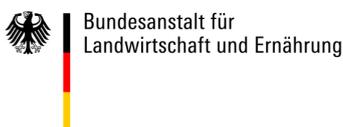




SUS Organic

Processing and Quality Guidelines for Organic Food Processing

Supported by



Authors and Affiliations

Meridian Fruchthandelsgesellschaft mbH
Dr. Albert Esper, info@meridian-frucht.de
Altdorf, Germany

Swedish University of Agricultural Sciences
Prof. Dr. Girma Gebresenbet, girma.gebresenbet@slu.se
Dr. Techane Bosona, techane.bosona@slu.se
Uppsala, Sweden

SINTEF Energy Research
Dr. Michael Bantle¹), michael.bantle@sintef.no
Dr. Ingrid Camilla Claußen¹), IngridCamilla.C.Claussen@sintef.no
Dr. Ignat Tolstorebrov²), ignat.tolstorebrov@ntnu.no
¹)Trondheim, Norway
²)Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

University of Kassel, Department for Agricultural and Biosystems Engineering
Dr. habil. Barbara Sturm, barbara.sturm@uni-kassel.de
MSc. Gardis von Gersdorff, g.gersdorff@uni-kassel.de
MSc. Luna Shrestha, sthaluna@gmail.com
MSc. Rosalizan Md. Saleh, rosalizansaleh@gmail.com
Witzenhausen, Germany

University of Teramo, Department of Food Science and Technology
Prof. Dr. Paola Pittia, ppittia@unite.it
Lilia Neri, lneri@unite.it
Veronica Santarelli, vsantarelli@unite.it
Teramo, Italy

University of Tuscia, Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest System
Prof. Dr. Riccardo Massantini, massanti@unitus.it
Dr. Roberto Moscetti, rmoscetti@unitus.it
Serena Ferri, sferri@unitus.it
Flavio Raponi, fraponi@unitus.it
Giacomo Bedini, gbedini@unitus.it
Tuscia, Italy

Premessa

Queste linee guida sulla qualità e la trasformazione degli alimenti biologici sono state preparate nell'ambito del progetto finanziato dal Core Organic Plus „SusOrganic - Sviluppo di standard di qualità e metodi di lavorazione ottimizzati per i prodotti biologici“. Essi intendono sostenere gli attori del settore della trasformazione degli alimenti biologici per aumentare contemporaneamente l'efficienza delle risorse e la qualità dei loro prodotti, fornendo approfondimenti sugli aspetti relativi alle materie prime, ai processi e ai prodotti. L'obiettivo principale del lavoro presentato è la conservazione di frutta, erbe, verdure, pesce e carne attraverso la disidratazione e la refrigerazione/congelamento.

In combinazione con queste linee guida e per supportare l'implementazione pratica è stato sviluppato un corso e-learning che è disponibile qui:

LE PRESENTI LINEE GUIDA HANNO LO SCOPO DI FORNIRE AI TRASFORMATORI:

- Aspetti relativi alla disidratazione:
 - Una comprensione più profonda dell'eterogeneità naturale delle materie prime e del loro impatto sulle caratteristiche di essiccazione
 - Informazioni sull'impatto del pretrattamento e del tempo di permanenza tra la preparazione e la disidratazione sulla qualità del prodotto finale.
 - Informazioni sull'impatto della disidratazione e delle relative impostazioni di processo sulla qualità del prodotto
 - Informazioni sulle migliori strategie di disidratazione e sui concetti di controllo del processo
 - Esempi di buone pratiche per la trasformazione
 - Migliori pratiche basate su LCA e LCCA
 - Disidratazione degli alimenti e logistica alimentare correlata
- Aspetti legati al freddo e al congelamento:
 - Aspetti generali del superchilling
 - Superchilling per carne e pesce biologici
 - Effetti del congelamento e del tasso di congelamento sulla frutta biologica

- Aspetti legati al freddo e al congelamento:
 - Aspetti generali del superchilling
 - Superchilling per carne e pesce biologici
 - Effetti del congelamento e del tasso di congelamento sulla frutta biologica

L'associazione alimentare ISEKI offre inoltre un'opportunità di autoformazione:

<https://moodle.iseki-food.net/course/view.php?id=59>

Il partenariato SusOrganic vuole ringraziare il Core Organic Plus EraNet e i punti di contatto nazionali coinvolti per il loro supporto finanziario e di consulenza durante l'intero progetto. Desideriamo inoltre informare i lettori che stiamo lavorando alla seconda fase di sviluppo tecnologico e di prodotto nell'ambito del progetto SusOrgPlus. Ulteriori informazioni saranno presto disponibili sul sito web dedicato SusOrgPlus. In caso di domande su queste linee guida o su come partecipare a SusOrgPlus, non esitate a contattarci tramite: susorganic@uni-kassel.de.

Ci auguriamo che queste linee guida vi siano di aiuto e non vediamo l'ora di ricevere i vostri commenti.

Barbara Sturm

CAPITOLO I DISIDRATAZIONE

I.1 Impatto della trasformazione sulla qualità degli ortofrutticoli	12
1. Eterogeneità delle materie prime	12
1.1. Morfologia di una mela	12
1.1.1. Relazione tra frutto e sviluppo cellulare	12
1.1.2. Consistenza del frutto	12
1.1.3. Distribuzione dell'umidità all'interno del frutto	13
1.1.4. Influenza dello spessore delle fette	13
1.2. Influenza del contenuto d'umidità iniziale nel frutto	14
1.3. Bibliografia	23
2. Influenza delle condizioni di disidratazione sulla qualità del prodotto	24
2.1. Cambiamenti della qualità	24
2.1.1. Acido Ascorbico	24
2.1.2. Carotenoidi	25
2.1.3. Fenoli	25
2.1.4. Vitamina E	25
2.2. Decolorazione	26
2.2.1. Clorofille e Carotenoidi	26
2.2.2. Imbrunimento enzimatico	26
2.2.3. Imbrunimento non enzimatico	27
2.3. Cambiamenti fisici	27
2.3.1. Restringimento	28
2.3.2. Texture	28
2.3.3. Contenuto di umidità e attività dell'acqua (a_w)	28
2.4. Bibliografia	29
3. Variazioni della qualità nei prodotti ortofrutticoli durante la disidratazione	35
3.1. Mele	35
3.1.1. Impatto sulle reazioni di imbrunimento del pretrattamento e dei tempi di attesa del pretrattamento nel processo di disidratazione delle mele	36
3.2. Carote	39
3.2.1. Qualità delle carote disidratate	41
3.2.2. Influenza dei pretrattamenti sulla qualità delle carote	42

3.2.3. Influenza dei metodi di disidratazione e dei parametri di processo sulla qualità delle carote	42
3.2.4. Qualità fisiche	43
3.2.5. Conservazione dei nutrienti	43
3.2.6. Osservazioni conclusive	44
3.3. Bibliografia	46
I.2 Strategie, processi ed energia per la disidratazione	53
4. Raccomandazioni ed esperienze pratiche di disidratazione	53
4.1. Background	53
4.2. Raccomandazioni	53
4.2.1. Fasi del processo di disidratazione	53
4.2.2. Conservazione del prodotto prima del processo	54
4.2.3. Preparazione del prodotto	55
4.2.4. Pre-trattamento	55
4.2.5. Tempo di attesa tra la preparazione e la disidratazione	56
4.2.6. Influenza dello spessore delle fette	57
4.2.7. Disidratazione	57
4.2.8. Migliori pratiche per la lavorazione del luppolo e delle erbe aromatiche	59
4.2.8.1. Preparazione / manipolazione delle materie prime	59
4.2.8.2. Pre-lavorazione	60
4.2.8.3. Disidratazione	60
4.2.8.3.1. Distribuzione dell'aria	60
4.2.8.3.2. Altezza / Peso della massa	61
4.2.8.3.3. Densità / Varietà della massa	62
4.3. Introduzione del concetto di temperatura del prodotto nella misurazione e nel controllo del processo di disidratazione	63
4.4. Ottimizzazione dei sistemi di approvvigionamento energetico e integrazione delle energie	64
4.5. Bibliografia	65
5. Le strategie di disidratazione perfezionate	67
5.1. Disidratazione con pompa di calore di prodotti alimentari biologici	67
5.2. Disidratazione con aria riscaldata (Heated ambient air drying, HAAD)	67

5.3. Sistema di disidratazione a circuito chiuso	68
5.4. Disidratazione con pompa di calore	69
5.5. Simulazione delle prestazioni di un disidratatore a pompa di calore R744	71
5.6. Analisi delle prestazioni del disidratatore a pompa di calore	74
5.7. Riassunto	77
5.8. Bibliografia	77
6. Confronto tra sistemi e tecnologie per il controllo di processo	78
6.1. Il presente e il futuro della tecnologia di disidratazione	78
6.2. Visione Artificiale	78
6.2.1. Analisi d'immagine	79
6.2.2. Spettroscopia puntiforme	79
6.2.3. Analisi d'immagine multi-spettrale (MSI) e iper-spettrale (HIS)	80
6.3. Naso elettronico e mucosa elettronica	81
6.4. Risonanza Magnetica Nucleare	81
6.5. Spettroscopia dielettrica a microonde	82
6.6. Controllo del processo di disidratazione mediante la tecnologia della disidratazione intelligente	82
6.7. Come progettare un processo di smart drying; l'approccio Quality by Design	82
6.8. Validazione di un processo di smart drying	84
6.9. Bibliografia	86
I.3 LCA, LCCA e logistica nelle produzioni alimentari	89
7. Buone Pratiche di produzione basate sulla Life Cycle Analysis (LCA) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA)	89
7.1. Introduzione	89
7.2. Casi di studio di LCA e LCCA svolti all'interno del progetto SusOrganic	90
7.3. Lezioni da studio LCA e LCCA	95
8. Essiccamento degli alimenti e relativa logistica alimentare	97
8.1. Introduzione	97
8.1.1. Processo di essiccamento e trasporto degli alimenti	97
8.1.2. Essiccamento degli alimenti ed impatto sulla shelf-life e sulla perdite alimentari	98
8.1.3. Aspetti in evidenza	102

