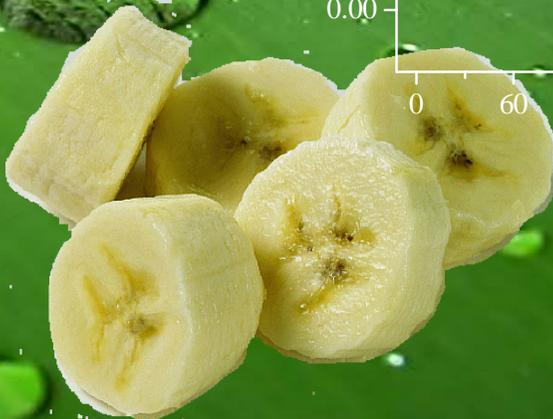
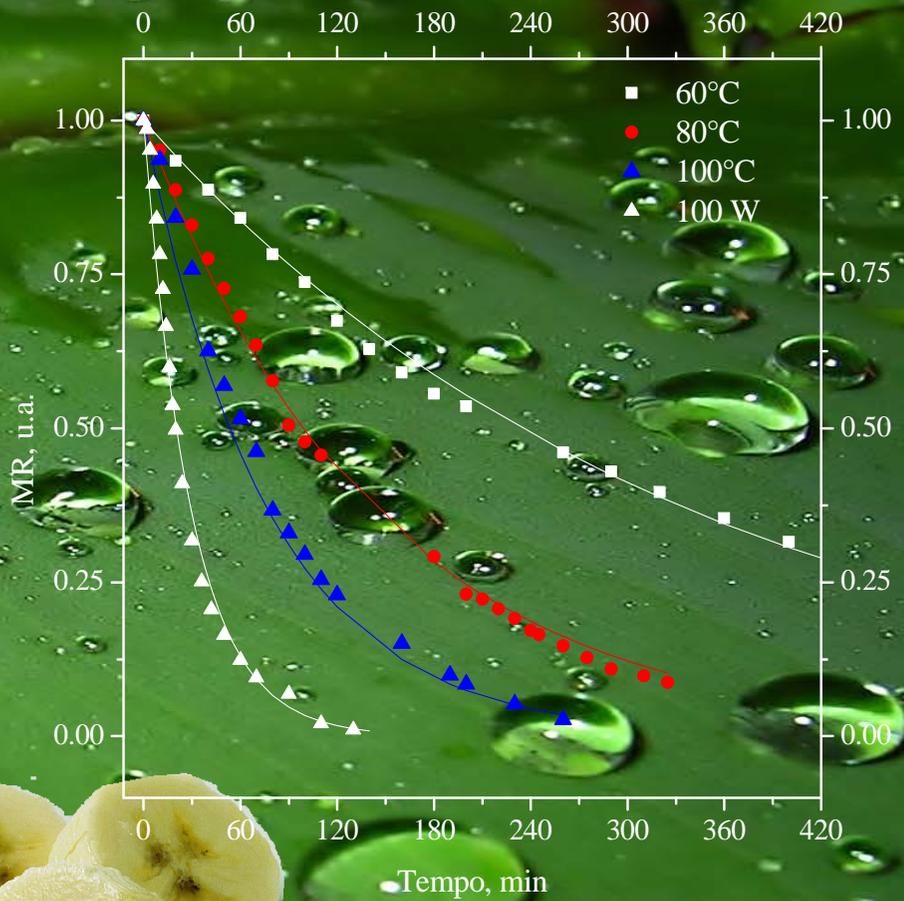


# Processi di essiccamento convettivi e assistiti da microonde di matrici di *Musa paradisiaca*

Processi di essiccamento convettivi e assistiti da microonde di matrici di *Musa paradisiaca*

Monica Rispoli



Monica Rispoli





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**Facoltà di Ingegneria**

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Alimentare

**Processi di essiccamento convettivi e assistiti  
da microonde di matrici di *Musa paradisiaca***

Tesi in

**Principi di Ingegneria Chimica e Impianti Chimici**

Relatori:

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Prof. Ing. Anna Angela Barba

Candidata:

