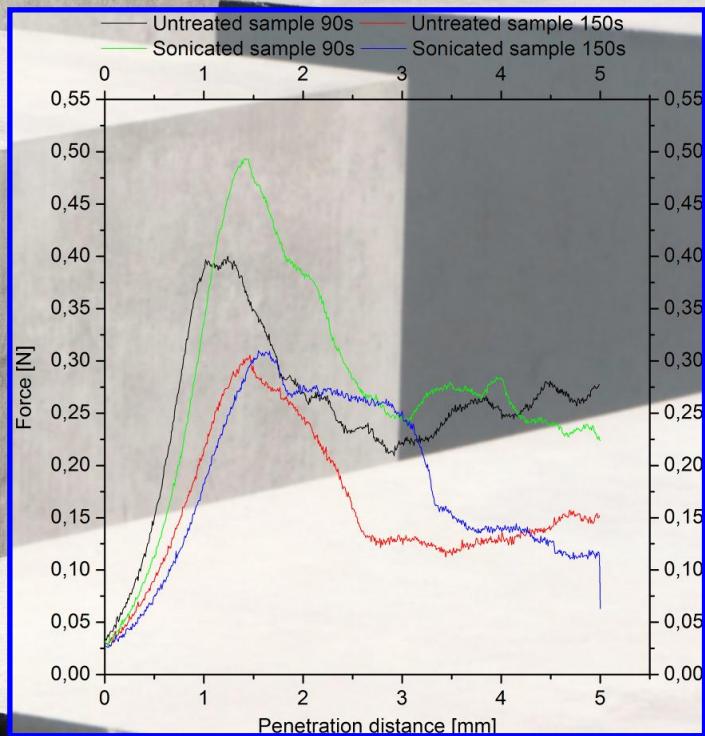


Effects of ultrasound assisted frying on quality characteristics of French fries



Pietro Apicella



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Alimentare

**Effects of ultrasound assisted frying
on quality characteristics of French fries**

Tesi in
Principi di Ingegneria Chimica e Impianti Chimici

Relatori:

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Candidato:

Pietro Apicella

Prof. Ing. Anna Angela Barba

matricola 0620600030

Prof. Dietrich Knorr

Anno Accademico 2010/2011



Part of this thesis work has been developed during the Erasmus project at the

Technische Universität Berlin, in Germany. It has been performed at the Department of Food Biotechnology and Food Process Engineering, under the supervision of Prof. Dietrich Knorr and Dr. Henry Jaeger and with the collaboration of Dr. Katharina Schössler.



Parte di questo lavoro di tesi è stato sviluppato nell'ambito del progetto Erasmus presso

la Technische Universität Berlin, in Germania. In particolare, le attività sperimentali sono state svolte nel Dipartimento di Biotecnologia Alimentare e di Ingegneria dei Processi Alimentari, sotto la supervisione del Prof. Dietrich Knorr e del Dott. Henry Jaeger e con la collaborazione della Dott.ssa Katharina Schössler.

Ai miei genitori

*Una pensiero speciale è per zio
Rosario e zia Silvia. Spero di
potervi regalare un attimo di gioia
in questo difficile momento, con il
sincero e sentito augurio di un più
roseo e sereno futuro.*

Questo testo è stato stampato in proprio, in Times New Roman
La data prevista per la discussione della tesi è il 25 marzo 2011
Fisciano, 21 marzo 2011

Contents

| | |
|--|------------|
| Contents..... | I |
| Figures Index | III |
| Tables Index..... | VII |
| Riassunto | IX |
| Introduction | 1 |
| 1.1 Potatoes and French fries: the origins. _____ | 2 |
| 1.1.1 Deep fat frying of food: methods and apparatus | 3 |
| 1.2 Why the French fries?_____ | 5 |
| 1.3 French fries production: description of process _____ | 6 |
| 1.3.2 Quality aspect of French fries | 10 |
| 1.4 Transport phenomena _____ | 12 |
| 1.4.1 Mass transport | 13 |
| 1.4.2 Heat transport | 15 |
| 1.5 Literature review_____ | 17 |
| The Ultrasound..... | 21 |
| 2.1 Fundamentals of ultrasound _____ | 22 |
| 2.2 Applications of Ultrasound_____ | 27 |
| 2.2 Process parameters _____ | 28 |
| 2.3 Literature review on ultrasounds applications in food treatments _____ | 29 |