8.2. Bibliografia	103
-------------------------	-----

CHAPTER II REFRIGERAZIONE E CONGELAMENTO

II. I Superchilling	110
1. Concetto di superchilling	110
1.1. Stato dell'arte	110
1.2. Il potenziale del superchilling per prodotti biologici	113
1.3. Sfide del Superchilling	114
1.4. Conclusioni	115
1.5. Bibliografia	117
2. Superchilling su maiale e salmone biologici	119
2.1. Introduzione	119
2.2. Materiali e Metodi	120
2.2.1. Superchilling di filetti di salmone biologici	120
2.3. Superchilling di braciola di maiale biologica	122
2.4. Analisi microbiologica	123
2.5. Proprietà fisiche	123
2.5.1. Contenuto di acqua iniziale	123
2.5.2. Capacità di ritenzione idrica	123
2.5.3. Colore	123
2.5.4. Analisi di calo peso	124
2.6. Risultati del Superchilling dei filetti di salmone	124
2.6.1. Analisi microbiologica	124
2.7. Proprietà fisiche	125
2.7.1. Contenuto di acqua iniziale	125
2.7.2. Calo peso	125
2.7.3. Capacità di ritenzione idrica	125
2.7.4. Colore di salmone biologico	126
2.8. Risultati di braciola di maiale refrigerata tradizionalmente e "superchilled"	127
2.8.1. Analisi microbiologiche	127
2.9. Proprietà fisiche	128
2.9.1. Contenuto d'acqua	128

2.9.2. Calo peso	128
2.9.3. Capacità di ritenzione idrica	129
2.9.4. Colore	129
2.10. Conclusioni	130
2.11. Bibliografia	131
II. Il Congelamento	132
3. Effetto del congelamento e della velocità di congelamento sulla qualità delle mele biologiche	132
3.1. Introduzione	132
3.2. Disegno sperimentale	133
3.2.1. Esperimento 1: Effetto di pre-trattamenti di immersione e impregnazione sottovuoto utilizzati per migliorare la stabilità nel tempo	133
3.2.2. Esperimento 2: Effetto della velocità di congelamento	134
3.3. Risultati (Esperimento 1):	135
3.3.1. Caratterizzazione dei frutti freschi: ORG vs. CONV	135
3.3.2. Effetto dei pre-trattamenti su frutti freschi	135
3.3.3. Effetto dei pre-trattamenti sul colore dei frutti	137
3.3.4. Effetto dei pre-trattamenti sulla texture dei frutti	137
3.3.5. Effetto dei pre-trattamenti sui composti bioattivi	138
3.3.6. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sul colore	138
3.3.7. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sulla durezza	138
3.3.8. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sui composti bioattivi	138
3.4. Risultati (Esperimento 2):	139
3.4.1. Caratterizzazione dei frutti freschi: ORG vs. CONV	139
3.4.2. Effetto della velocità di congelamento sulla qualità delle mele CONV e ORG	140
3.5. Conclusioni	141
3.5.1. Esperimento 1	141
3.5.2. Esperimento 2	142
3.6. Bibliografia	142

Il IV Raccomandazioni per il congelamento e la refrigerazione	144
4. Motivi principali per trattare gli alimenti a basse temperature	144
4.1. Congelamento	144
4.1.1. Velocità di congelamento	145
4.1.1.1. Congelamento lento	146
4.1.1.2. Congelamento veloce	146
4.2. Qualità che influenza gli aspetti durante il congelamento	146
4.2.1. Microrganismi	146
4.2.2. Attività enzimatica	147
4.3. Bruciature da freddo	148
4.4. Scongelamento	148
4.4.1. Scongelamento rapido	148
4.5. Prodotti di origine animale	149
4.5.1. Carne	149
4.5.2. Pesce	149
4.6. Tecnologie di congelamento	149
4.6.1. Conduzione	150
4.6.2. Convezione	150
4.6.3. Congelamento nei fluidi di evaporazione	150
4.7. Riassunto	151
4.8. Bibliografia	151

1. La Disidratazione

1.1 IMPATTO DELLA TRASFORMAZIONE SULLA QUALITÀ DEGLI ORTOFRUTTICOLI

1. Eterogeneità delle materia prime¹

University of Kassel, Department for Agricultural and Biosystems Engineering

Di seguito, la mela viene scelta come esempio in termini di eterogeneità della materia prima; tuttavia, in generale, queste osservazioni valgono anche per altri tipi di frutta e verdura.

1.1. Morfologia di una mela

Apples consists of ca. 85 % water, 14 % carbohydrates, 2.4 % dietary fibres, 0.3 % proteins and 0.2 % lipids. Due to the variety, the degree of maturity, the cultivation area and agriculturally and environmental influences, fluctuations regarding the different components occur (Ackermann et al., 1992). The usual fluctuations in terms of moisture content in ready to harvest apples for example is between 80.4 and 90 %, or 4.1 and 9.0 gw/gdm (gwater/gdry matter) (Kröll and Kast, 1989).

Ca. 75 % of all carbohydrates contained in an apple are sugars: fructose (ca. 6.0 %), glucose (ca. 2.4 %) and sucrose (ca. 2.0 %). Apple acid is the main organic acid (0.3-1.0 %). The acid content depends on the variety, the degree of maturity and environmental influences during growth and storage of apples (Ackermann et al., 1992).

1.1.1. Relation between fruit and cell growth

La dimensione dei frutti dipende dal numero di cellule e dal loro volume. Durante la crescita, la frazione volumetrica della corteccia (polpa) aumenta fino a circa il 73%, mentre la frazione del nucleo si riduce al 24% (Bain e Robertson, 1951).

In generale, le cellule dei frutti di dimensione più grande sono più lunghe e voluminose e presentano superfici maggiori rispetto alle cellule dei frutti più piccoli. Le dimensioni dei frutti e il grado di maturazione possono variare notevolmente al momento della raccolta (Krüger, 1986). Il rapporto tra la dimensione dei frutti e quella delle cellule dipende dalla varietà e varia a seconda delle influenze ambientali. In primo luogo, le dimensioni delle cellule dipendono dalla quantità di elementi assimilati che è stata documentata in esperimenti di diradamento, taglio, ombreggiamento e concimazione. Per questo motivo, la posizione di crescita dei frutti sul germoglio e sull'albero, ne influenza la crescita (Hund e Stösser, 1984). Pertanto, l'apporto di sostanze nutritive e le condizioni climatiche nelle fasi della divisione cellulare e dell'accrescimento sono fattori significativi per quanto riguarda la dimensione delle cellule, da cui dipende la dimensione dei frutti.

¹ (extracted and translated from Sturm, 2010)

1.1.2. Consistenza del frutto

La consistenza del frutto diminuisce costantemente con l'avanzare della maturazione grazie alla riduzione della lamella centrale e alla ricostruzione delle cellule (Prasanna et al., 2007). Questa riduzione continua anche durante la conservazione. La durezza del frutto è un parametro per quantificare semplicemente le caratteristiche di consistenza (o texture) di un frutto. La durezza dei frutti pronti per la raccolta è un parametro molto utile per descrivere la qualità di un frutto in quanto è correlato molto bene con caratteristiche soggettive come la croccantezza (Brennan et al., 1977; Wills et al., 1980).

1.1.3 Distribuzione dell'umidità all'interno del frutto

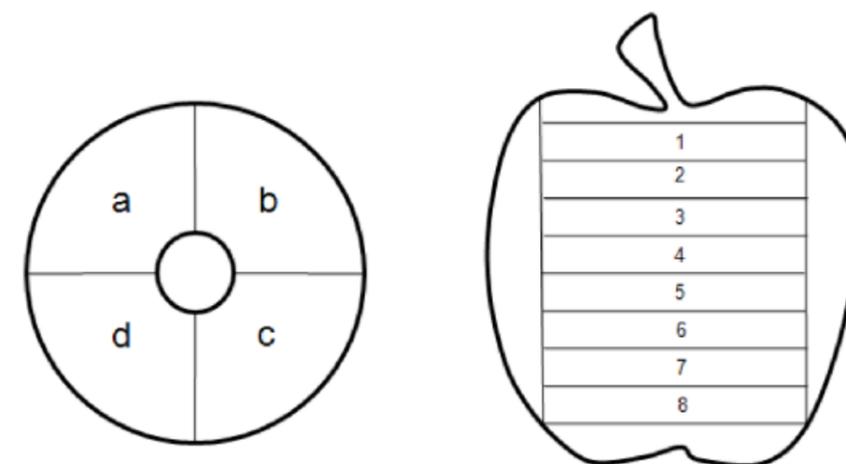


Figure 1.1.1: Suddivisione di fette di mela in settori e disposizione all'interno di una mela, lato sinistro orizzontale, lato destro verticale

Per mostrare la distribuzione dell'umidità all'interno di una mela, è stata tagliata a fette di 3,8 mm di spessore. Come mostrato nella seguente figura 1.1.1, il torsolo è stato rimosso e il diametro esterno delle fette è stato tagliato a 72 mm. Le fette sono state tagliate in quarti, pesate e asciugate a 70 °C per 48 ore.

I campioni sono stati nuovamente pesati ed è stata calcolata l'umidità di ogni fetta e l'umidità lungo gli assi centrali. Il contenuto di umidità varia; ciò dipende dalla struttura naturale delle mele e non è evitabile. Inoltre, le variazioni all'interno della mela rimangono in range molto ristretti e i valori medi sono quasi identici ($\bar{x}=86,7\% \pm 0,8\%$), il che consente di calcolare il contenuto di umidità finale a partire da poche fette.

1.1.4. Influenza dello spessore delle fette

Lo spessore della materia prima ha un'influenza significativa sul tempo di disidratazione (Rahmann e Kumar, 2007). La figura 1.1.2 mostra la riduzione dello spessore delle fette di mele da

3,8 mm a 2,8 mm in due diverse condizioni di disidratazione. Per entrambe le temperature, la variazione di spessore porta ad una riduzione del tempo di essiccazione di circa il 50%. I risultati sono comparabili per le fette di aglio e papaia (Fernando et al., 2008). Dissa et al. (2008) hanno ridotto lo spessore delle fette di mango da 16 mm a 8 mm, con conseguente riduzione del tempo di essiccazione del 62%.

