; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2001).

L'eccessiva temperatura è probabilmente il più importante problema da fronteggiare per le serre nei Paesi caldi. Il contributo che le reti possono esercitare sotto questo profilo, sia se impiegate per schermare parzialmente la radiazione solare in ingresso sia per realizzare aperture per la ventilazione in grado di consentire un filtraggio dell'aria in ingresso, può rivelarsi determinante.

Svariate prove sono state condotte per ridurre la temperatura delle serre utilizzando l'ombreggiamento (Teitel e Segal, 1995), il raffrescamento, la ventilazione naturale e artificiale (Montero *et al.*, 2001; Teitel M., 2001) e, infine, combinazioni di metodi differenti. Tra queste tecniche, però, quella probabilmente meno indagata è proprio la ventilazione naturale. La ricerca per spiegare i processi di scambio ed i movimenti

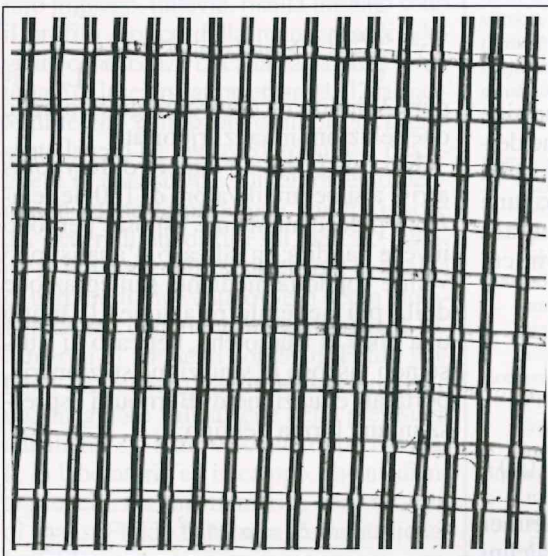


Fig. 4 - Scannerizzazione ad alta definizione di un campione di rete Tenax antiafide 16 (rappresentazione fuori scala).

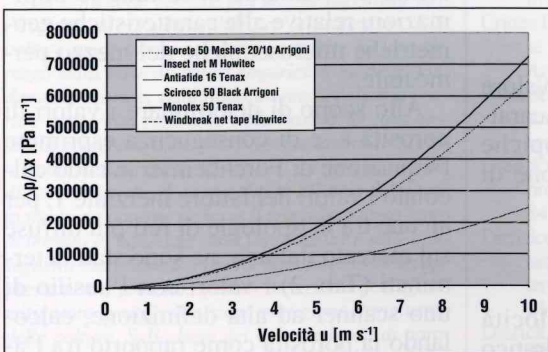


Fig. 5 - Equazione di Forchheimer per le sei tipologie di reti esaminate.

dell'aria all'interno delle serre è infatti ancora in corso, soprattutto con l'ausilio, più di recente, di analisi di tipo numerico, basate su calcoli di computazione fluido dinamica (CFD) e tecniche di visualizzazione (Mistriotis *et al.*, 1997/a; Mistriotis *et al.*, 1997/b; Haxaire *et al.*, 2000; Boulard e Wang, 2002; Campen e Bot, 2003).

Un altro possibile approccio passa attraverso l'implementazione di modelli matematici capaci di simulare numericamente il flusso dell'aria e la distribuzione della temperatura all'interno dello spazio confinato (Bartzanas *et al.*, 2002; Fatnassi *et al.*, 2003; Mistriotis e Briasoulis, 2002). Infine, nuove tecniche di rilievo basate sull'uso di anemometri sonici (Wang *et al.*, 1999/a e 1999/b; Wang e Deltour, 1999; Boulard *et al.*, 2000; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2002) ovvero impieganti tecniche Laser Doppler (Lamrani *et al.*, 2001), che permettono di misurare la velocità istantanea dei vettori della velocità e i flussi di calore, sono state utilizzate per redigere modelli di flusso nella ventilazione naturale delle serre.

Malgrado il crescente numero di contributi relativi a questo argomento, tuttavia, i modelli di flusso di calore all'interno di apprestamenti protetti non sono stati ancora determinati in maniera univoca (Critten e Bailey, 2002).