| | |
|---|-----------|
| The aim of work | 33 |
| 3.1 Aim of work | 34 |
| Materials and methods | 35 |
| 4.1 Preparation of French fries | 36 |
| 4.2 Ultrasound: equipment and application | 40 |
| 4.3 Frying oil | 43 |
| 4.3 Analytical technique..... | 44 |
| 4.4 Moisture determination | 44 |
| 4.5 Fat content determination..... | 46 |
| 4.6 Moisture and fat profile determination..... | 51 |
| 4.7 Texture analysis | 53 |
| 4.8 Color analysis | 55 |
| Results and discussion | 57 |
| 5.1 Moisture content..... | 58 |
| 5.2 Fat content | 62 |
| 5.3 Texture analysis | 64 |
| 5.4 Color analysis | 66 |
| 5.5 Moisture and fat contents profiles | 67 |
| 5.5.1 Moisture content profiles | 68 |
| 5.5.2 Fat content profiles..... | 73 |
| Conclusions..... | 77 |
| 6.1 Conclusions | 78 |
| 6.1.1 Summary of the work | 78 |
| 6.1.2 Main conclusions | 79 |
| 6.1.3 Future prospects | 80 |
| References..... | 83 |

Figures Index

| | |
|---|----|
| Figure 1. The batch fryers [46] (on the left) and a pan used to frying [47] (on the right). | 4 |
| Figure 2. Industrial fryer [47]. | 4 |
| Figure 3. Flow chart of French fries production..... | 7 |
| Figure 4. Industrial potatoes cutter [48]. | 8 |
| Figure 5. Industrial French fries dryer [49]. | 9 |
| Figure 6. Industrial continuous deep fat fryer [50]. | 9 |
| Figure 7. Effect of heating on potato tissue..... | 11 |
| Figure 8. Time-temperature lapses during frying [51]. | 16 |
| Figure 9. Heat and mass fronts of transport [15]. | 17 |
| Figure 10. POV as a function of frying for SFO [30]. | 18 |
| Figure 11. FFA as a function of frying for SFO [30]. | 18 |
| Figure 12. Anisidine value as a function of frying for SFO [30]. | 19 |
| Figure 13. OD as a function of frying for SFO [30]. | 19 |
| Figure 14. IV as a function of frying time for SFO [30]. | 20 |
| Figure 15. Expansion of cavitation bubble. | 22 |
| Figure 16. Collapsing of cavitation bubble..... | 23 |
| Figure 17. Sound propagation can be represented in a sinusoidal waveform with a characteristic pressure (P), wavelength (λ), frequency (f), period (T) and velocity | 23 |
| Figure 18. Formation of liquid microjet during bubble collapse near an extended surface [39]..... | 25 |
| Figure 19. Difference (% d.m.) in water content and solute content between ultrasonic and agitation experience for apple osmotic dehydration. ▲ 50°C solute content; ● 70°C solute content; Δ 50°C water content; ○ 70°C water content [37]. | 30 |
| Figure 20. Cross-sectional view of ultrasonic apparatus [13]. | 31 |