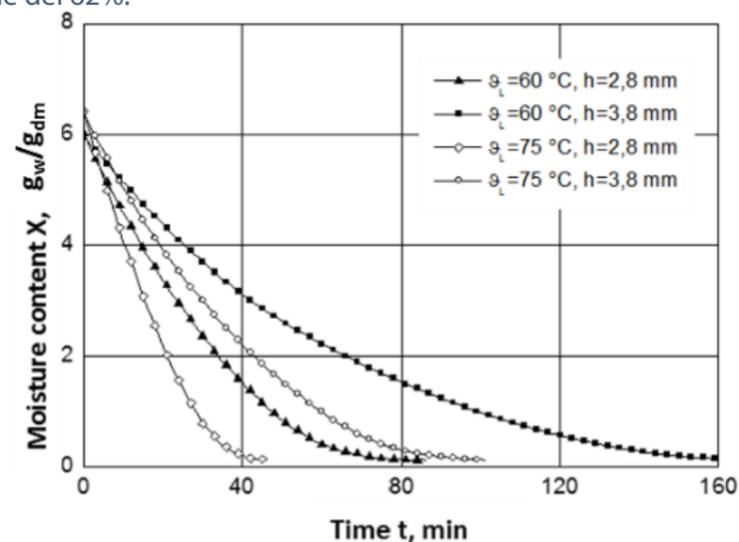


Figura 1.1.2: Andamento della disidratazione di fette di mela di diverso spessore, a condizioni di disidratazione diverse: 60 °C temperatura dell'aria (velocità dell'aria 3,4 m/s, punto di rugiada 17,5 °C), 75 °C temperatura dell'aria (velocità dell'aria 4,3 m/s, punto di rugiada 17,5 °C).

Il minor tempo di disidratazione riduce il tempo di esposizione al calore riducendo la degradazione termica. Bashir (2008) ha dimostrato che il colore degli anelli di cipolla non ha subito effetti negativi fino ad uno spessore di 6 mm, ma all'aumentare dello spessore aumenta l'esposizione al calore che influenza negativamente il colore.

1.2. Influence of initial moisture content

Poiché molti prodotti ortofrutticoli sono stagionali, la disponibilità durante tutto l'anno è garantita da uno stoccaggio in atmosfera controllata (CA). Per osservare l'influenza della durata di conservazione, i campioni di mele, conservati per tre mesi e per cinque mesi, sono stati essiccati nelle stesse condizioni.

Le fette di mela sono state essiccate a 60 °C di temperatura dell'aria, punto di rugiada di 17,5 °C e una velocità dell'aria di essiccazione di 3,4 m/s. La figura 1.1.3 mostra le curve di essiccazione delle fette di mela conservate per 3 mesi. Il tenore di umidità iniziale delle tre mele varia notevolmente con valori compresi tra 8,3 e 5,5 gH₂O/gPS. Tuttavia, quasi tutti i campioni hanno raggiunto il tenore di umidità richiesto di 0,13 gH₂O/gPS dopo un tempo di disidratazione molto simile. I campioni con il più alto contenuto di umidità iniziale sono stati essiccati un po' più velocemente degli altri. Questo risultato corrisponde a quello di Nguyen e Prince (2007) per

le banane.

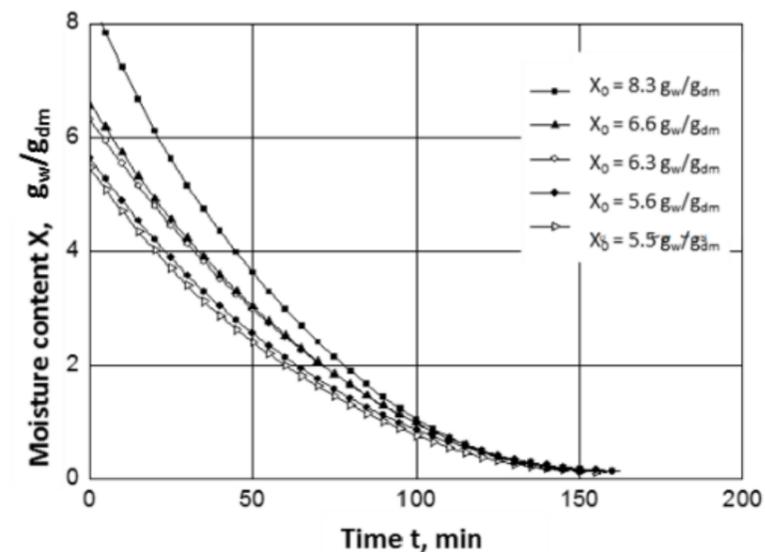


Figure 1.1.3: Andamento della disidratazione di fette di mela di diverso spessore, a condizioni di disidratazione diverse: 60 °C temperatura dell'aria (velocità dell'aria 3,4 m/s, punto di rugiada 17,5 °C), 70 °C temperatura dell'aria (velocità dell'aria 4,3 m/s, punto di rugiada 17,5 °C).

La figura 1.1.4 mostra le curve di disidratazione delle mele disidratate conservate per 5 mesi. Come per le mele descritte in precedenza, il contenuto di umidità richiesto è stato raggiunto quasi nello stesso momento. Inoltre, è stato dimostrato che le mele conservate più a lungo hanno un contenuto di umidità iniziale più basso, il che significa che durante la conservazione perdono significativamente acqua.

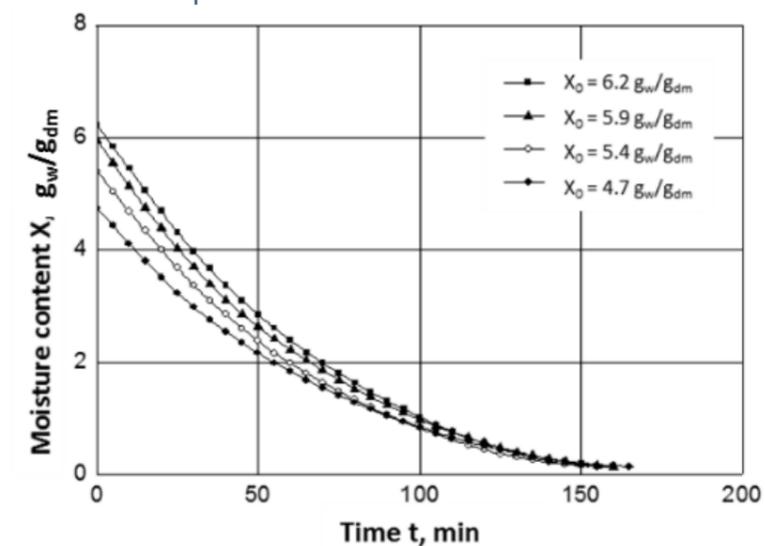


Figura 1.1.4: andamento della disidratazione di fette di mela con diverso contenuto di umidità iniziale (dopo 5 mesi di conservazione) essiccate a 60 °C (velocità dell'aria = 3,4 m/s, punto di rugiada = 17,5 °C).

La figura 1.1.5 esprime il tempo di essiccazione in funzione del contenuto di umidità iniziale per i campioni conservati per 3 e 5 mesi. La figura indica che la durata di conservazione allo stesso contenuto di umidità iniziale non influisce sul tempo di essiccazione delle fette di mela. Tutti i campioni hanno raggiunto il tenore di umidità finale dopo quasi lo stesso tempo. Inoltre, con l'aumento dell'umidità iniziale, il tempo di essiccazione diminuisce leggermente.

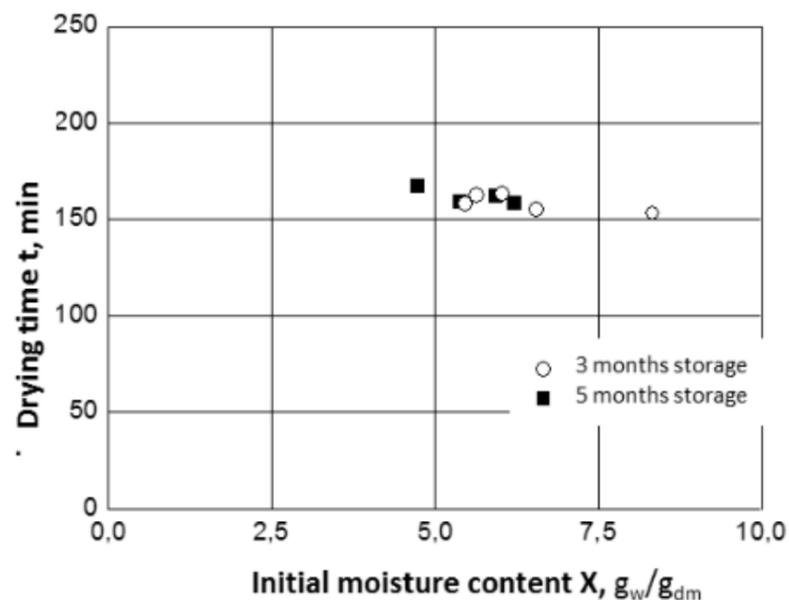


Figura 1.1.5 Tempo di disidratazione delle fette di mela fino ad un contenuto di umidità finale di 0,13 gH₂O/gPS in relazione al contenuto di umidità iniziale. Condizioni di essiccazione come nella figura 1.1.3

Il tasso di disidratazione dei campioni con un maggior contenuto di umidità iniziale è più elevato fino a raggiungere un tasso di umidità di 0,4 gH₂O/gPS, come mostrato in Figura 1.1.6.