Monica Rispoli

Matricola 0620600025

**Anno Accademico 2010/2011**



*Ai miei genitori e a mio fratello*

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, 20 marzo 2011

# Sommario

<b>Sommario .....</b>	<b>I</b>
<b>Indice delle figure .....</b>	<b>V</b>
<b>Indice delle tabelle .....</b>	<b>IX</b>
<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
1.1 La banana .....	2
1.1.1 Informazioni agronomiche	3
1.1.2 Composizione	4
1.1.3 Dalla raccolta al commercio	6
1.2 Processi di conservazione e trasformazione applicati alla frutta .....	9
1.2.1 Trattamenti fisici alle alte temperature	11
1.2.2 Trattamenti alle basse temperature	12
1.2.3 Trattamenti fisici con conservanti	13
1.2.4 Trattamenti fisici dovuti alla disidratazione	13
<b>L'essiccamento.....</b>	<b>15</b>
2.1 Essiccamento .....	16
2.2 Le curve di essiccamento .....	17
2.3 Classificazione dei processi di essiccamento in base ai meccanismi di trasporto del calore .....	19
2.4 Essiccamento convettivo .....	19
2.5 Essiccamento assistito da microonde .....	20

2.6 Proprietà termo-fisiche _____	21
2.5.1 Analisi delle proprietà dielettriche e osservazioni sulla rilevanza dei fenomeni dissipativi	24
2.7 Stato dell'arte _____	27
2.7.1 Essiccamento convettivo e assistito da microonde di campioni di banane	27
2.7.2 Effetto dei processi di trasformazione sul profilo nutrizionale (proprietà antiossidanti)	28
2.7.3 L'attività enzimatica della polifenolossidasi nella banana	29
<b>Scopi del lavoro di tesi.....</b>	<b>31</b>
3.1 Obiettivi _____	32
<b>Materiali, Apparecchiature e Metodi .....</b>	<b>33</b>
4. 1 Materiali _____	34
4.1.1 Matrice vegetale	34
4.1.2 Reattivi per le analisi	34
4.2 Apparecchiature _____	35
4.2.1 Stufa ventilata	35
4.2.2 Cavità a microonde multimodale	35
4.2.3 Termometro a fibre ottiche	36
4.2.4 Spettrofotometro	37
4.2.5 Network analyzer	37
4.2.6 Misuratore di umidità	38
4.2.7 Altre apparecchiature	39
4.3 Metodi _____	39
4.3.1 Preparazione dei campioni sottoposti ai processi di essiccamento	39
4.3.2 Preparazione dei campioni sottoposti alla caratterizzazione analitica	39
4.3.3 Determinazione delle proprietà termo-fisiche	42
4.3.4 Determinazione degli zuccheri riducenti	42
4.3.5 Determinazione dei polifenoli totali PPT	45
4.3.6 Determinazione della polifenolossidasi PPO	47
4.3.7 Conduzione dell'essiccamento in stufa	49

4.3.8 Conduzione dell'essiccamento in cavità multimodale a microonde 49

## **Risultati e discussioni .....51**

5.1 Presentazione dei risultati _____	52
5.2 Misure delle proprietà dielettriche _____	52
5.3 Curve di essiccamento _____	54
5.2.1 Curve di essiccamento convettivo	56
5.2.2 Curva di essiccamento assistito da microonde	58
5.2.3 Curve di essiccamento a confronto	61
5.4 Scelta delle condizioni operative _____	64
5.5 Scelta delle grandezze monitorate pre e post trattamento _	65
5.5.1 Tenore di umidità	65
5.5.2 Zuccheri	66
5.5.3 Polifenoli e polifenolossidasi	66
5.6 Le analisi dei profili radiali _____	68
5.6.1 Profili radiali di umidità per campioni essiccati a microonde per un tempo pari a 19 min alla potenza di 100 W	70
5.6.2 Profili radiali di umidità per campioni essiccati a microonde per un tempo pari a 30 min alla potenza di 100 W	74
5.6.3 Profili radiali di umidità per campioni essiccati con metodo convettivo alla temperatura di bulk di 80 °C per 90 min	75
5.6.3 Profili radiali degli zuccheri riducenti per campioni essiccati a microonde per un tempo pari a 19 min alla potenza di 100 W	77
5.6.4 Profili radiali degli zuccheri riducenti per campioni essiccati a microonde per un tempo pari a 30 min alla potenza di 100 W	80
5.6.5 Profili radiali degli zuccheri riducenti per campioni essiccati con metodo convettivo per un tempo pari a 90 min alla temperatura di bulk pari a 80°C	82
5.6.6 Profili radiali dei polifenoli totali e della polifenolossidasi per i campioni essiccati a microonde per un tempo pari a 19 min alla potenza di 100 W	83
5.6.7 Profili radiali dei polifenoli totali e della polifenolossidasi per i campioni essiccati a microonde per un tempo pari 30 min alla potenza di 100 W	86