| | |
|--|----|
| Figure 21. Perspective view of the food cooking equipment with the lid opened (left) and cross-sectional view (right) [14]. | 32 |
| Figure 22. Agria potatoes cultivar [52,53,54]..... | 36 |
| Figure 23. Potato cutter..... | 37 |
| Figure 24. Bath for blanching..... | 38 |
| Figure 25. Oven's external and internal view..... | 39 |
| Figure 26. Modified basket of fryer..... | 39 |
| Figure 27. <i>Hielscher</i> UIP 1000 ultrasonic processor [35]..... | 40 |
| Figure 28. Voltcraft 3000. | 42 |
| Figure 29. Plan of analytical controls. | 44 |
| Figure 30. Common kitchen grinder used (on the left) and <i>Heraus Instrument</i> UT 6060 (on the right)..... | 45 |
| Figure 31. Moisture analyzer with close and open lid. | 46 |
| Figure 32. Soxhlet device [55]..... | 47 |
| Figure 33. Extraction of fat with Rotovapor in vacuum condition (on the left) and samples ready for the extraction (on the right). | 50 |
| Figure 34. Cylinder obtained from potato (on the left and in the middle) and the disc obtained from the cylinder. | 51 |
| Figure 36. Example of cutting to collect sample for fat profile determination. | 52 |
| Figure 35. Punching of disc to obtain the middle part (on the left) and the samples obtained from punching (on the right). | 52 |
| Figure 37. Stable <i>Microsystem TA.XT2i</i> texture analyzer [56]. | 53 |
| Figure 38. Multiple chip rig to assess French fries texture [57]. | 54 |
| Figure 39. Typical texture profile. | 54 |
| Figura 40. Paper of Color Standards for frozen French fried potatoes. | 55 |
| Figure 41. Color determination for comparison between fried potato and the paper of color..... | 56 |
| Figure 42. Moisture content versus drying time for each phase of process. | 58 |
| Figure 43. Assessment of the effects of ultrasound on moisture content..... | 59 |
| Figure 44. Evaluation of sonication time on moisture content. | 60 |
| Figure 45. Evolution of moisture content in untreated and sonicated sample. | 61 |
| Figure 46. Assessment of the effects of ultrasound on the fat content..... | 62 |
| Figure 47. Evaluation of sonication time on the fat content. | 63 |
| Figure 48. Comparison between treated and untreated samples. | 64 |

| | |
|---|----|
| Figure 49. Texture profiles for untreated and sonicated French fries..... | 65 |
| Figure 50. Breaking force, Total work and Rigidity for untreated and treated samples..... | 66 |
| Figure 51. Moisture content profile in fresh potato..... | 68 |
| Figure 52. Moisture content profile in potato after blanching..... | 69 |
| Figure 53. Moisture content profile in the potato after drying..... | 70 |
| Figure 54. Moisture content profile after 3.5 minutes of frying..... | 71 |
| Figure 55. Moisture content profile after 5 minutes frying..... | 72 |
| Figure 56. Moisture content profile after 7 minutes of frying..... | 73 |
| Figure 57. Fat content profile after 3.5 minutes of frying..... | 74 |
| Figure 58. Fat content profile after 5 minutes of frying..... | 74 |
| Figure 59. Fat content profile after 7 minutes of frying..... | 75 |
| Figure 60. Effects of ultrasound during frying..... | 79 |

Tables Index

| | |
|--|----|
| Table 1. Applications of ultrasound | 27 |
| Table 2. Chemical composition of Agria cultivar: macronutrients for 100 g of edible part..... | 36 |
| Table 3. Required electrical power and specific energy to vary of sonication intensity..... | 42 |
| Table 4. Sunflower oil physical characteristics..... | 43 |
| Table 5. Chemical and physical data of Petroleum benzene 40-60°C..... | 48 |
| Table 6. Amount of sample for expected fat..... | 48 |
| Table 7. fat content related with time extraction | 49 |
| Table 8. Fat content with and without preliminary acid decomposition..... | 49 |

Riassunto

Questo lavoro di tesi è stato condotto per studiare gli effetti degli ultrasuoni, applicati durante il processo di produzione delle patate fritte, sulla loro qualità. A tal fine è stato riprodotto il processo di produzione industriale delle *French fries* e sono stati esaminati il tenore medio di umidità e di grassi, i profili dei grassi e dell'umidità, la texture e il colore delle patate non trattate e quello dei campioni sonicati.