Le caratteristiche del flusso d'aria all'interno di fabbricati dotati di reti permeabili dipendono dalle proprietà fluidodinamiche proprie di tali materiali, la cui conoscenza diventa pertanto un presupposto imprescindibile per poter sviluppare ogni ulteriore analisi delle modifiche microclimatiche imposte all'interno di ambienti confinati.

Caratteristiche fluidodinamiche di reti per l'agricoltura

L'equazione del moto di un fluido attraverso un materiale permeabile per un trasferimento di massa monodimensionale può venire espressa attraverso la relazione: (I)

$$\frac{\rho}{\epsilon} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\rho}{\epsilon^2} u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\mu}{K} u - \rho \frac{Y}{K^{1/2}} |u| u + \frac{\mu}{\epsilon} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

con

$$u = \epsilon u_i$$

e

- u = velocità superficiale del fluido, [m s⁻¹];
- u_i = velocità attraverso il materiale, [m s⁻¹];
- ρ = densità dell'aria, [Kg m⁻³];
- p = pressione, [Pa];
- μ = viscosità dinamica dell'aria, [Pa s];
- Y = fattore d'inerzia, adimensionale;
- x = direzione del flusso, [m];
- ϵ = porosità, adimensionale;
- t = tempo, [s];
- K = permeabilità della rete, [m²].

Nell'ipotesi di un Numero di Reynolds pari a

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} < 100 + 150$$

il fluido può essere considerato incompressibile

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \right),$$

per cui scompare il secondo termine della (I), insieme all'ultimo termine della (I) nell'ipotesi in cui il volume della matrice solida sia più grande del volume occupato dal fluido (Miguel *et al.*, 1997). Per un flusso stazionario, in cui anche

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

l'equazione (I) diventa:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\mu}{K} u + \rho \frac{Y}{K^{1/2}} |u| u \quad (II)$$

nota come Equazione di Forchheimer per materiali altamente porosi. In alcuni casi, per semplificare può venire introdotto il coefficiente di forma C

$$C = \frac{Y}{K^{1/2}}$$

il quale racchiude in un unico valore tutte le informazioni relative alle caratteristiche geometriche microscopiche del mezzo permeabile. L'equazione di Forchheimer diviene così pari a:

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{\mu}{K} u + \rho C u^2$$

Inoltre la (II), nel caso di velocità molto basse, in cui il termine quadratico presente a secondo membro può venire trascurato, si riduce alla Legge di Darcy

$$u = -\frac{K}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (III)$$

L'equazione (II) esprime la relazione che lega secondo una legge parabolica la diminuzione della pressione, determinata dal passaggio dell'aria attraverso la rete permeabile, alla velocità di attraversamento. Essa può venire utilmente impiegata per determinare le condizioni di passaggio dell'aria attraverso uno schermo poroso per situazioni in cui, in condizioni di ventilazione naturale, il Numero di Reynolds non raggiunge il valore di 150, a condizione che siano note le caratteristiche di permeabilità e porosità dello schermo, visto che il fattore d'inerzia Y è funzione di ϵ secondo differenti relazioni proposte in letteratura rispettivamente pari a:

$$Y = \frac{0.143}{\epsilon^{1.5}} \quad (\text{Ergun, 1952})$$

$$Y = \frac{0.0436}{\epsilon^{2.12}} \quad (\text{Miguel et al., 1997})$$

La Figura 3 riporta un confronto grafico tra le due relazioni innanzi riportate.

Nei casi in cui il Numero di Reynolds arrivi a superare il valore di 150, le relazioni precedentemente esposte perdono invece validità; in tal caso, l'analisi può venire condotta mediante l'integrazione della più generale relazione (I) lungo una linea di flusso che, nel caso di flusso non viscoso in situazione stazionaria, porta all'equazione di Bernoulli espressa in una forma del tipo:

$$\Delta p = \rho C^* u^2$$

ove, anche in questo caso, il coefficiente di forma C* riassume in sé tutte le informazioni relative alle caratteristiche geometriche microscopiche del mezzo permeabile.