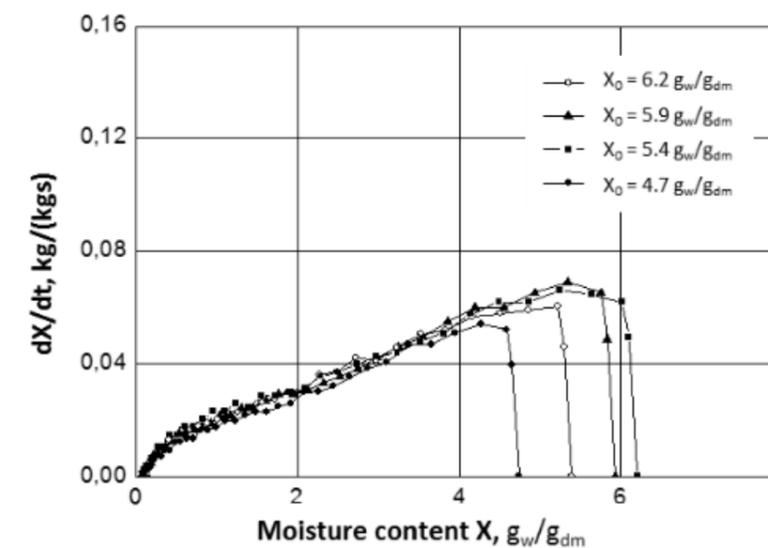


Figura 1.1.6: Tassi di essiccazione per diversi contenuti di umidità iniziale in funzione del contenuto di umidità, condizioni di essiccazione come nella figura 3.

Il contenuto di umidità iniziale non influenza in modo significativo la temperatura del prodotto e la variazione di colore (TCD = differenza cromatica totale) come mostrato in Figura 1.1.7.

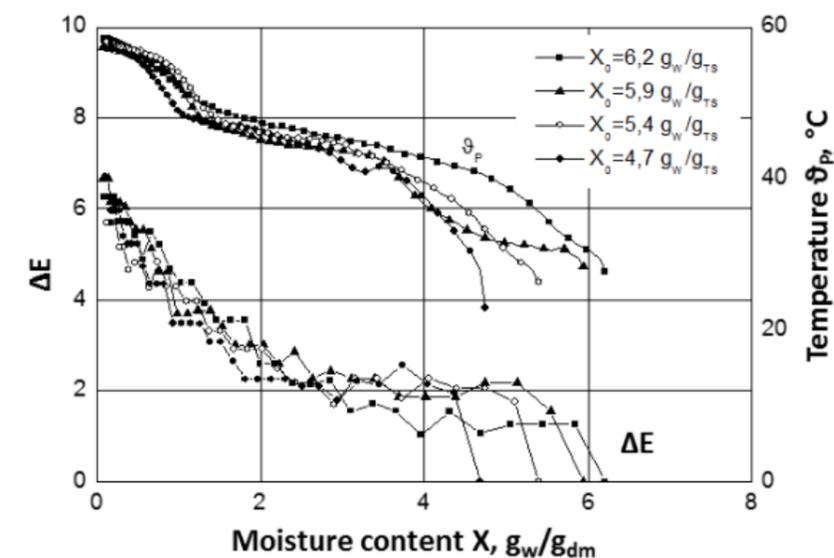


Figura 1.1.7: Temperatura del prodotto e cambiamento di colore ΔE per diversi contenuti di umidità iniziale X in funzione del contenuto di umidità, condizioni di essiccazione come in Figura 3

Il restringimento in funzione del contenuto di umidità iniziale è mostrato in Figura 1.1.8. Lo sviluppo per tutti i campioni è simile, tuttavia, essi dipendono dal contenuto di umidità iniziale con conseguente spostamento parallelo delle curve sull'asse x.

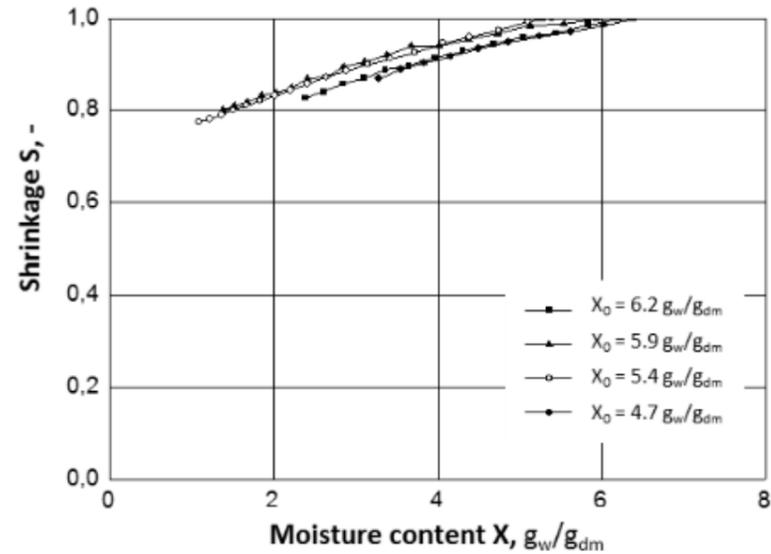


Figura 1.1.8: Restringimento (S) per diversi contenuti di umidità iniziale (X_0) in funzione del contenuto di umidità, in condizioni di essiccazione come nella Figura 1.1.3.

Per osservare le cause microstrutturali dei diversi tassi di disidratazione, sono state effettuate, al termine della disidratazione, analisi topografiche (Figura 1.1.9) e analisi al SEM (microscopio elettronico a scansione) (Figura 1.1.10). I campioni utilizzati sono quelli conservati per 3 mesi in AC con il più alto (8,3 gH₂O/gPS) (campione 1) e il più basso (5,5 gH₂O/gPS) (campione 2) contenuto di umidità iniziale. Per l'analisi dell'asperità sono state inserite tre linee orizzontali e due linee verticali attraverso la carta topografica ed è stato analizzato il loro sviluppo. Minima e massima consentono di stabilire l'asperità e la frequenza delle asperità. Le Figure 1.11 e 1.12 mostrano, procedendo dall'alto verso il basso, prima le linee orizzontali (dall'alto verso il basso) e poi le linee verticali (da sinistra a destra).

La asperità delle fette di mela essiccate con diverso contenuto di umidità iniziale è ovviamente diversa. Il campione 1 ($X_0 = 8,3$ gw/gdm) mostra solo pochi picchi di irregolarità e la profondità media è relativamente bassa rispetto al campione 2 con il più basso contenuto di umidità iniziale ($X_0 = 5,5$ gw/gdm). Il campione 2 mostra una asperità maggiore. Il numero e l'entità dei picchi sono maggiori rispetto al campione 1.

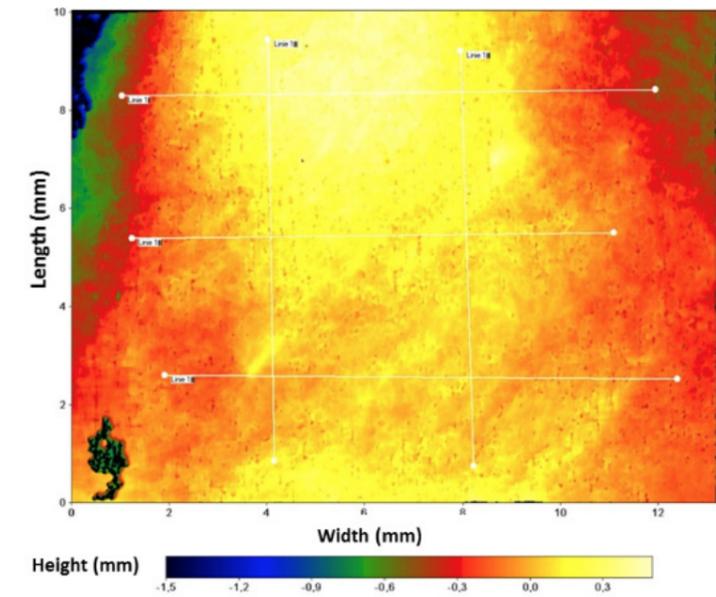


Figura 1.1.9: Mappatura topografica della superficie del campione 1 dopo l'essiccazione, $X_0 = 8,3$ g_{H₂O}/g_{PS}

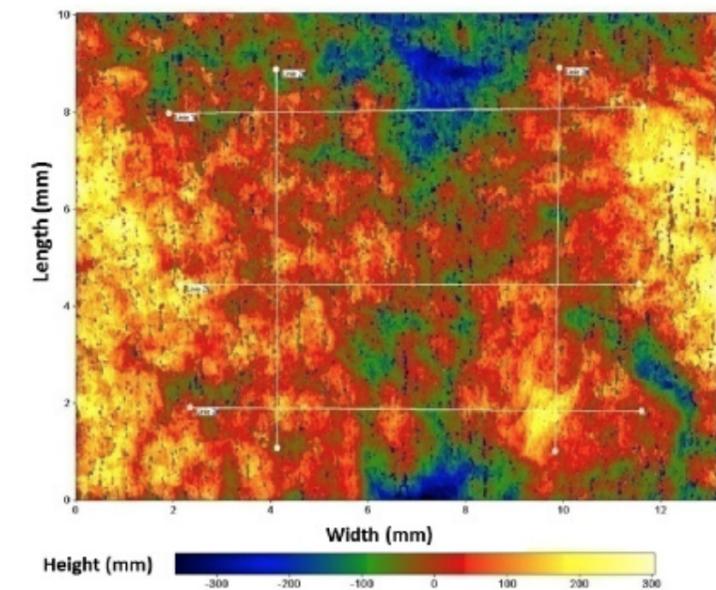


Figura 1.1.10 Mappatura topografica dell'interfaccia del campione 2 dopo l'essiccazione, $X_0 = 5,5$ g_{H₂O}/g_{PS}

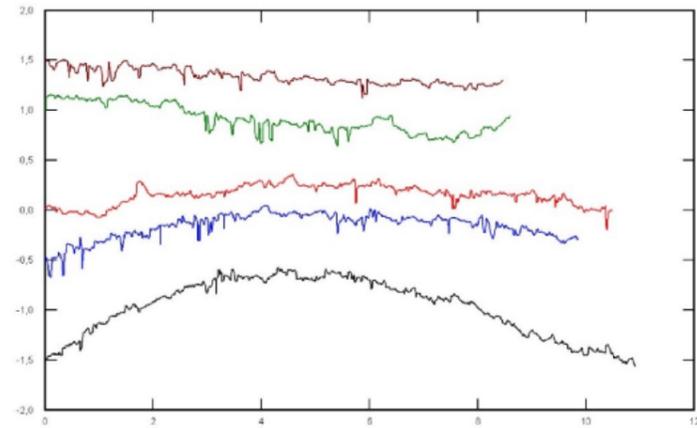


Figura 1.1.11: Valori di asperità, campione 1, $X_0 = 8,3 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{PS}}$