La materia prima utilizzata è rappresentata dalle patate di qualità Agria, tubero dalla caratteristica forma rotonda, ovale o allungata, particolarmente adatto alla produzioni alimentari per il suo alto contenuto in solidi e la sua povertà in zuccheri; caratteristiche che permettono una maggiore resa, un minor assorbimento di olio, una migliore tenuta della texture e un minor grado di imbrunimento non enzimatico (reazione del Maillard), durante la frittura. Le patate, prelevate da una condizione di refrigerazione a 4°C, sono state sottoposte alla fase di condizionamento: 30 minuti a temperatura ambiente, per abbassare la quantità di zuccheri riducenti e ridurre lo “shattering”, al fine di agevolare il taglio. Le patate sbucciate e tagliate (strips) sono state sottoposte alla fase di blanching, articolata in due steps: i primi 60 secondi a 80°C e la seconda fase di 20 minuti a 66°C. Al termine dello step di blanching, è stata rimossa l’acqua in eccesso, utilizzando un getto di aria compressa e le patate sono state collocate in una stufa a 80°C per 30 minuti, fase di drying, per ridurre il tenore medio di umidità all'interno delle strips di sotto del 75%. I campioni prelevati dalla stufa sono stati sottoposti al primo step di frittura a 177°C per 150 secondi. Dopo aver rimosso l'olio in eccesso, le *French fries* sono state congelate e, dopo almeno due ore di congelamento, sono state sottoposte al secondo step di frittura, per completarne la cottura. Al termine di ciascuna fase del processo produttivo, sono stati prelevati dei campioni di patate, nell'ordine di pochi grammi (da due a quattro grammi), sono stati macinati e sottoposti ad essiccazione in stufa a 103°C, fino a costanza di peso, al

fine di determinare il contenuto di umidità media all'interno delle strips. Al termine di ogni fase di frittura è stato determinato, con il metodo Soxhlet, il contenuto medio di grasso nel patatine fritte. Un batch di 10 grammi è stato macinato e collocato nel ditale, che è stato posto all'interno del Soxhlet, per la seguente fase di estrazione, della durata 5 ore. Alla fine dell'estrazione, il solvente (Petroleum Benzene) è stato evaporato ed è stato possibile determinare la quantità di grasso le patate fritte.

Al termine di ciascuna fase di frittura sono state effettuate analisi di texture, tramite lo *Stable TA.XT2i Microsystems*, e di colore, con la *Color Standards chart for frozen French fries*. Sono stati studiati, inoltre, i profili di umidità e dei grassi che vengono a svilupparsi all'interno di un cilindro di patata di 2,2 cm di diametro e 6 cm di altezza. Al termine di ogni fase del processo, dalla zona centrale del cilindro, è stato ricavato un disco di 3 millimetri di altezza, che è stata sezionato con due punzoni di 1.4 e 0.8 centimetri di diametro, in modo da ottenere tre parti: uno strato esterno, uno strato intermedio e un core centrale, sui quali sono stati determinati il contenuto radiale di umidità e di grassi.

L'azione degli ultrasuoni durante la frittura favorisce il trasporto di calore per convezione attraverso le microstreaming e questo favorisce la perdita di umidità dal prodotto, testimoniata da una più vigorosa formazione di bolle durante la frittura. Dalle prove effettuate non è chiaro se gli ultrasuoni abbiano un effetto diretto sulla diffusione all'interno del campione, ma, come risulta dall'analisi dei profili di umidità, è evidente l'aumento della forza spingente lato acqua e questo è testimoniato dalla continua rimozione di acqua dalla superficie che conduce ad una maggiore disidratazione rispetto al campione non trattato, nello strato esterno della patata. La maggiore velocità con la quale viene rimossa l'acqua porta ad una più rapida formazione della crosta, che, tuttavia, è danneggiata per effetto degli ultrasuoni e si ricostituisce grazie all'ulteriore disidratazione dello strato esterno, portando alla formazione di una crosta più morbida alla fine del processo.

L'azione degli ultrasuoni permette, inoltre, il rilascio di zuccheri riducenti nell'olio di frittura con una conseguente riduzione dell'imbrunimento delle patate, che mostrano un colore più chiaro rispetto alle patate fritte che non sono sottoposte a un trattamento ad ultrasuoni.

Gli ultrasuoni non hanno mostrato un effetto diretto sull'apporto di grassi nelle *French fries* ma l'incremento della velocità di disidratazione permette un cottura più rapida e quindi rende possibile una riduzione del tempo di contatto patata-olio. Essendo, la quantità di olio assorbita, legata alla quantità di acqua che si allontana e al tempo di contatto con l'olio di frittura, una diminuzione nei tempi di cottura permette una più rapida perdita di umidità e una riduzione nel tempo di contatto con l'olio, con un effetto di riduzione nella quantità di grassi presenti nelle patatine fritte.

