



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**Dipartimento di Ingegneria Industriale**

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

# **Un sistema esperto per la gestione delle serre: modello fisico-matematico**

Tesi in

**Principi di Ingegneria Chimica**

Relatore:

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Candidata:

Chiara Sabato

matricola 0612201747

**Anno Accademico 2020/2021**

Ai miei genitori,  
ad Emanuela e Vincenzo

Questo testo è stato stampato in proprio, in Times New Roman

La data prevista per la discussione della tesi è il 24/05/2021

Fisciano, 13/05/2021



# Sommario

<b>Sommario.....</b>	<b>I</b>
<b>Indice delle figure.....</b>	<b>IV</b>
<b>Indice delle tabelle.....</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>IX</b>
<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
1.1 Il sistema serra .....	2
1.2 Principali parametri microclimatici .....	3
1.2.1 Radiazione solare	4
1.2.2 Temperatura	5
1.2.3 Umidità	6
1.2.4 Intensità luminosa	7
1.2.5 Concentrazione di anidride carbonica	8
1.3 Metodi di controllo microclimatico .....	8
1.3.1 Ventilazione	8
1.3.2 Riscaldamento	10
1.3.3 Ombreggiamento	11
1.4 Obiettivi della tesi .....	12
<b>Modellazione.....</b>	<b>13</b>
2.1 Ipotesi alla base del modello .....	14
2.2 Bilancio sulla temperatura dell'aria interna alla serra .....	14

---

2.2.1	Radiazione globale assorbita	15
2.2.2	Flusso convettivo e conduttivo tra aria interna ed esterna	15
2.2.4	Flusso di calore convettivo tra il suolo e l'aria interna	16
2.2.5	Flusso di calore dovuto al riscaldamento	17
2.2.5	Flusso di calore dovuto all'evaporazione dell'acqua	18
2.2.6	Flusso di calore dovuto alla ventilazione	18
2.2.7	Flusso di calore dovuto alla traspirazione	19
2.3	Bilancio sulla concentrazione di vapor d'acqua nell'aria della serra _____	19
2.3.1	Flusso di evaporazione dalla superficie del suolo	20
2.3.2	Il flusso di condensazione sulla copertura	20
2.3.3	Deflusso per ventilazione naturale	21
2.3.4	Flusso di traspirazione delle colture	21
2.4	Implementazione e simulazione in Excel _____	22
2.4.1	Dati in input	23
<b>Risultati e discussione.....</b>		<b>29</b>
3.1	Ambiente di simulazione _____	30
3.1.1	Risultati della simulazione	30
3.2	Effetto delle strategie di controllo _____	32
<b>Conclusioni.....</b>		<b>39</b>
4.1	Conclusioni generali _____	40
<b>Bibliografia .....</b>		<b>41</b>

---



## Indice delle figure

Figura 1 Piante di pomodoro danneggiate in seguito ad esposizione a basse temperature (0°C-3°C).....	5
Figura 2 Peperone marcio in serra.....	7
Figura 3 Prese d'aria in una serra ventilata naturalmente. ....	9
Figura 4 Serra dotata di reti ombreggianti .....	11
Figura 5 Dati sperimentali della temperatura dell'aria esterna in funzione del tempo.....	24
Figura 6 Dati sperimentali della radiazione solare in funzione del tempo. ....	24
Figura 7 Dati sperimentali della velocità del vento in funzione del tempo .....	25
Figura 8 Dati sperimentali dell'umidità relativa esterna in funzione del tempo.	25
Figura 9 Andamento della temperatura dell'aria interna in funzione del tempo	31
Figura 10 Andamento della concentrazione di vapor d'acqua in funzione del tempo .....	31
Figura 11 Andamento della temperatura dell'aria interna in funzione del tempo per una temperatura dell'acqua nei tubi di riscaldamento di 90°C.....	33
Figura 12 Andamento della concentrazione di vapor d'acqua in funzione del tempo per una temperatura dell'acqua nei tubi di riscaldamento di 90°C .....	33
Figura 13 Andamento della temperatura dell'aria in funzione del tempo per una temperatura dell'acqua nel sistema di riscaldamento di 30°C.....	34
Figura 14 Andamento della concentrazione di vapor d'acqua nell'aria per una temperatura dell'acqua nel sistema di riscaldamento di 30°C.....	34
Figura 15 Andamento della temperatura dell'aria interna in funzione del tempo per aperture del tetto di 25 m <sup>2</sup> e aperture laterali di 15 m <sup>2</sup> .....	35
Figura 16 Andamento della concentrazione di vapor d'acqua in funzione del tempo per aperture del tetto di 25 m <sup>2</sup> e aperture laterali di 15 m <sup>2</sup> .....	35
Figura 17 Andamento della temperatura dell'aria in funzione del tempo per aperture del tetto di 20 m <sup>2</sup> e aperture laterali di 10 m <sup>2</sup> .....	36
Figura 18 Andamento della concentrazione di vapore acqueo nell'aria in funzione del tempo per aperture del tetto di 20 m <sup>2</sup> e aperture laterali di 10 m <sup>2</sup> .	36

---

---

Figura 19 Variazione della temperatura dell'aria interna nel tempo per temperature del fluido caldo di 60°C, 30°C e 90°C .....	37
Figura 20 Variazione della temperatura dell'aria interna nel tempo per diverse aree delle aperture di ventilazione.....	37
Figura 21 Variazione della concentrazione di vapor d'acqua nell'aria nel tempo per temperature del fluido caldo di 60°C, 30°C e 90°C .....	38
Figura 22 Variazione della concentrazione di vapor d'acqua nell'aria nel tempo per diverse aree delle aperture di ventilazione.....	38