5.6.8 Profili radiali dei polifenoli totali e della polifenolossidasi per i campioni essiccati con metodo convettivo per un tempo pari a 90 min alla temperatura di bulk di 80 °C	88
---	----

**Conclusioni ..... 91**

6.1 Conclusioni _____	92
-----------------------	----

6.2 Prospettive future _____	93
------------------------------	----

**Bibliografia ..... 95**

---

## Indice delle figure

Figura 1. Alcuni prodotti commerciali ottenuti dalle banane. ....	2
Figura 2. Il banano.....	3
Figura 3. Composizione chimica (% w/w) della banana <sup>[1]</sup> . ....	4
Figura 4. Banane avvolte in materiale spugnoso. ....	6
Figura 5. Teleferiche per il trasporto delle banane. ....	6
Figura 6. Lavaggio delle banane con detergente. ....	7
Figura 7. Operatori che ripongono le banane nelle casse. ....	8
Figura 8. Diagramma di flusso. ....	8
Figura 9. Metodi di conservazione <sup>[5]</sup> . ....	9
Figura 10. Possibilità di conservazione e trasformazione della frutta. ....	10
Figura 11. Schematizzazione della perdita di umidità da una matrice solida <sup>[26]</sup> . ....	16
Figura 12. Tipica curva di essiccamento nel caso di condizioni di essiccamento costanti. La curva 1 rappresenta la velocità di essiccamento in funzione dell'umidità associata al solido secco; la curva 2 rappresenta la velocità di essiccamento in funzione del tempo. ....	17
Figura 13. Spettro elettromagnetico (denominazione delle bande spettrali, frequenza e lunghezza d'onda). ....	21
Figura 14. Meccanismi di polarizzazione (in campo statico). Sopra: polarizzazione per deformazione, separazione dei baricentri delle cariche positive e negative; sotto: polarizzazione per orientamento, allineamento dei momenti di dipolo delle singole molecole, orientati a caso in assenza di campo <sup>[24]</sup> . ....	25
Figura 15. Andamento tipico della permittività complessa relativa in funzione della frequenza. Sono mostrate le regioni in cui è dominante l'effetto della conducibilità, della polarizzazione molecolare, di quella atomica e di quella elettronica. La banda delle frequenze assegnate alle applicazioni industriali è evidenziata in grigio <sup>[24]</sup> . ....	25
Figura 16. Schema di attenuazione di una radiazione elettromagnetica in un mezzo materiale.....	26

---

Figura 17. Curve di essiccamento sotto particolari condizioni <sup>[15]</sup> .....	28
Figura 18. Condizioni ottimali dell'attività della polifenolossidasi <sup>[18]</sup> .....	29
Figura 19. Gradi di maturazione della banana. ....	34
Figura 20. Stufa ventilata modello ISCO serie 9000 .....	35
Figura 21. Schema del dispositivo di essiccamento su scala di laboratorio allestito per le prove di essiccamento. ....	36
Figura 22. Dettagli costruttivi dei sensori a fibra ottica utilizzati per le misure della temperatura nei campioni essiccati. ....	36
Figura 23. Spettrofometro UV/Vis Lambda25. ....	37
Figura 24. Sistema di acquisizione network analyzer-sonda coassiale gestito via software con un personal computer. ....	38
Figura 25. Analizzatore di umidità Ohaus mod MB45.....	38
Figura 26. Campione di forma cilindrica (primo e secondo taglio).....	39
Figura 27. Sezioni del campione.....	40
Figura 28. Procedura dei campioni sottoposti alle determinazioni analitiche.....	40
Figura 29. Scheda di laboratorio per la raccolta dei dati.....	41
Figura 30. Reazione redox per la determinazione degli zuccheri riducenti. ....	43
Figura 31. Campioni riscaldati per 10 min a 90°C. ....	43
Figura 32. Retta di taratura per la determinazione degli zuccheri riducenti. ....	44
Figura 33. Provette contenenti il surnatante da analizzare addizionato con il reattivo di Folin-Ciocalteau. ....	45
Figura 34. Provette contenenti il surnatante ossidato dopo 2 ore al buio.....	46
Figura 35. Retta di taratura per la determinazione dei PPT. ....	47
Figura 36. Posizionamento della fibra ottica nel campione da essiccare. ....	49
Figura 37. Costante dielettrica e fattore di perdita della banana (misure effettuate sul frutto maturo alla temperatura di 20°C) al variare della frequenza. ....	52
Figura 38. Costante dielettrica e fattore di perdita della banana (misure effettuate sul frutto maturo alla frequenza di 2.45 GHz) al variare della temperatura e interpolazione dei dati sperimentali. ....	53
Figura 39. Variazione della profondità di penetrazione in funzione della temperatura (frequenza di 2.45 GHz) calcolata con l'eq. 2.3. ....	54
Figura 40. Profili termici in campioni sottoposti ad essiccamento convettivo alla temperatura di 60, 80 e 100 °C. ....	56
Figura 41. Confronto curve di essiccamento convettivo 60, 80 e 100°C.....	57
Figura 42. Curve di essiccamento convettivo con relativo fitting.....	58