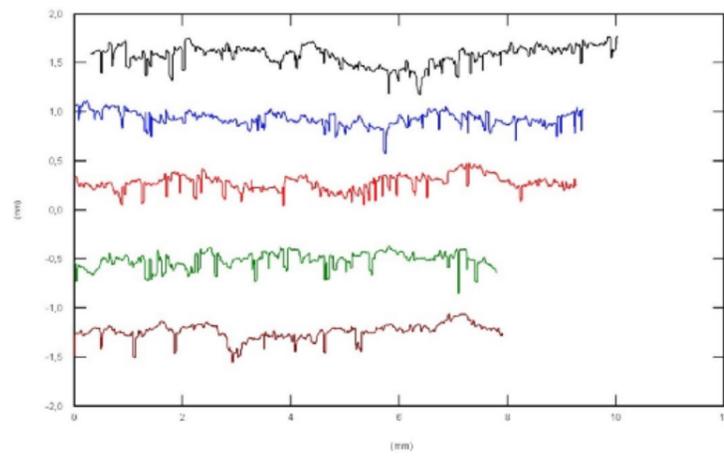


Figura 1.1.12: Valori di asperità, campione 2, $X_0 = 5,5 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{PS}}$

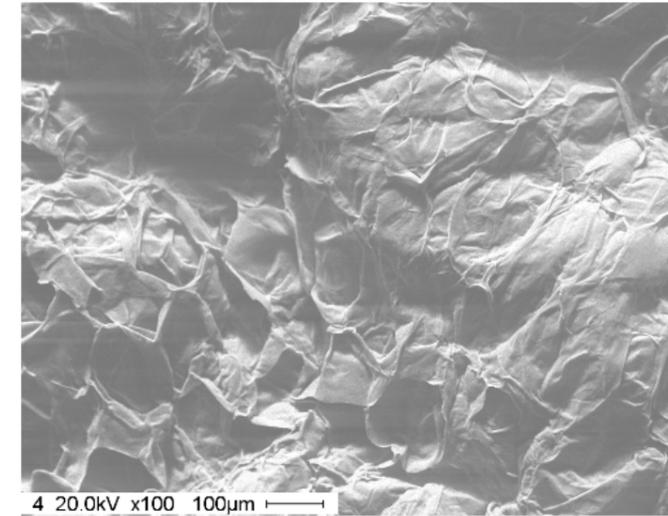


Figura 1.1.13: Superficie visibile del campione 1, ingrandita 100 volte, $X_0 = 8,3 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{PS}}$

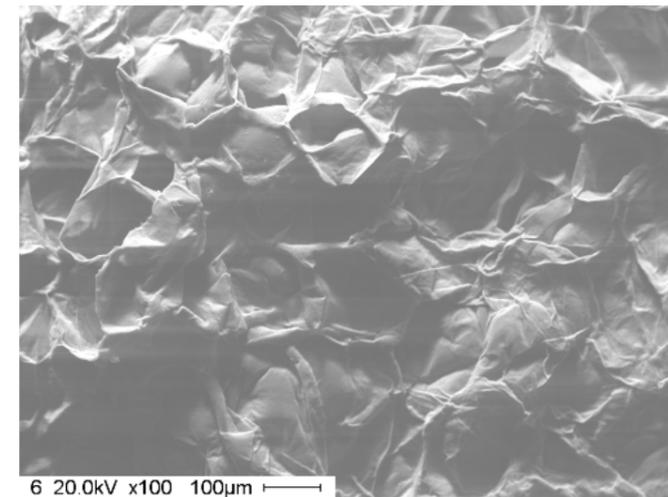


Figura 1.1.14: Superficie visibile del campione 2, ingrandita 100 volte, $X_0 = 5,5 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{PS}}$

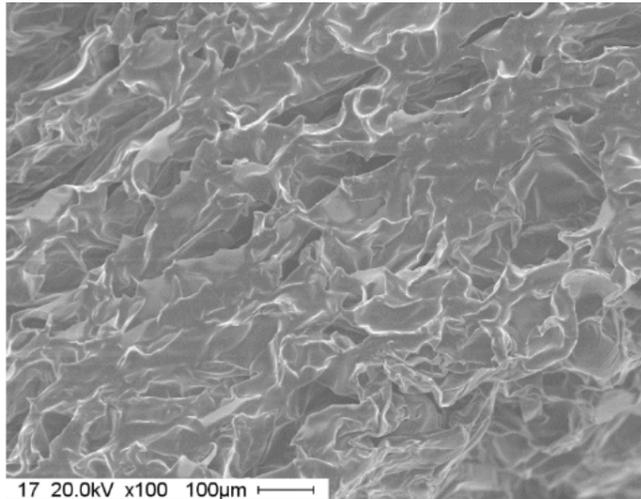


Figure 1.1.15: Interfaccia vertical del campione 1, ingrandita 100 volte, $X_0 = 8.3 g_w/g_{dm}$

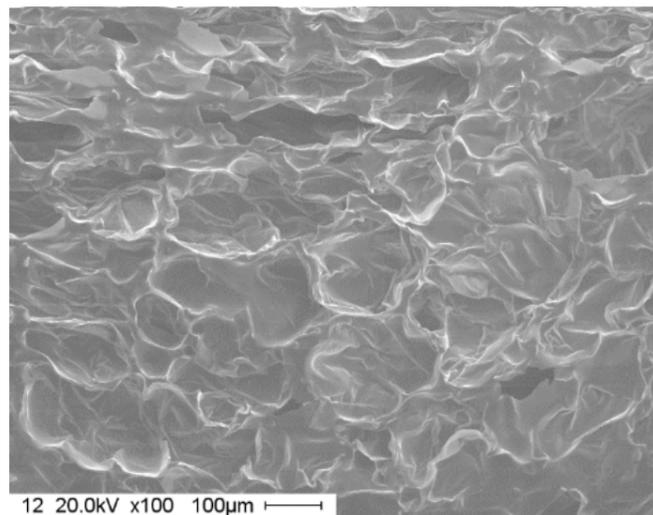


Figura 1.1.16: Interfaccia verticale del campione 2, ingrandita 100 volte, $X_0 = 5.5 g_w/g_{dm}$

Le immagini SEM mostrano differenze significative nella struttura di entrambi i campioni. Nel campione 1 la struttura è collassata verso il basso, raramente ci sono sezioni in cui i residui cellulari appaiono aperti. Il campione 2 mostra una struttura molto più preservata, molti residui cellulari sono aperti e ci sono meno sezioni che sono collassate completamente. La dimensione media delle cellule del campione 1 è maggiore di quella del campione 2. Inoltre, le pareti cellulari del campione 1 sono ovviamente più sottili di quelle del campione 2. Le osservazioni mostrano che i campioni con un contenuto di umidità iniziale più basso hanno pareti cellulari

più forti rispetto ai campioni con un elevato contenuto di umidità iniziale. Ciò rende più difficile la diffusione dell'umidità e l'effetto capillare è maggiore nelle cellule più piccole.

1.3 Bibliografia

Ackermann, J.; M. Fischer & R. Amado. 1992. Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples (Cv Glockenapfel). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40 (7): 1131-1134.

Bain, J. M. & R. N. Robertson. 1951. The physiology of growth in apple fruits. I. Cell size, cell number and fruit development. *Australian Journal of Biological Sciences* 4: 75-91.

Brennan, J. G.; R. Jowitt & A. M. A. Mohamed. 1977. Instrumental measurement of fruit texture: a study
Dissa, A. O.; H. Desmorieux; J. Bathiebo & J. Koulidiati. 2008. Convective drying characteristics of Amelia mango (*Mangifera Indica* L. cv. "Amelie") with correction for shrinkage. *Journal of Food Engineering* 88 (4): 429-437.

Fernando, W. J. N.; A. L. Ahmad; S. R. Abd. Shukor & Y. H. Lok. 2008. A model for constant temperature drying rates of case hardened slices of papaya and garlic. *Journal of Food Engineering* 88 (2): 229-238.

Hund, U. & R. Stösser. 1984. Einfluss der Blütenstellung innerhalb der Infloreszenz auf das Pollenschlauchwachstum und die Fruchtentwicklung beim Apfel. *Mitteilungen Klosterneuburg* 34: 261-268.

Kröll, K. & W. Kast. 1989. *Trocknen und Trockner in der Produktion*, Bd. 3. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Krüger, B. 1986. Über die Beziehung zwischen Fruchtgröße, Struktur des Fruchtfleisches und Fruchtfestigkeit bei drei Apfelsorten. Dissertation, Universität Hohenheim.

Rahman, N. & S. Kumar. 2007. Influence of Sample Size and Shape on Transport Parameters during Drying of Shrinking Bodies. *Journal of Food Process Engineering* 30 (2): 186-203.

Prasanna, V.; T. N. Prabha & R. N. Tharanathan. 2007. Fruit Ripening Phenomena – An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (1): 1-19.

Sturm, B. 2010. Einfluss der Führung des Trocknungsprozesses auf den Trocknungsverlauf und die Produkteigenschaften empfindlicher biologischer Güter. Forschungsbericht Agrartechnik 491 des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG). (Doctoral Dissertation).

Wills, R. B. H.; P. A. Bambridge & K. J. Scott. 1980. Use of flesh firmness on other objective tests to determine consumer acceptability of Delicious apples. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20: 252-256.

2. Influenza delle condizioni di disidratazione sulla qualità del prodotto

University of Tuscia, Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems, Italy

Massantini, R. & Moschetti, R.