Questo lavoro rappresenta la prima parte di una più ampia ricerca il cui obiettivo è quello di comprendere appieno i fenomeni di trasporto coinvolti durante la frittura e l'effetto degli ultrasuoni sulla qualità delle patate fritte.

Il passo successivo potrebbe essere quello di cambiare le condizioni operative di sonicazione, usando apparecchiature che ne forniscono una più vigorosa, al fine di valutare come variano i fenomeni di trasporto e la qualità del prodotto analizzato.

Sarebbe inoltre, necessario effettuare esperimenti in differenti condizioni operative, considerando non solo diverse intensità di sonicazione ma analizzando diversi binomi tempo-temperatura, al fine di stabilire le migliori condizioni in grado di fornire un'eccellente qualità delle French fries con minor contenuto di grassi.

L'analisi dei profili radiali di umidità e dei grassi può essere utilizzata per raccogliere dati da utilizzare nel processo di modellazione matematica del processo di frittura.

L'obiettivo finale di questo lavoro di ricerca sarà quello di progettare, commercializzare e diffondere una friggitrice, domestica o industriale, ad ultrasuoni in grado di friggere con un minor apporto di grassi.

References

1. <http://www.straightdope.com/columns/read/2033/whats-the-origin-of-french-fries>
2. http://findarticles.com/p/articles/mi_hb6641/is_2_18/ai_n28965693/pg_4/?tag=content;coll1
3. Adefemi F., Heat and mass transfer analogy under turbulent conditions of frying, Thesis degree of master of science in the Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan (2006)
4. <http://homepage.eng.psu.ac.th/chem/ram/8Note.pdf>
5. Povey M.J.M. and Timothy J.M., Ultrasound in food processing, Thomson Science 1998
6. Carillo P. et al., Ottimizzazione del processo produttivo e caratterizzazione chimico-fisica di prodotti a base di patata disidratata, 2006
7. Patist A. and Bates D., Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production, Innovative Food Science and Engineering Technologies 9 (2008) 147-154
8. Fellows P.J., Food processing technology, CRC Press second edition (2000)
9. Welti-Chanes J. Vélez-Ruiz J.F. Barbosa-Cànovas V., Transport Phenomena in Food Processing, CRC Press (2003)
10. Tangduangdee C. Bhumiratana S. and Suvit T., Heat and mass transfer during deep-fat frying of composite foods with thermal protein denaturation as quality index, *ScienceAsia* 29 (2003): 355-364
11. Aygu Yoldiz et al., Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices, Department of Food Engineering, University of Mersin (Turkey)
12. Perry R.H. and Green Don W., Perry's Chemical Engineer's Handbook, Section five: Heat and Mass transfer, McGraw Hill, seventh edition 1999
13. Lawrence E.N., Ultrasonic cooking apparatus, United States Patent number 3636859, January 25,1972