---



---

## Indice delle tabelle

Tabella 1 Formule empiriche per il coefficiente di scambio termico convettivo tra la superficie esterna della copertura e l'aria esterna alla serra secondo diversi autori e in base a diverse condizioni.....	16
Tabella 2 Formule empiriche per il coefficiente di scambio termico convettivo tra la superficie interna della copertura e l'aria interna alla serra secondo diversi autori e in base a diverse condizioni.....	16
Tabella 3 Formule empiriche per il coefficiente di scambio termico convettivo tra l'aria interna alla serra e la superficie del suolo secondo diversi autori e in base a diverse condizioni. ....	17
Tabella 4 Coefficienti di scarico in base a diverse condizioni e secondo diversi autori. ....	19
Tabella 5 Coefficienti di effetto del vento secondo diversi autori. ....	19

---



# Abstract

The greenhouse microclimate directly influences the metabolic activities of the crop, the quality of the fruit and the production. Thus, it is important to monitor and maintain the microclimate parameters, such as air temperature, humidity, solar radiation, CO<sub>2</sub> concentration and light intensity, within the optimal range for crop growth and development.

In this thesis, a physical-mathematical model was developed to predict the dynamic behavior of the microclimate of a greenhouse equipped with a water heating system and naturally ventilated. In particular, a system of two first-order differential equations is proposed on the basis of the physical processes involving the transfer of heat and mass (convection, conduction, radiation, evaporation, transpiration and condensation).

Afterwards, the model was implemented and numerically solved in Excel, the spreadsheet that allowed the simulation of the behavior of the microclimate in the greenhouse in an automated way. Thus it was possible to predict the dynamic response of the two time-dependent variables of the model, air temperature and water vapor concentration inside the greenhouse, for a period of 24 hours.

Finally, different heating and ventilation conditions were simulated and compared in order to test the predictive abilities of the model.

## Bibliografia

- [1] A. Pardossi, F. Tognoni, and L. Incrocci, “T T HE OF H ORTICUL Mediterranean Greenhouse Technology,” no. May, pp. 28–34, 2016.
- [2] J. Chang *et al.*, “Does growing vegetables in plastic greenhouses enhance regional ecosystem services beyond the food supply?,” *Front. Ecol. Environ.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–49, 2013..
- [3] G. Giacomelli, N. Castilla, E. Van Henten, and D. Mears, “Aspetti ingegneristici ed innovazione nelle colture protette,” *Italus Hortus*, vol. 15, no. 4, pp. 11–22, 2008.
- [4] M. C. Singh, A. Yousuf, and J. P. Singh, “Greenhouse microclimate modeling under cropped conditions -A review,” *Res. Environ. Life Sci. rel\_sci@yahoo.com*, vol. 9, no. 12, pp. 1552–1557, 2016,
- [5] F. Rodríguez, M. Berenguel, J. L. Guzmán, and A. Ramírez-arias, *Advances in Industrial Control. Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth*. 2014.
- [6] D. Savvas, G. Ntatsi, and H. Passam, “Impact of greenhouse microclimate on plant growth and development with special reference to the Solanaceae,” *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol.*, vol. 2, no. 1, pp. 45–61, 2008.
- [7] “Il Sistema Serra e il calore del sole La serra , oltre a proteggere le piante , è un vero e proprio collettore solare capace di captare e trattenere il calore del sole .,” 2012.
- [8] Y. Mukazhanov, Z. Kamshat, O. Assel, N. Shayhmetov, and C. Alimbaev, “Microclimate control in greenhouses,” *Int. Multidiscip. Sci. GeoConference Surv. Geol. Min. Ecol. Manag. SGEM*, vol. 17, no. 62, pp. 699–704, 2017.
- [9] M. El-Dairi and R. J. House, “Optic nerve hypoplasia,” *Handbook of Pediatric Retinal OCT and the Eye-Brain Connection*. pp. 285–287, 2019.
- [10] G. Vox, M. Teitel, A. Pardossi, A. Minuto, F. Tinivella, and E. Schettini, *Sustainable greenhouse systems*, no. January. 2010.
- [11] M. C. Sánchez-Guerrero, P. Lorenzo, E. Medrano, N. Castilla, T. Soriano, and A. Baille, “Effect of variable CO<sub>2</sub> enrichment on greenhouse production in mild winter climates,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 132, no. 3–4, pp. 244–252, 2005,

- 
- [12] F. J. Baptista, B. J. Bailey, J. M. Randall, and J. F. Meneses, "Greenhouse ventilation rate: Theory and measurement with tracer gas techniques," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 72, no. 4, pp. 363–374, 1999.
- [13] E. Fitz-Rodríguez, C. Kubota, G. A. Giacomelli, M. E. Tignor, S. B. Wilson, and M. McMahon, "Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios: A web-based application," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 70, no. 1, pp. 105–116, 2010.
- [14] J. C. Roy, T. Boulard, C. Kittas, and S. Wang, "Convective and ventilation transfers in greenhouses, part 1: The greenhouse considered as a perfectly stirred tank," *Biosyst. Eng.*, vol. 83, no. 1, pp. 1–20, 2002.
- [15] <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e07.htm#solar%20radiation>
-





---