Allo scopo di determinare i valori di porosità ϵ , e di conseguenza esprimere l'equazione di Forchheimer avendo calcolato i valori del fattore inerziale Y, per alcune tra le tipologie di reti più diffuse sul mercato italiano, ne sono stati determinati (Tab. 2) i valori con l'ausilio di uno scanner ad alta definizione, calcolando la porosità come rapporto tra l'area occupata dal fluido (aria) e l'area totale della maglia, ottenuta come somma

della matrice solida e dei vuoti (Fig. 4).

La tabella 2 riporta, insieme ai valori di ϵ misurati, i corrispondenti valori di Y calcolati con l'espressione di Miguel et al. (1997).

La figura 5 riporta infine l'equazione di Forchheimer per i sei materiali esaminati, espressa avendo assunto per l'aria i seguenti valori:

$$\rho = 1,205 \text{ Kg m}^{-3} \quad \mu = 1,81 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

e per la permeabilità K un valore pari a $5 \times 10^{-9} \text{ m}^2$, stimato sulla base di prove sperimentali condotte da Miguel et al. (1997) su differenti tipologie di reti.

Conclusioni

Grazie alle loro caratteristiche di permeabilità le reti stanno trovando una crescente diffusione in agricoltura, per applicazioni sempre più varie ed interessanti. Il loro impiego, tuttavia, risulta limitato sotto il profilo teorico dalla mancanza di adeguate conoscenze circa la capacità del materiale di lasciarsi attraversare dall'aria nelle differenti condizioni di impiego. Il presente lavoro ha inteso contribuire a raccogliere le conoscenze sull'argomento definendo anche le principali caratteristiche dei materiali più diffusi sul mercato italiano in funzione delle applicazioni in qualità di barriere frangivento ovvero per la modifica delle condizioni microclimatiche all'interno di ambienti confinati. Futuri sviluppi dovrebbero venire indirizzati verso una maggiore validazione delle previsioni analitiche, sia attraverso prove sperimentali, in laboratorio ed in campo, che mediante modellizzazione numerica con software di analisi Fluidodinamica Computazionale (CFD).

RIASSUNTO

La diffusione sempre più ampia registrata nell'impiego di reti permeabili per la protezione delle colture rende ormai non più accettabile un loro impiego sulla base di criteri empirici di modesto fondamento teorico, risultando invece necessario operare una scelta razionale sulla base delle loro proprietà ingegneristiche. Nel presente lavoro sono stati richiamati i principali risultati ottenuti in termini di caratteristiche di permeabilità all'aria delle reti, in modo da poterne definire il comportamento tanto in termini di influenza sulla ventilazione e sulle conseguenti modifiche del microclima interno di un apprestamento protetto, quanto in termini dell'effetto mitigatore se utilizzate come protezione frangivento delle colture. Sulla base dei valori rilevati di porosità delle principali tipologie di reti per la protezione delle colture più diffuse sul mercato italiano sono stati valutati i parametri che determinano il passag-

gio dell'aria attraverso le maglie, potendo così dedurre utili indicazioni per un'appropriate valutazione delle loro caratteristiche di permeabilità.

ABSTRACT

Air permeability of nets for protected cultivation
The use of plastic nets is rapidly increasing in various agricultural applications for protection from hail, wind, snow or strong rainfall in fruit-farming and ornamentals. Shading nets for greenhouses, or nets for moderately modifying the microenvironment are also used. Finally, nets for the protection against virus-vector insects and birds are used as standalone covers or at greenhouse windows. The use of permeable nets sets some technical problems connected with the greenhouse microclimatic performance, that may not yet be solved on the basis of simple empirical criteria: a rational approach, based on the technical properties of these materials, seems now necessary. In this paper, the most important results obtained in terms of air permeability characteristics of agricultural nets are reported, with the aim to define their behaviour both on the ventilation, and the connected variation of the greenhouse internal microclimate, and on the wind mitigation effect if they are used as windbreak. Basing on the porosity tested properties in the agricultural net typologies most diffused in the Italian market, the parameters influencing the air passage through the meshes were evaluated, so obtaining useful indication for a correct selection of the permeability characteristic of these materials.