L'obiettivo della disidratazione degli alimenti è la riduzione della quantità di acqua libera per rallentare i processi di deterioramento, che sono principalmente causati dalla crescita microbica, da reazioni chimiche e/o da attività enzimatiche. Frutta e verdura sono particolarmente sensibili ai processi di deterioramento, poiché il loro contenuto iniziale di acqua varia dal 74% al 90% p/p (Koszela et al., 2014), e quindi l'attività dell'acqua permette la crescita microbica ($a_w > 0.60$). Tuttavia, nonostante questi vantaggi, la disidratazione può causare danni e gravi cambiamenti nelle proprietà fisico-chimiche, organolettiche e nutrizionali dei prodotti (An et al., 2016; Filkova e Mujundar, 2014; Ratti, 2001). In particolare, durante la disidratazione di frutta e verdura, si verificano molti cambiamenti di qualità, come: cambiamenti di colore dovuti a reazioni di imbrunimento enzimatico e/o non enzimatico, cambiamenti di consistenza, forma e dimensione, nonché perdita e/o degradazione di composti nutrizionali (es. acido ascorbico, carotenoidi, composti fenolici e simili) (Nindo et al., 2003).

2.1. Cambiamenti della qualità nutrizionale

La qualità nutrizionale di frutta e verdura dipende dalla loro composizione chimica, che presenta un'ampia gamma di variabilità a seconda della specie, della cultivar e dello stadio di maturazione. Il processo di riscaldamento porta alla degradazione e/o isomerizzazione della maggior parte dei composti chimici. A causa della complessità delle matrici alimentari, alcuni composti chimici vengono scelti come marcatori della qualità nutrizionale (Vicente et al., 2009). Per frutta e verdura vengono scelti, come marker, i seguenti composti: acido ascorbico, carotenoidi, vitamina E ed il contenuto fenolico.

2.1.1. Acido ascorbico

L'acido ascorbico (AA) è un nutriente essenziale nella dieta umana. Poiché frutta e verdura hanno un alto contenuto di AA, viene comunemente utilizzato come marcatore di qualità. AA è un composto antiossidante, labile al calore e solubile in acqua ed è in grado di rigenerare i tocoferoli (vitamina E) dalla forma ossidata (Liu e Russell, 2008). L'alta temperatura, il lungo ciclo di disidratazione e l'esposizione all'ossigeno provocano una forte riduzione della sua concentrazione in frutta e verdure; per esempio il pomodoro può perdere circa la metà del suo contenuto originale di AA durante la disidratazione a 75 °C (Ashebir et al., 2009). Inoltre, è stato osservato, in uno studio sulle foglie di zucca, che una temperatura elevata per un breve periodo di tempo a basso pH porta ad una migliore ritenzione di AA rispetto ad una temperatura più bassa per tempi più lunghi a pH elevato (Ariahu et al., 2011). Durante la disidratazione ad aria calda, le perdite di vitamina C sono maggiori rispetto a quelle legate al processo di liofilizzazione (Shofian et al., 2011). Una leggera perdita di AA si verifica durante la scottatura in acqua calda a causa della sua idrosolubilità. Tuttavia, il prodotto pretrattato conserva meglio la concentrazione di AA

durante la disidratazione (Barbosa de Lima et al., 2015).

2.1.2. Carotenoidi

I carotenoidi sono una grande classe di tetraterpeni responsabili del colore rosso vivo, giallo e arancione in molti frutti ed ortaggi. A causa della loro natura altamente idrofobica, i carotenoidi sono presenti principalmente all'interno della membrana lipidica o complessati con proteine (Gruszecki, 2010). Ci sono più di 600 composti classificati come carotenoidi, la maggior parte sono i precursori della vitamina A nell'essere umano. Nelle piante, aiutano nella fotosintesi e prevengono l'ossidazione delle clorofille; nell'uomo, il consumo di β -carotene e luteina, i due più importanti carotenoidi alimentari, riduce il rischio di cancro ai polmoni e malattie croniche degli occhi come la cataratta (Lefsrud et al., 2008). Una leggera diminuzione del contenuto totale di carotenoidi è stata osservata durante la disidratazione con aria calda delle carote (Urrea et al., 2011); inoltre, la scottatura unita alla disidratazione, favoriscono il rilascio di carotenoidi dalle membrane lipidiche e dai complessi proteici, con un conseguente aumento di biodisponibilità (Divya et al., 2012; Seybold et al., 2004). Nonostante questo effetto positivo, il calore induce l'isomerizzazione dei carotenoidi dalla forma trans alla forma cis, che è più suscettibile all'ossidazione (Strati e Oreopoulou, 2016). Infine, si è visto che la concentrazione di licopene diminuisce di più nella liofilizzazione rispetto alla disidratazione con aria calda o con microonde (Siriamornpun et al., 2012).

2.1.3. Fenoli

I fenoli sono una grande classe di composti che hanno almeno un anello aromatico con uno o più idrossi-sostituenti; possono includere derivati funzionali (es. esteri). I composti fenolici hanno attività antiossidante e nelle piante agiscono come meccanismo di difesa contro agenti patogeni e parassiti; per questo motivo, la buccia ha comunemente un livello di fenoli più elevato rispetto alla polpa (Chinnici et al., 2004). Comunemente sono anche associati a caratteristiche sensoriali (es. astringenza, colore, ecc.) (Romaric G. Bayili, 2011). I frutti e i vegetali ricchi di fenoli sono comunemente di colore blu o rosso. Il consumo regolare di frutta e verdura ricca di fenoli è associato ad una riduzione del rischio di sviluppare malattie croniche, come il cancro e le malattie cardiovascolari (Liu, 2004). Una perdita significativa di fenoli si verifica durante le fasi operative (es. pelatura, affettatura o triturazione); tutte queste fasi espongono direttamente i fenoli all'ossigeno (Wlodzimierz e Grajek, 2010). Una maggiore perdita di fenoli si verifica durante la disidratazione all'aria rispetto alla liofilizzazione e alla disidratazione con microonde. Questo perché richiede una temperatura più elevata e più tempo per la disidratazione (An et al., 2016; Vega-Gálvez et al., 2012).

2.1.4. Vitamina E

La vitamina E comprende un gruppo di composti liposolubili che comprendono sia i tocoferoli che i tocotrienoli. Gli α -tocotrienoli sono i più abbondanti nell'organismo umano (Lodge, 2005). La vitamina E è altamente sensibile sia all'ossigeno che all'esposizione alla luce durante la lavorazi-

one e/o lo stoccaggio (Vicente et al., 2009). Alimenti grassi, broccoli e verdure a foglia sono buone fonti di vitamina E. Durante la disidratazione della castagna a 50°C per 10 ore, il contenuto di vitamina E diminuisce leggermente (Delgado et al., 2016). Circa il 10% delle perdite di vitamina E sono segnalate principalmente durante la cottura (anche al microonde) del prodotto (Lešková et al., 2006).

2.2. Decolorazione

La conservazione del colore è fondamentale per rendere la frutta e la verdura trasformata attraente e accettabile. Il colore è il primo attributo di qualità considerato dal consumatore durante una decisione di acquisto (Shewfelt, 1999). Per questo motivo, diverse ricerche hanno preso in considerazione, come problematica di studio, la conservazione del colore durante la manipolazione e la lavorazione post-raccolta di frutta e verdura (Shewfelt, 1999). Durante la disidratazione, molti fenomeni sono responsabili dei cambiamenti di colore. I più comuni sono la degradazione dei pigmenti (es. clorofille e carotenoidi) (Roshanak et al., 2015) e la comparsa dell'imbrunimento, dovuto a reazioni sia enzimatiche che non enzimatiche (Maskan, 2001).

2.2.1. Clorofille e carotenoidi

Il colore dei vegetali verdi e giallo/rosso/rosso/arancio è dovuto essenzialmente a pigmenti strettamente correlati alle clorofille e ai carotenoidi (Brennan, 2006). Questi pigmenti si degradano facilmente durante la lavorazione post-raccolta con luce, calore, ossigeno ed enzimi (Madhava Naidu et al., 2016). Il tipo di prodotto, la sua origine, il pretrattamento e il tipo di disidratazione influenzano il grado di degradazione delle clorofille e dei carotenoidi (Brennan, 2006). Inoltre, l'alta temperatura e il basso pH stimolano la conversione delle clorofille in feofitine, sostituendo il magnesio centrale nell'anello clorinico con due ioni idrogeno (Marangoni, 2017); quando la clorofilla viene trasformata in feofitina, la tinta cambia da verde chiaro a marrone oliva. Il tasso di conversione della formazione delle feofitine sembra rallentare con valori di acqua libera (aw) inferiore a 0,32 (Roshanak et al., 2015). Oltre a questa reazione, la degradazione della clorofilla è correlata alla perossidazione dei grassi. In questa reazione, la lipossidasi e l'ossigeno giocano il ruolo principale (Cui et al., 2004).

2.2.2. Imbrunimento enzimatico

Gli enzimi polifenolossidasi (PPO) e perossidasi (POD) sono i principali responsabili dell'imbrunimento enzimatico. Il percorso porta alla degradazione dei fenoli e inizia con la conversione della L-fenilalanina in acido trans-cinnamico da parte dell'enzima fenilalanina liasi (PAL) (Cecchini et al., 2011; Mencarelli et al., 1995). Di conseguenza, la PPO converte l'acido trans-cinnamico in orto-chinoni, che polimerizzano spontaneamente in melanine (pigmenti marroni responsabili del colore marrone e dell'aroma anomalo) (Degl'Innocenti et al., 2007; Taylor et al., 1993). Nell'industria di trasformazione alimentare, i risultati dell'attività di questi enzimi sono spesso indesiderati. Un'eccezione è fatta per l'uva sultanina, perché il consumatore sembra preferire le uve secche brune (Grncarevic e Hawker, 1971). Sono state adottate diverse soluzioni per inibire l'imbruni-

mento enzimatico, come ad esempio: [1] l'uso del calore come pretrattamento, per inattivare l'enzima, e [2] l'uso di anidride solforosa o solfiti, che sono in grado di complessare gli o-quinoni rendendoli non disponibili per la formazione di melanine (Yingsanga et al., 2008). Un altro modo per ridurre l'imbrunimento enzimatico è quello di abbassare il pH dei prodotti utilizzando acido (es. acido citrico, malico, fosforico e ascorbico) o combinando diverse operazioni unitarie (es. disidratazione osmotica seguita da disidratazione ad aria) (Ioannou, I.; Mohamed, 2013).