14. Rolle R., Deep fat fryer with ultrasonic rotational basket, United States Patent number 5993872, November 30,1990
15. Singh R.P., Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying, *Food Technol.* 4(1995): 134-137
16. Talburt W.F. and Smith O., Potato processing, AVI, United States (1987)
17. Warren D.S and Woodman J.S., The texture of cooked potatoes: A review, *Science Food and Agriculture* 25:129-138 (1974)
18. Kadan R., Lower fat French fries made from rice, *Agricultural Research Magazine*, February 1996.
19. Kozempel M.F., Tomasula P.M. and Craig J.C.jr, Correlation of moisture and oil concentration in French fries, *Lebensm. Wiss. Technol.* 24: 445-248 (1991)
20. Pinthus E.J., Weinberg P. and Saguy I.S., Deep-fat fried potato product oil uptake as affected by crust physical properties, *Journal Food Science* 60 (4): 770-772 (1995)
21. Pinthus E.J. and Saguy I.S., Deep-fat fried potato product oil uptake as affected by crust physical properties, *Journal Food Science* 59 (4):804-823 (1994)
22. Leighton L.G., The acoustic bubble, Academic Press (1997)
23. Rahman S., Food properties handbook, CRC press, Boca Raton, Florida, 1995
24. Moreira R.G. et al, Simultaneous heat and mass transfer during the deep fat frying of tortilla chips, *Journal of Food Process Engineering* 18: 307-320 (1995)
25. Saguy I.S. and Pinthus E.J., Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism, *Food. Technol.* 4: 142-145,152 (1995)
26. Mason T.J. and Lorimer J.P., Sonochemical enhanced Ullmann reaction, *Journal Food Science* 25: 45-48 (1987)
27. De Meulenaer B. et al., Factors that affect fat uptake during French fries production, UEITP
28. van Loon W., Process innovation and quality aspects of French fries, PhD Thesis (2005)
29. Gamble M.H., Rice P. and Selman J.D., Relationship between oil uptake and moisture loss during frying potato slices from record u.k. tubers, *Internat. J. Food Sci. Technol.* 22: 223-241 (1987)
30. Bangash F.K. and Khattak H., Effect of Deep Fat Frying on physico-chemical properties of Silybum Marianum and Sunflower Seed Oils, University of Peshawar (2006)
31. Pedreschi F. et al, Color development and acrilamide content of pre-dried chips, *Journal of Food Engineering* 79: 786-793 (2007)

32. Farkas B.E., Singh R.P. and Rumsey T.R., Modeling heat and mass transfer in immersion frying.I, model development, *Journal of Food Engineering* 29: 211-226 (1996a)
33. Hubbard L.J. and Farks B.E., A method for determining the convective heat transfer coefficient during frying, *Journal of Food Engineering* 39: 201-214 (1999)
34. Muthukumaran S., Kentish S.E., Stevens G.W. & Ashokkumar M., Ultrasonic innovation in the Food Industry: from the laboratory to commercial production, *Innovative Ultrasonics* (2006)
35. <http://www.hielscher.com>
36. Phongpipatpong M., Study on ultrasonic frying, *31th Congress on Science and Technology of Thailand* (2005)
37. Simal S., Benedito J., Sanchez E.S. & Rossello C., Ultrasound to increase mass tran sport rates during osmotic dehydration, *J. Of Food Science* 36: 323-336 (1998)
38. Artschwager E., Studies on the potato tuber, *Journal of Agriculture Research* 27:809-935 (1924)
39. Kenneth S.S. and Gareth J.P., Application if ultrasound to materials chemistry, *Annu. Rev. Mater. Sci.* 29:295-326 (1999)
40. Fand R.M., The influence of acoustic vibrations on heat transfer by natural convection from a horizontal cylinder to water, *J. Heat Transfer* 87:309-310 (1965)
41. Li K.W., J.D. Parker, Acoustical effects on free convective heat transfer from a horizontal wire, *J. Heat Transfer* 89: 277–278 (1967).
42. Wong S.W., Chon W.Y., Effects of ultrasonic vibration on heat transfer to liquids by natural convection and by boiling, *AIChE J.* 15: 281–288 (1969).
43. Iida Y., Tsutsui K., Effects of ultrasonic waves on natural convection, nucleate boiling and film boiling heat transfer from a wire to a saturated liquid, *Exp. Thermal Fluid Sci.* 5:108–115 (1992).
44. Sastry S. K., Shen G.Q., Blaisdell J. L., Effect of Ultrasonic Vibration on Fluid-to-Particle Convective Heat Transfer Coefficients, *J. Food Sci.* 54, 229–230 (1989).
45. Food processing Handbook, Edited by G. Brennan (2006). Chapter 7: Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies
46. http://www.tradevv.com/chinasuppliers/dfanita_p_16a12d/china-Gas-Fryer.html
47. <http://duetesteequattrofornelli.wordpress.com/2011/02/24/frittura-mon-amour-perche-fara-pure-male-al-fegato-ma-e-tanto-buona/>