BIBLIOGRAFIA

- Bartzanas T., Boulard T. e Kittas C. (2002) - Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34, 207-221.
- Boulard T., Wang S. (2002) - Experimental and numerical studies on the heterogeneity of crop transpiration in a plastic tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34, 173-190.
- Boulard T., Meneses J. F., Mermier M., Papadakis G. (1996) - The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79, 61-77.
- Boulard T., Wang S., Haxaire R. (2000) - Mean and turbulent air flows and microclimatic patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 169-181.
- Campan J.B., Bot G.P.A. (2003) - Determination of greenhouse-specific aspects of ventilation using three-dimensional computational fluid dynamics. *Biosystem Engineering*, 84 (1), 69-77.
- Critten D.L., Bailey B.J. (2002) - A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112, 1-22.
- Dierickx W. (1998) - Flow reduction on synthetic screens obtained both with water and airflow apparatus. *J. Agric. Engng. Res.*, 71, 67-73.
- Dierickx W. (2003) - Field evaluation of windbreak protection for orchards. *Biosystem Engineering*, 84 (2), 159-170.
- Dierickx W., Cornelis W.M., Gabriels D. (2003) - Wind tunnel study on rough and smooth surface turbulent approach flow and on inclined windscreens. *Biosystem Engineering*, 86 (2), 151-166.
- Dierickx W., Gabriels D., Cornelis W.M. (2001) - Wind tunnel study on wind speed reduction through successive synthetic windscreens. *J. Agric. Engng. Res.*, 79 (1), 117-123.
- Ergun S. (1952) - Fluid flow through packed columns. *Chemical Engineering Progress*, 48, 89-94.
- Fatnassi H., Boulard T., Bourden L. (2003) - Simulation of climatic conditions in full-scale greenhouse fitted with insect-proof screens. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118, 97-111.
- Haxaire R., Boulard T., Mermier M. (2000) - Greenhouse ventilation by wind forces. *Acta Horticulturae*, 534, 31-40.
- Lamrani M.A., Boulard T., Roy J.C., Jaffrin A. (2001) - Airflows and temperature patterns induced in a confined greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.*, 78 (1), 75-88.
- Miguel A.F., van de Braak N.J., Bot G.P.A. (1997) - Analysis of the Airflow Characteristics of Greenhouse Screening Materials. *J. Agric. Engng. Res.*, 67, 105-112.
- Mistriotis A., Briassoulis D. (2002) - Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34, 191-205.
- Mistriotis A., Arcidiacono C., Picuno P., Bot G.P.A., Scarascia-Mugnozza G. (1997/b) - Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero and low-wind-speeds. *Agricultural and Forest Meteorology*, 88, 121-135.
- Mistriotis A., Bot G.P.A., Picuno P., Scarascia Mugnozza G. (1997/a) - Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation with computational fluid dynamics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85, 217-228.
- Montero J.I., Antón A., Kamaruddin R., Bailey B.J. (2001) - Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouses using small scale models. *J. Agric. Engng. Res.*, 79 (2), 213-222.
- Picuno P. (1996) - La ventilazione naturale delle serre. *Colture Protette*, 25 (9), 127-133.
- Robertson A.P., Roux Ph., Gratraud J., Scarascia-Mugnozza G., Castellano S., Dufresne de Virel M., Palier P. (2002) - Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 461-474.
- Scarascia-Mugnozza G., Vox G., Picuno P. (2001) - Greenhouse airflow ventilation analysis by means of a sonic anemometer. Proceedings of the International Workshop on: "Greenhouse design and crops engineering", Vieste (Italy), 14 September 2001.
- Scarascia-Mugnozza G., Vox G., Picuno P. (2002) - Turbulent airflow in a naturally ventilated greenhouse investigated with a three-dimensional sonic anemometer. Proceedings of the AgEng International Conference, Budapest (Hungary), 30 giugno 4 luglio 2002.
- Teitel M., Segal L. (1995) - Net thermal radiation under shading screens. *J. Agric. Engng. Res.*, 61, 19-26.
- Teitel M. (2001) - The effect of insect-proof screens in roof openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110, 13-25.
- Wang S., Deltour J. (1999) - Lee-side ventilation-induced air movement in a large-scale multi-span greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.*, 74, 103-110.
- Wang S., Boulard T., Haxaire R. (1999/a) - Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96, 181-188.
- Wang S., Yernaux M., Deltour J. (1999/b) - A networked two-dimensional sonic anemometer system for the measurement of air velocity in greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.*, 73, 189-197. □