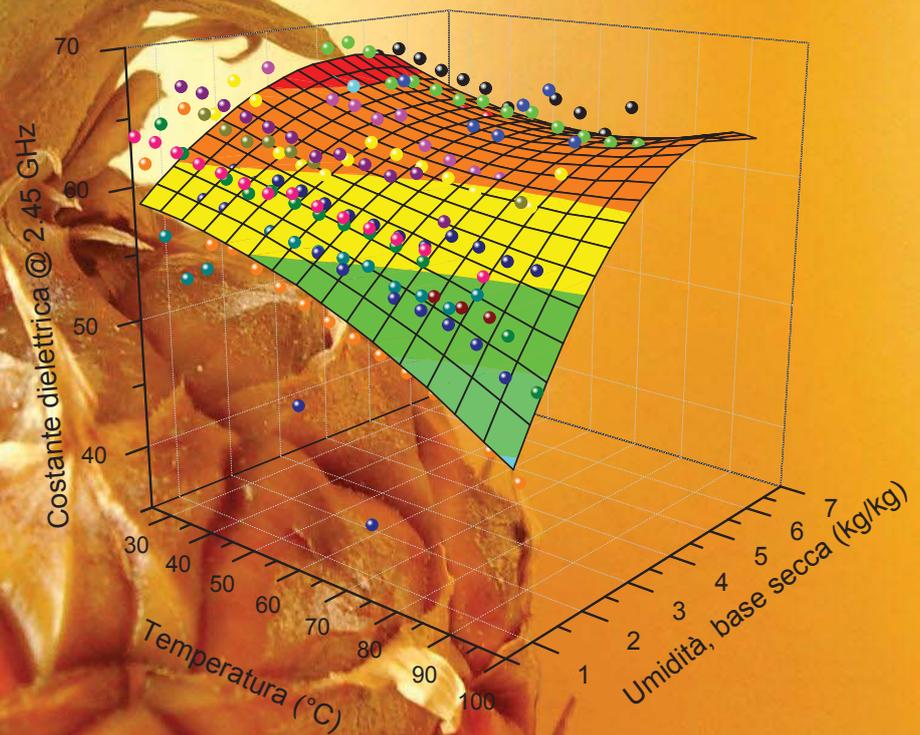


# Determinazione delle proprietà dielettriche della frutta durante essiccamento assistito da microonde







UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**Facoltà di Ingegneria**

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

**Determinazione delle proprietà dielettriche della  
frutta durante essiccamento assistito da microonde**

Tesi in

**Principi di Ingegneria Chimica**

Relatori:

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Prof. Ing. Anna Angela Barba

Candidata:

Luana Schiavo

matricola 0610200239

**Anno Accademico 2011/2012**



*Alla mia famiglia*

Questo testo è stato stampato in proprio, in Times New Roman  
La data prevista per la discussione della tesi è il 24/07/2012  
Fisciano, 18/07/2012

# Sommario

<b>Sommario .....</b>	<b>I</b>
<b>Indice delle figure .....</b>	<b>V</b>
<b>Indice delle tabelle .....</b>	<b>VII</b>
<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
1.1 Alterazione degli alimenti <sup>[3]</sup> .....	2
1.1.1 Classificazione dei metodi di conservazione .....	3
1.2 Conservazione con il calore .....	4
1.2.1 Azione delle alte temperature su microrganismi ed enzimi .....	4
1.2.2 Trattamenti termici .....	5
1.3 Trattamenti a microonde .....	9
1.3.1 Principi fisici del riscaldamento a microonde .....	9
1.3.2 Applicazioni industriali <sup>[12]</sup> .....	11
1.3.3 Proprietà dielettriche <sup>[12]</sup> .....	13
1.4 Stato dell'arte .....	16
1.5 Obiettivo del lavoro di tesi .....	19
<b>Materiali, apparecchiature e metodi .....</b>	<b>21</b>
2.1 Materiali .....	22
2.1.1 Ananas .....	22
2.2 Apparecchiature .....	26
2.2.1 Rifrattometro .....	26
2.2.2 Conduttimetro .....	27