---

---

Figura 43. Profilo di temperatura in campioni di banana. ....	59
Figura 44. Curva di essiccamento assistito da microonde ad una potenza di 100 W.....	60
Figura 45. Curve di essiccamento assistito da microonde con relativo fitting.....	61
Figura 46. Confronto tra le curve di essiccamento con i vari fitting.....	62
Figura 47. Curve della velocità di essiccamento. ....	62
Figura 48. Confronto tra le costanti cinetiche per le curve di essiccamento convettive e dielettriche.....	63
Figura 49. Campione essiccato a 80 °C per 90 min in stufa e sezionato per la determinazione analitica. ....	64
Figura 50. Fenomeno di shrinkage verificatosi dopo essiccamento prolungato (oltre 60 minuti) a microonde.....	65
Figura 51. Disposizione nella cellula dei polifenoli e della polifenolossidasi. ....	67
Figura 52. Sezioni A, B e C del campione. ....	69
Figura 53. Rappresentazione grafica generale utilizzata per mostrare il profilo della grandezza investigata.....	69
Figura 54. Profilo di umidità nel tal quale.....	71
Figura 55. Profili radiali nel campione sottoposto a essiccamento assistito a microonde per 19 min a una potenza di 100 W.....	72
Figura 56. Differenza tra il campione fresco e quello essiccato a microonde che presenta delle crepature. ....	73
Figura 57. Profili radiali delle concentrazioni volumetriche dell'umidità nel campione sottoposto ad essiccamento assistito da microonde ad una potenza di 100 W per un tempo di 19 min. ....	73
Figura 58. Profili radiali di umidità nei campioni sottoposti a microonde per 30 min alla potenza di 100 W.....	74
Figura 59. Profili radiali delle concentrazioni volumetriche dell'umidità nel campione sottoposto ad una potenza di 100 W per un tempo di 30 min. ....	75
Figura 60. Profili radiali di umidità residua in campioni essiccati in stufa per 90 min alla temperatura di bulk di 80 °C.....	76
Figura 61. Profili radiali delle concentrazioni volumetriche dell'umidità nel campione sottoposto ad essiccamento con metodo convettivo alla temperatura di bulk pari a 80°C per 90 min. ....	77
Figura 62. Profilo radiale degli zuccheri riducenti per il tal quale. ....	78
Figura 63. Imbrunimento del campione sottoposto ad essiccamento assistito dalle microonde. ....	79
Figura 64. Profili radiali degli zuccheri riducenti in campioni essiccati a microonde per 19 min alla potenza di 100 W.....	79

---

---

Figura 65. Profili radiali delle concentrazioni volumetriche degli zuccheri nel campione sottoposto ad essiccamento assistito da microonde ad una potenza di 100 W per un tempo di 19 min. ....	80
Figura 66. Profilo radiale degli zuccheri riducenti in campioni essiccati con microonde per 30 min a una potenza di 100 W. ....	81
Figura 67. Profili radiali delle concentrazioni volumetriche degli zuccheri del campione MW_30. ....	81
Figura 68. Profilo radiale del contenuto di zuccheri per il campione essiccato con metodo convettivo.....	82
Figura 69. . Profili radiali delle concentrazioni volumetriche degli zuccheri del campione ES_90. ....	83
Figura 70. Esempio di un enzima e del sito attivo. ....	84
Figura 71. Profili radiali dei polifenoli totali e della polifenolossidasi in campioni essiccati a microonde per 19 min a 100 W. ....	85
Figura 72. Profili radiali del contenuto dei polifenoli totali e dell'attività della polifenolossidasi per campioni essiccati a microonde per 30 min a 100 W.....	87
Figura 73. Profili radiali del contenuto dei polifenoli totali e dell'attività polifenolossidasi per campioni sottoposti a essiccamento convettivo per 90 min alla temperatura di bulk pari a 80°C. ....	89