2.2.3. Imbrunimento non enzimatico

L'imbrunimento non enzimatico (NEB) consiste in una serie di reazioni chimiche che si verificano durante un processo termico, con conseguenti cambiamenti di colore, consistenza, composti antiossidanti e aromatici (Martins et al., 2000; Perera, 2005). Il processo non enzimatico più importante è la caramellizzazione, che comporta la pirolisi degli zuccheri e la reazione di Maillard (MR) (Manzocco et al., 2000). Le reazioni di Maillard sono state descritte per la prima volta da Louis Maillard, un chimico francese, mentre, nel 1953, John E. Hodge è stato il primo scienziato a descrivere il processo chimico della MR. Il suo stadio iniziale prevede la reazione tra uno zucchero riducente e un gruppo di aminoacidi liberi (ad esempio aminoacido, polipeptide o proteina) per dare glucosamina N-sostituita, che poi si riorganizza per formare i prodotti di Amadori e Heyn (Hodge, 1953). La MR è una rete complessa di reazioni chimiche parallele e consecutive, legate alle caratteristiche del prodotto (es. pH, contenuto di umidità, ecc.) e ai parametri di processo (es. temperatura e tempo di esposizione al calore) (Cernișev, 2010; Martins et al., 2000). A un pH inferiore a 7.0, la reazione porta principalmente alla formazione di furfurale e idrossimetilfurfurale (Garza et al., 1999; Hodge, 1953; Martins et al., 2000), mentre a un pH superiore a 7.0 si producono principalmente il 4-idrossi-5-metil-2,3-diidrofurano-3-one (HMFone) e prodotti di fissione (ad esempio, acetolo, piruvaldeide e diacetile) (Cernișev, 2010; Martins et al., 2000). Tutti questi composti sono altamente reattivi e, quindi, sono coinvolti in ulteriori reazioni responsabili dello sviluppo di pigmenti bruni (es. melanoidine) (Garza et al., 1999). Comunemente, lo sviluppo del NEB è monitorato attraverso [1] il contenuto di zucchero del prodotto (ad esempio, saccarosio, fruttosio e glucosio, ecc.) (Garza et al., 1999; Wegener et al., 2017), [2] il contenuto di HMF (Contreras-Calderón et al., 2016; Garza et al., 1999) e furfurale (Contreras-Calderón et al., 2016), [3] l'intensità del colore brunastro utilizzando la misurazione spettrofotometrica a 420 nm (Contreras-Calderón et al., 2016; Garza et al., 1999; Hurtado et al., 2016; Wegener et al., 2017). In generale, il NEB spesso riduce la qualità degli alimenti trasformati (Sharma et al., 2014) con alcune eccezioni, ad esempio, caffè tostato e prodotti da forno, in cui la MR è responsabile di un migliore colore, sapore e aroma (Jaeger et al., 2010).

2.3. Cambiamenti fisici

Durante la disidratazione si verificano cambiamenti fisici che spesso influenzano fortemente le caratteristiche del prodotto. I principali cambiamenti fisici (cioè restringimento e texture) sono discussi di seguito.

2.3.1. Restringimento

Durante la disidratazione, frutta e verdura perdono acqua e le membrane cellulari collassano. Questi fenomeni sono responsabili di cambiamenti nella forma e nella dimensione del prodotto (Aprajeeta et al., 2015). L'umidità si sposta gradualmente dal centro dei tessuti alle superfici esterne (Bonazzi e Dumoulina, 2011). Diversi studi hanno confermato l'esistenza di una correlazione lineare tra contenuto di umidità (MC) e diminuzione delle dimensioni (Dehghannya et al., 2015; Nadia, 2011; Yadollahinia e Jahangiri, 2009). Durante la fase iniziale di disidratazione ad aria, il restringimento della superficie del prodotto aumenta rapidamente; infine, il restringimento della superficie procede lentamente fino a raggiungere un punto di equilibrio (Kerdpi-boon et al., 2007). Studi dimostrano che la diminuzione delle dimensioni risulta maggiore nella disidratazione a microonde ed in aria calda, piuttosto che mediante la liofilizzazione (Bonazzi e Dumoulina, 2011; Prothon et al., 2003). L'aumento della temperatura del prodotto aumenta il tasso di restringimento del prodotto secondo quanto definito dall'equazione di Arrhenius (Yadollahinia e Jahangiri, 2009).

2.3.2. Texture

I parametri che definiscono la texture di frutta e verdura vengono percepiti attraverso i sensi, in particolar modo il tatto e l'udito, sia quando il prodotto viene raccolto a mano sia quando viene messo in bocca e masticato (Bourne, 2002). La texture è il risultato di complesse interazioni tra componenti alimentari a livello micro e macrostrutturale (Guiné e Barroca, 2012); utilizzando il pomodoro come esempio, il maggior contributo alla texture viene dato dai solidi insolubili, che derivano dalle pareti cellulari [50]. Altri parametri sono legati ai cambiamenti della texture (ad esempio, struttura del tessuto, turgore cellulare, porosità, orientamento e composizione cellulare). Durante la disidratazione di frutta e verdura, ci sono alcune variazioni comuni nella texture del prodotto (es. durezza, coesione, masticabilità ecc.) (Kotwaliwale et al., 2007). Le variazioni della texture sono comunemente misurate utilizzando un texturometro, impiegato per condurre la Texture Profile Analysis (TPA) (Cecchini et al., 2011; Tan, 2000). L'elevata temperatura e i lunghi tempi di disidratazione in aria calda provocano spesso danni da caldo e perdite di struttura (Vega-Gálvez et al., 2012). Durante la disidratazione in aria calda delle fette di mela sono state individuate tre fasi di texture: (1) rammollimento, in cui compaiono cambiamenti graduali di consistenza, (2) compattamento e (3) indurimento (Martynenko e Janaszek, 2014). L'ultima fase è dovuta ad una limitata diffusione dell'umidità (Martynenko e Janaszek, 2014). In uno studio sulle carote, si è dedotto che la disidratazione al microonde è più veloce della disidratazione in aria calda e, inoltre, il prodotto finale mostra migliori proprietà strutturali (Lin et al., 1999).

2.3.3. Contenuto di umidità e attività dell'acqua (a_w)

Il contenuto di umidità (CU) è un indicatore della quantità di acqua contenuta in un campione solido (es. suolo, frutta e verdura). Le variazioni di umidità durante la disidratazione sono generalmente espresse su sostanza secca (CU_s), che corrisponde al rapporto tra la quantità di acqua

nel campione (m_{H_2O}) e il contenuto del residuo solido (m_{CRS}), entrambi espressi nella stessa unità di misura (es. g/g o kg/kg).

$$MC_d = \frac{m_w}{m_{RSC}}$$

Tuttavia, per quanto riguarda altre applicazioni dell'industria alimentare, il contenuto di umidità è comunemente espresso su base umida (CU_{H_2O}), che è pari al rapporto tra la quantità di acqua nel campione (m_{H_2O}) e il peso totale del campione (m_{tot}).

$$MC_w = \frac{m_w}{m_{tot}} = \frac{m_w}{m_w + m_{RSC}}$$

La relazione tra MC_d e MC_w è descritta dalla seguente equazione:

$$MC_d = \frac{MC_w}{1 - MC_w}$$

Durante la disidratazione, il m_{H_2O} diminuisce ed il m_{CRS} rimane costante. La crescita microbica è più legata alla quantità di acqua libera contenuta nel cibo piuttosto che alla quantità di acqua totale (Gabriel, 2008). Per controllare la crescita microbica, quindi, si dovrebbe introdurre un altro parametro: l'attività dell'acqua (a_w), che rappresenta il rapporto tra la tensione di vapore dell'acqua in una sostanza (P_a) e la tensione di vapore dell'acqua pura (P_0) in condizioni termodinamiche identiche.

$$a_w = \frac{P_a}{P_0}$$

La a_w non riguarda solo il controllo della crescita microbica, ma anche la shelf-life degli alimenti, il tasso di decolorazione, l'attività enzimatica e la modulazione del tasso di reazione chimica (Bonazzi e Dumoulin, 2011). Il rapporto tra il contenuto di umidità e l'attività dell'acqua durante la disidratazione è complesso, non lineare ed unico per ogni prodotto alimentare. Ciò è dovuto ad effetti colligativi, capillari e superficiali (Sablani, 2007).

2.4. Bibliografia

- An, K., Zhao, D., Wang, Z., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G., 2016. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food Chem.* 197, 1292–1300. doi:10.1016/j.foodchem.2015.11.033
- Aprajeeta, J., Gopirajah, R., Anandharamkrishnan, C., 2015. Shrinkage and porosity effects on heat and mass transfer during potato drying. *J. Food Eng.* 144, 119–128. doi:10.1016/j.jfoodeng.2014.08.004
- Ariahu, C.C., Abashi, D.K., Chinma, C.E., 2011. Kinetics of ascorbic acid loss during hot water blanching of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) leaves. *J. Food Sci. Technol.* 48, 454–459.

doi:10.1007/s13197-010-0123-0

Ashebir, D., Jezik, K., Weingartemann, H., Gretzmacher, R., 2009. Change in color and other fruit quality characteristics of tomato cultivars after hot-air drying at low final-moisture content. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60 Suppl 7, 308–315. doi:10.1080/09637480903114128

Barbosa de Lima, A.G., Da Silva, J. V., Pereira, E.M.A., Dos Santos, I.B., Barbosa de Lima, W.M.P., 2015. Drying of bioproducts: Quality and energy aspects, in: *Drying and Energy Technologies*. doi:10.1007/978-3-319-19767-8_1

Bonazzi, C., Dumoulin, E., 2011. Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. *Mod. Dry. Technol.* 3, 1–20. doi:10.1002/9783527631667.ch1

Bourne, M.C., 2002. Texture, Viscosity, and Food, in: *Food Texture and Viscosity*. Elsevier, pp. 1–32. doi:10.1016/B978-012119062-0/50001-2

Brennan, J.G., 2006. *Food Processing Handbook*, Food Processing Handbook. Wiley-VCH Verlag, Weinheim. doi:10.1002/3527607579

Cecchini, M., Contini, M., Massantini, R., Monarca, D., Moscetti, R., 2011. Effects of controlled atmospheres and low temperature on storability of chestnuts manually and mechanically harvested. *Postharvest Biol. Technol.* 61, 131–136.