48. http://market.tradeholding.com/default.cgi?action=viewproducts/productid/49486/productname/Potato_chips_fries_processing_plants/
49. <http://www.aeroglide.com/potato-dryers-blanchers-coolers.php>
50. http://www.kinetoglobaling.com/appl_dtl.php?id=NQ==
51. Dagerskog, M., Time-temperature relationships in industrial cooking and frying, Ch.6 in *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*, T. Hoyem and O. Kvale (Ed.). Applied Science Publishers. London 1977.
52. http://www.potato.nl/it/sulla_patata/catalogo/ras?frm_variety=4
53. <http://194.128.220.8/menu.php?>
54. http://www.potatogarden.com/mm5/merchant.mvc?Screen=PROD&Store_Code=PG&Product_Code=77AGR&Category_Code=NS
55. http://www.galenotech.org/tecniche_est.htm
56. <http://www.go-dove.com/event-14641/Biopharma-Exchange-258-%28UK%29/lot-291/Stable-Micro-Systems-TA-Xt2i-Texture-Analyser-with-PC-Software>
57. <http://www.stablemicrosystems.com.cn/fruveg.htm>
58. Nielsen S.S., Food Analysis, Springer, fourth edition.

Eccoci giunti alla parte più difficile da scrivere, perchè dopo un percorso universitario di cinque anni e mezzo si capisce che tutte le persone che hai conosciuto ti hanno dato il loro piccolo o grande contributo.

Devo ringraziare il prof. Gaetano Lamberti che dal secondo anno mi ha accolto sotto la sua ala protettiva, su(o)portandomi anche nei momenti più bui. Sono, inoltre, a lui infinitamente grato per avermi dato la possibilità di affrontare quell'esperienza unica che è l'Erasmus.

Ringrazio la prof.ssa Anna Angela Barba per la pazienza e il sostegno datomi durante la realizzazione di questo lavoro.

Ai miei genitori va un pensiero particolare, un semplice ringraziamento non basta per le persone che mi hanno permesso di intraprendere il percorso universitario, che mi hanno dato la possibilità di vivere l'Erasmus e che mi hanno sempre garantito il loro sostegno incondizionato.

Ringrazio i miei nonni, da sempre i miei primi supporters, sempre al mio fianco in maniera affettuosa.

Ringrazio mio fratello che con la sua vivace presenza riesce a darmi sempre una ventata di gioia.

Una menzione speciale la merita la donna che da anni condivide con me gioie e dolori, che ha saputo apprezzarmi per quello che sono, con i miei pregi e con i miei difetti, che ha sofferto durante i sei mesi berlinesi: Elena. In questi tre anni il suo sostegno è stato fondamentale ed il suo aiuto mi ha permesso di trovare la forza anche nei momenti più duri.

Un ringraziamento va a Stefano, mio amico storico, perché è semplicemente un grande.

Ringrazio i miei due angeli custodi: Rosanna e Loredana, con cui ho condiviso questi anni gomito a gomito. È emblematico che mi hanno praticamente compilato tutta la documentazione necessaria alla laurea, senza di loro sarei stato spacciato.

Ringrazio Antonio Montella, un bellissimo regalo di questi cinque anni, con cui si è creato fin da subito un bellissimo sodalizio.

Ringrazio Rino, Mattia, Alessandra, Lorenzo e Alessia, i famosi “guagliun’ ‘e Battipagl”, perché quando sto con loro passo sempre bei momenti.

Devo un grazie ad Alfredo Galdieri per tutte le chiacchierate di questi anni e per avermi fatto entrare nel bellissimo mondo dell’associazionismo e della rappresentanza. Ringrazio tutti i ragazzi dell’Associazione Prima... Vera ASI e di StudentIngegneria, con l’augurio che il gruppo creatosi, a cui mi sento molto legato, continui a fare bene.

Ringrazio Maria Chiara, Harold e Guillaume, che assieme a Rosanna sono stati i pilastri della mia esperienza berlinese e con i quali ho passato momenti che porterò per sempre nel cuore.

I thank Henry and Katharina for welcoming me into their laboratory and helped and supported me throughout the thesis. I thank all the guys from the lab to the friendly atmosphere and the help given to me. I thank prof. Knorr that giving me the opportunity to work with his research group.