---

## Indice delle tabelle

Tabella 1. Composizione chimica e potere calorico della banana <sup>[1]</sup> .....	5
Tabella 2. Proprietà termo-fisiche di matrici vegetali (i dati dell'acqua sono riportati per confronto). .....	23
Tabella 3. Valori di concentrazione e di assorbanza ottenuta per la determinazione degli zuccheri riducenti. ....	44
Tabella 4. Valori di concentrazioni e di assorbanza ottenuta per la taratura dei polifenoli totali. ....	46
Tabella 5. Risultati del fitting esponenziale. ....	58
Tabella 6. Parametri ottenuti dal fitting per tutte le curve. ....	63
Tabella 7. Parametri di processo.....	64
Tabella 8. Distribuzione del contenuto di acqua nella banana fresca ( $g_w/g_{ss}$ ) <sup>[11]</sup> . ....	70

---

## Bibliografia

1. Bianco V., Pampini E., *Orticultura*, Patron Editore Bologna, (1999).
2. [www.fao.org](http://www.fao.org).
3. Sothornvit R., Pitak N., *Oxygen permeability and mechanical properties of banana films*, Food Research international 40(3) 365-370 (2007).
4. Tortora G. J.; Funke B.R., Case C. L., *Elementi di microbiologia*, Pearson Education Italia, (2008).
5. Cappelli P., Vannucchi V., *Chimica degli alimenti*, Zanichelli editore, terza edizione, Bologna, (2005).
6. Nam Sung Wang, *Glucose Assay by dinitrosalicylic colorimetric method*, University of Maryland  
<http://www.eng.umd.edu/~nsw/ench485/lab4a.htm>
7. Gail Lorenz Miller, *Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar*, Anal. Chem., 31(3), 426–428 (1959).
8. Xin-Gang, Liliang, Yinping Zhang, *The measurement of thermal conductivities of solid fruits and vegetables* Meas. Sci. Technol: 10, N82-86 (1999).
9. Dawson, C. R., and Magee, R. J. *Methods in Enzymology II*, (1955) 817-821.
10. Amorosa M., *Principi di tecnica farmaceutica*, Libreria Universitaria L. Tinarelli Bologna (1998).
11. Jannot Y., Talla A., Nganhou J., *Modeling of banana convective drying by the drying characteristic curve (DCC) method*, Drying Technology, 22(8) 1949-1968 (2004).
12. Thostenson E. T., Chou T. W., *Microwave processing: fundamentals and applications*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 30, 1055-1071 (1999).
13. Vega-Mercado, H. Gongora-Nieto, MM., Barbosa-Canovas GV., *Advanced in dehydration of Foods*, J. of Food Eng., 49, 271-289 (2001).
14. Schubert H., Regier M., *The microwave processing of foods*, CRC Press (2005).

15. Maskan M., *Microwave/air and microwave finish drying of banana*, Journal of Food Engineering, 44(2), 71-78 (2000).
  16. Scalbert A., Williamson G. *Dietary intake and bioavailability of polyphenols*, J Nutr. 130, 2073S-85S (2000).
  17. Carratù B., Sanzini E., *Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetale*, Ann Ist Super Sanità 41(1), 7-16 (2005).
  18. Umit Unal M., *Properties of polyphenol oxidase from Anamur banana (Musa cavendishii)*, Food Chemistry, 100(3), 909-913 (2007).
  19. Someya S., Yoshiki Y., Okubo K., *Antioxidant compounds from bananas (Musa cavendish)*, Food Chemistry, 79(3) 351-354 (2002).
  20. Mayer A., *Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review*, Phytochemistry, 67(21) 2318-2331 (2006).
  21. Wuyts N., De Waele D., Swennen R., *Extraction and partial characterization of polyphenol oxidase from banana roots*, Plant Physiology and Biochemistry, 44(5-6) 308-314 (2006).
  22. De Ancos B., Pilar M., *Effects of microwave heating on pigment composition and colour of fruit pureest*, Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(5), 663-670, (1999).
  23. De Long Frost L., *Glucose assay revisited: experimental determination of the glucose concentration in honey*, The Chemical Educator, 9(4), 239-241 (2004).
  24. Barba A. A., d'Amore M., *Applicazione delle microonde nel settore agroalimentare*, Capitolo 10 del libro "Il riscaldamento a microonde. Principi ed applicazioni" Pitagora Editrice, Bologna (Italy) 269-295 (2008).
  25. Barba A. A., d'Amore M., *Microonde e prodotti agro-alimentari*, Tecnologie Alimentari, Gennaio-Febrero, 30-32 (2009).
  26. Foust A. S., Wenzel L. A., Clump C. W., Maus L., Andersen L., B., *I principi delle operazioni unitarie*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano (Italy), (1992).
  27. Shahidi F., Naczk M., *Phenolics in Food and Nutraceuticals*, Taylor & Francis e-Library, (2006).
  28. [www.studentsguide.in](http://www.studentsguide.in).
-