2.2.3 Misuratore di umidità	27
2.2.5 Network Analyzer	28
2.2.6 Stufa ventilata	29
2.2.7 Forno a microonde	29
2.2.8 Termometro a fibre ottiche	29
2.2.9 Altre apparecchiature	30
2.3 Metodi	30
2.3.1 Metodi per la caratterizzazione della matrice agroalimentare	30
2.3.2 Misure dielettriche ad umidità costante	30

## **Risultati e discussione ..... 33**

3.1 Caratterizzazione del frutto tal quale	34
3.1.1 Grado zuccherino	34
3.1.2 Conducibilità elettrica	34
3.1.3 pH	34
3.1.4 Proprietà dielettriche	34
3.2 Risultati della determinazione delle proprietà dielettriche: umidità costante e temperatura variabile	36
3.2.1 Costante dielettrica 0.915 GHz	36
3.2.2 Costante dielettrica 2.45 GHz	38
3.2.3 Fattore di perdita 0.915 GHz	41
3.2.4 Fattore di perdita 2.45 GHz	43
3.3 Risultati della determinazione delle proprietà dielettriche: temperatura costante e umidità variabile	46
3.3.1 Costante dielettrica 0.915 GHz	46
3.3.2 Costante dielettrica 2.45 GHz	48
3.3.3 Fattore di perdita 0.915 GHz	50
3.3.4 Fattore di perdita 2.45 GHz	52
3.4 Analisi dei dati	54
Costante dielettrica 0.915 GHz	59
Fattore di perdita 0.915 GHz	60
Costante dielettrica 2.45 GHz	61

---

Sommario e indici.	Pag. III
Fattore di perdita 2.45 GHz	62
<b>Conclusioni.....</b>	<b>65</b>
4.1 Conclusioni_____	66
<b>Bibliografia.....</b>	<b>69</b>

---



## Indice delle figure

Figura 1. Spettro elettromagnetico .....	9
Figura 2. Diagramma schematico di un magnetron: (a) vista dall'alto, (b) vista laterale .....	10
Figura 3. Contributo dei vari meccanismi al fattore di perdita di materiali umidi in funzione della frequenza .....	15
Figura 4. Diagramma schematico che illustra i meccanismi di perdita dipolare e ionica e il loro contributo alle proprietà dielettriche in funzione della frequenza ....	16
Figura 5. Costante dielettrica di vegetali e frutta a 2.45 GHz in funzione della temperatura.....	17
Figura 6. Fattore di perdita di vegetali e frutta a 2.45 GHz in funzione della temperatura.....	18
Figura 7. Esempio di matrice utilizzata nell'attività sperimentale. ....	22
Figura 8. Prodotti a base di ananas .....	25
Figura 9. Rifrattometro.....	26
Figura 10. Conduttimetro CRISON GLP 31 .....	27
Figura 11. Analizzatore di umidità OHAUS mod. MB45.....	27
Figura 12. Network Analyzer, della Agilent Technologies mod. ES 8753. ....	28
Figura 13. Stufa ventilata modello ISCO serie 9000.....	29
Figura 14. Dettagli costruttivi e specifiche tecniche dei sensori a fibra ottica utilizzati per le misure della temperatura.....	30
Figura 15. Costante dielettrica e fattore di perdita della banana (misure effettuate sul frutto maturo alla temperatura di 25°C) al variare della frequenza. Confronto proprietà dielettriche dell'acqua e dell'ananas.....	35
Figura 16. Costante dielettrica in funzione della temperatura a 0.915 GHz.....	36
Figura 17. Costante dielettrica in funzione della temperatura a 2.45 GHz.....	38