## *Ringraziamenti*

*Con il cuore stracolmo di gioia, con un po' d'ansia e con le mani tremanti, si apre la mia mente ai ricordi. Queste righe si trasformano in emozioni e per ogni nome che farò ci sarà un sospiro e un sorriso e forse qualche volta una lacrima.*

*Grazie professore Lamberti e professoressa Barba! Mi avete "sopportato" in questo lungo periodo di tesi, mi avete accolto nel vostro gruppo e mi avete dato la possibilità di conoscere delle persone meravigliose come voi e come i ragazzi di cui vi circondate. Le mie parole di ringraziamento non saranno mai abbastanza.*

*Grazie Anna Angela! Non dimenticherò mai i tuoi occhioni, le tue risate, le "lunghe" chiacchierate specialmente in tarda serata e la tua grinta. Sempre disponibile, sempre dolce, paziente e bellissima.*

*Grazie papà e mamma! Mi avete sempre incoraggiato, avete sempre creduto in me, avete fatto di tutto per farmi vivere questi momenti senza pesantezza sacrificandovi ogni giorno senza chiedere mai niente in cambio. Grazie papà che hai lavorato per me lontano da casa e non ti sei arreso mai. Grazie mamma per le mille camomille e per la testardaggine a convincermi che le favole esistono (e grazie pure per la molla nel broccolo che ogni tanto ci sta bene!).*

*Grazie mamma Nannina, papà Elio, zio Antonello e zia Loredana che mi avete trattato sempre come una figlia, vi auguro ogni sorta di bene .*

*A questo punto sembra doveroso parlare degli amici con cui ho condiviso momenti*

*belli e brutti e senza i quali non sarei nessuno tantomeno un ingegnere.*

*Grazie a Giovanni Cascone che ha creduto in me stessa più di quanto credessi io e che senza il suo aiuto oggi non sarei quello che ho sempre desiderato essere.*

*Grazie Annalisa e grazie Barbara!...e qua piango e voi sapete perché. Domani mattina mi sveglierò con la consapevolezza di non venire più da voi e mi manca il respiro a pensarci perché siete per me una gioia immensa, siete un segno indelebile nel cuore. Mi mancheranno le gite improvvisate, le spaparanzate sul mio divano, le cantate liriche, gli attimi di sclero a telefono, le notti brave, i pettegolezzi e gli abbracci. Barbara sei nella mia mente, con te non ho mai avuto il bisogno di parlare, tra noi è sempre bastato solo uno sguardo. "UA", Annalisa tu sei così uguale a me, senza di te non ce l'avrei mai fatta. Lavorare con te è stato un piacere, sempre sorridente con tutti e con una parola buona. Annalisa e Barbara, siete le sorelle che non ho mai avuto e spero non ci divideremo mai.*

*Non potevo non nominare due personaggi che in questo ultimo periodo sono stati talmente presenti da diventare insopportabili: Peppe e Marco (...e Buongiorno). Grazie! Abbiamo condiviso colazione, pranzo e cena, abbiamo condiviso risate ed emozioni e mi dispiace davvero molto che oggi non possiate festeggiare con me.*

*Grazie allo staff formato da Alessandra, Antonia e Valeriana sempre presenti dietro le quinte e pronte ad agire, grazie alle piccoline Veronica e Concetta che mi davano il buongiorno e che hanno sempre avuto un pensiero per me. Grazie a Ivan e il suo*

*broncio, a Luca e le sue tante parole, a Nicola e la sua ansia, a Carmen e le mie banane e a Dante con i miei stressanti caffè. Grazie ad Antonio che mi ha accompagnata moralmente a sostenere e risostenere l'ultimo esame. Grazie ad Amanita, Luigi e Rosa che sono stati colleghi di lavoro speciali. Grazie alla mia amica di sempre Iole.*

*Concludo scrivendo una frase che mi piace molto: "Un cuore non si giudica solo da quanto tu ami, ma da quanto riesci a farti amare dagli altri".*