---

Figura 18. Confronto della costante dielettrica a 0.915 e 2.45 GHz a diversi contenuti di umidità .....	41
Figura 19. Fattore di perdita in funzione della temperatura a 0.915 GHz.....	41
Figura 20. Fattore di perdita in funzione della temperatura a 2.45 GHz.....	43
Figura 21. Costante dielettrica in funzione del contenuto di umidità a 0.915 GHz ..	46
Figura 22. Costante dielettrica in funzione del contenuto di umidità a 2.45 GHz ....	48
Figura 23. Fattore di perdita in funzione del contenuto di umidità a 0.915 GHz.....	50
Figura 24. Fattore di perdita in funzione del contenuto di umidità a 2.45 GHz.....	52
Figura 25. Grafico tridimensionale e grafico contour per la costante dielettrica a 0.915 GHz in cui sono messi a confronto i dati sperimentali con il modello C di predizione .....	59
Figura 26. Grafico tridimensionale e grafico contour per il fattore di perdita a 0.915 GHz in cui sono messi a confronto i dati sperimentali con il modello C di predizione .....	60
Figura 27. Grafico tridimensionale e grafico contour per la costante dielettrica a 2.45 GHz in cui sono messi a confronto i dati sperimentali con il modello C di predizione .....	61
Figura 28. Grafico tridimensionale e grafico contour per il fattore di perdita a 2.45 GHz in cui sono messi a confronto i dati sperimentali con il modello C di predizione .....	62

---

## Indice delle tabelle

Tabella 1. Composizione chimica e valore energetico dell'ananas per 100 g di parte edibile [1]. [Continua a pag 23].....	23
Tabella 2. Parametri relativi al modello A.....	56
Tabella 3. Parametri relativi al modello B.....	57
Tabella 4. Parametri relativi al modello C.....	57
Tabella 5. SSE dei modelli A, B, C rispetto ai dati sperimentali.....	58
Tabella 6. Valori di $\Delta AIC$ tra il modello A e il modello C .....	63

---





## Bibliografia

1. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service, <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>, data di consultazione: 6-7-2012
2. Y. H. Hui, Handbook of Food Products Manufacturing, *Associate Editor* (2007)
3. P. Cappelli, V. Vannucchi, Chimica degli alimenti: conservazione e trasformazioni, *Zanichelli editore*, Seconda edizione (2000)
4. H. Schubert, M. Regier, The microwave processing of foods, *CRC Press LLC* (2005)
5. Barba A.A., d'Amore M., Applicazioni delle microonde nel settore agroalimentare - Capitolo 10 del "Il riscaldamento a microonde. Principi ed Applicazioni" *Pitagora Editrice*, Bologna, pp.269-295, (2008)
6. Jasim Ahmed, H.S. Ramaswamy, G.S.V. Raghavan, Dielectric properties of soybean protein isolate dispersions as a function of concentration, temperature and pH, *LWT* 41 (2008) 71-81
7. Sun E, Datta A, Lobo S., Composition-based prediction of dielectric properties of food, *J Microw Power Electromagn Energy*. 1995;30(4):205-12. (Abstract)
8. Xiangjun Liao, G.S.V. Raghavan, Jianming Dai, V.A. Yaylayan, Dielectric properties of  $\alpha$ -D-glucose aqueous solutions at 2450 MHz, *Food Research International* 36 (2003) 485-490
9. Murat Sean McKeown, Samir Trabelsi, Ernest William Tollner, Stuart O. Nelson, Dielectric spectroscopy measurements for moisture prediction in Vidalia onions, *Journal of Food Engineering* 111 (2012) 505-510
10. O. Sipahioglu and S.A. Barringer, Dielectric Properties of Vegetables and Fruits as a Function of Temperature, Ash, and Moisture Content, *Journal of Food Science* Vol. 68, Nr. 1, 2003
11. S. Wang; J. Tang; J.A. Johnson; E. Mitcham; J.D. Hansen; G. Hallman; S.R. Drake; Y. Wang, Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystems Engineering* (2003) 85 (2), 201-212

12. M.E. Sosa-Morales, L. Valerio-Junco, A. López-Malo, H.S. García, Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications, *LWT - Food Science and Technology* 43 (2010) 1169-1179
  13. Stuart O. Nelson, Frequency And Temperature Dependence Of The Dielectric Properties Of Fresh Fruits
  14. E.T. Thostenson, T.-W. Chou, Microwave processing: fundamentals and applications, *Composites: Part A* 30 (1999) 1055-1071
  15. M.S. Venkatesh; G.S.V. Raghavan, An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials, *Biosystems Engineering* (2004) 88 (1), 1-18
  16. Akaike, Hirotugu (1974). "A new look at the statistical model identification".
  17. Barba A.A., d'Amore M., Relevance of dielectric properties in microwave assisted processes, in *Microwave Materials Characterization*, InTech, ISBN 979-953-307-893-8, (2012), in stampa
-