Cerņiņev, S., 2010. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. *J. Food Eng.* 96, 114–118. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.07.002

Chinnici, F., Bendini, A., Gaiani, A., Riponi, C., 2004. Radical Scavenging Activities of Peels and Pulp from cv. Golden Delicious Apples as Related to Their Phenolic Composition. *J. Agric. Food Chem.* 52, 4684–4689. doi:10.1021/jf049770a

Contreras-Calderón, J., Mejía-Díaz, D., Martínez-Castaño, M., Bedoya-Ramírez, D., López-Rojas, N., Gómez-Narváez, F., Medina-Pineda, Y., Vega-Castro, O., 2016. Evaluation of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. *Food Chem.* 209, 162–170. doi:10.1016/j.foodchem.2016.04.038

Cui, Z.-W., Xu, S.-Y., Sun, D.-W., 2004. Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves. *Dry. Technol.* doi:10.1081/DRT-120030001

de Bruijn, J., Rivas, F., Rodriguez, Y., Loyola, C., Flores, A., Melin, P., Borquez, R., 2016. Effect of Vacuum Microwave Drying on the Quality and Storage Stability of Strawberries. *J. Food Process. Preserv.* n/a-n/a. doi:10.1111/jfpp.12691

Degl'Innocenti, E., Pardossi, A., Tognoni, F., Guidi, L., 2007. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in "lettuce", "escarole" and "rocket salad" when stored as fresh-cut products. *Food Chem.* 104, 209–215. doi:10.1016/j.foodchem.2006.11.026

Dehghannya, J., Gorbani, R., Ghanbarzadeh, B., 2015. Shrinkage of Mirabelle Plum during Hot Air Drying as Influenced by Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration. *Int. J. Food Prop.* doi:10.1111/jfpp.12521

Delgado, T., Pereira, J.A., Ramalhosa, E., Casal, S., 2016. Effect of hot air convective drying on the fatty acid and vitamin E composition of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) slices. *Eur. Food Res. Technol.* doi:10.1007/s00217-015-2633-5

Divya, P., Puthusseri, B., Neelwarne, B., 2012. Carotenoid content, its stability during drying and the antioxidant activity of commercial coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties. *Food Res. Int.* 45, 342–350. doi:10.1016/j.foodres.2011.09.021

Filkova, I., Mujundar, A.S., 2014. *Handbook of industrial drying systems*, Handbook of industrial drying systems (Vol.1), fourth edition.

Gabriel, A.A., 2008. Estimation of water activity from pH and Brix values of some food products. *Food Chem.* 108, 1106–1113. doi:10.1016/j.foodchem.2007.11.077

Garza, S., Ibarz, A., Pagán, J., Giner, J., 1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. *Food Res. Int.* 32, 335–343. doi:10.1016/S0963-9969(99)00094-0

Grncarevic, M., Hawker, J.S., 1971. Browning of Sultana Grape Berries During Drying 22, 1970–1972.

Gruszecki, W.I., 2010. Carotenoids in lipids Membranes, in: *Carotenoids: Physical, Chemical, and Biological Functions and Properties*. pp. 19–30.

Guiné, R.P.F., Barroca, M.J., 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprod. Process.* 90, 58–63. doi:10.1016/j.fbp.2011.01.003
Hodge, J.E., 1953. Dehydrated foods. Chemistry of browning reactions in model systems. *Agric. Food Chem.* 1, 928–943. doi:10.1021/jf60015a004

Hurtado, A., Guàrdia, M.D., Picouet, P., Jofré, A., Ros, J.M., Bañón, S., 2016. Stabilisation of red fruit-based smoothies by high-pressure processing. Part II: Effects on sensory quality and selected nutrients. *J. Sci. Food Agric.* doi:10.1002/jsfa.7795

Ioannou, I.; Mohamed, G., 2013. Prevention of enzymatic browning in fruits and vegetables. *Eur. Sci. J.* 9, 310–341. doi:10.1021/bk-1989-0405.ch003

Jaeger, H., Janositz, A., Knorr, D., 2010. The Maillard reaction and its control during food pro-

cessing. The potential of emerging technologies. *Pathol. Biol.* 58, 207–213. doi:10.1016/j.pat-bio.2009.09.016

Kerdpi boon, S., Devahastin, S., Kerr, W.L., 2007. Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying. *J. Food Eng.* 83, 570–580. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.03.039

Koszela, K., Otrza sek, J., Zaborowicz, M., Boniecki, P., Mueller, W., Raba, B., Lewicki, A., Przybył, K., 2014. Quality assessment of microwave-vacuum dried material with the use of computer image analysis and neural model. *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.* 9159, 1–9. doi:10.1117/12.2064274

Kotwaliwale, N., Bakane, P., Verma, A., 2007. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *J. Food Eng.* 78, 1207–1211. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.12.033

Lefsrud, M., Kopsell, D., Sams, C., Wills, J., Both, A.J., 2008. Dry matter content and stability of carotenoids in kale and spinach during drying. *HortScience* 43, 1731–1736.

Lešková, E., Kubíková, J., Kováčiková, E., Košická, M., Porubská, J., Holčíková, K., 2006. Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *J. Food Compos. Anal.* 19, 252–276. doi:10.1016/j.jfca.2005.04.014

Lin, T.M., Durance, T.D., Scaman, C.H., 1999. Characterization of vacuum microwave , air and freeze dried carrot slices 31.

Liu, C., Russell, R.M., 2008. Nutrition and gastric cancer risk: An update. *Nutr. Rev.* 66, 237–249. doi:10.1111/j.1753-4887.2008.00029.x

Liu, R.H., 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *J. Nutr.* 134, 3479S–3485S. doi:134/12/3479S [pii]

Lodge, J.K., 2005. Vitamin E bioavailability in humans. *J. Plant Physiol.* 162, 790–796. doi:10.1016/j.jplph.2005.04.012

Madhava Naidu, M., Vedashree, M., Satapathy, P., Khanum, H., Ramsamy, R., Hebbar, H.U., 2016. Effect of drying methods on the quality characteristics of dill (*Anethum graveolens*) greens. *Food Chem.* 192, 849–856. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.076

Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M.C., Lerici, C.R., 2000. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends Food Sci. Technol.* 11, 340–346. doi:10.1016/S0924-2244(01)00014-0

Marangoni, A.G., 2017. Chlorophyll Degradation in Green Tissues: Olives, Cabbage and Pickles, in: *Kinetic Analysis of Food Systems*. Springer, Cham, pp. 55–63. doi:10.1007/978-3-319-51292-1

Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., Van Boekel, M.A.J.S., 2000. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food Sci. Technol.* 11, 364–373. doi:10.1016/S0924-2244(01)00022-X

Martynenko, A., Janaszek, M. a., 2014. Texture Changes During Drying of Apple Slices. *Dry. Technol.* 32, 567–577. doi:10.1080/07373937.2013.845573

Maskan, M., 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J. Food Eng.* 48, 169–175. doi:10.1016/S0260-8774(00)00154-0

Mencarelli, F., Agostini, R., Botondi, R., Massantini, R., 1995. Ethylene production, ACC content, PAL and POD activities in excised sections of straight and bent gerbera scapes. *J. Hortic. Sci.* 70, 409–416. doi:10.1080/14620316.1995.11515310

Nadia, D.M., 2011. Effect of Air Drying on Color, Texture and Shrinkage of Sardine (*Sardina pilchardus*) Muscles. *J. Nutr. Food Sci.* 1, 1–7. doi:10.4172/2155-9600.1000113

Nindo, C.I., Sun, T., Wang, S.W., Tang, J., Powers, J.R., 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT - Food Sci. Technol.* 36, 507–516. doi:10.1016/S0023-6438(03)00046-X

Perera, C.O., 2005. Selected Quality Attributes of Dried Foods. *Dry. Technol.* 23, 717–730. doi:10.1081/DRT-200054180

Prothon, F., Ahrné, L., Sjöholm, I., 2003. Mechanisms and prevention of plant tissue collapse during dehydration: a critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 43, 447–479.

Ratti, C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *J. Food Eng.* 49, 311–319. doi:10.1016/S0260-8774(00)00228-4

Romarić G. Bayili, 2011. Phenolic compounds and antioxidant activities in some fruits and vegetables from Burkina Faso. *African J. Biotechnol.* 10, 13543–13547. doi:10.5897/AJB10.2010

Roshanak, S., Rahimmalek, M., Goli, S.A.H., 2015. Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. *J. Food Sci. Technol.* 53, 721–729.

doi:10.1007/s13197-015-2030-x

Sablani, S.S., 2007. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability 78, 266–271. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025

Seybold, C., Fröhlich, K., Bitsch, R., Otto, K., Böhm, V., 2004. Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing. *J. Agric. Food Chem.* 52, 7005–7010. doi:10.1021/jf049169c

Sharma, S.K., Juyal, S., Rao, V.K., Yadav, V.K., Dixit, A.K., 2014. Reduction of non-enzymatic browning of orange juice and semi-concentrates by removal of reaction substrate. *J. Food Sci. Technol.* 51, 1302–1309. doi:10.1007/s13197-012-0632-0

Shewfelt, R.L., 1999. What is quality? *Postharvest Biol. Technol.* 15, 197–200. doi:10.1016/S0925-5214(98)00084-2

Shofian, N.M., Hamid, A.A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Dek, M.S.P., Hairuddin, M.R., 2011. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *Int. J. Mol. Sci.* 12, 4678–4692. doi:10.3390/ijms12074678

Siriamornpun, S., Kaisoon, O., Meeso, N., 2012. Changes in colour, antioxidant activities and carotenoids (lycopene, β -carotene, lutein) of marigold flower (*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying processes. *J. Funct. Foods* 4, 757–766. doi:10.1016/j.jff.2012.05.002

Strati, I.F., Oreopoulou, V., 2016. Recovery and isomerization of carotenoids from tomato processing. *Waste and Biomass Valorization* 1–21. doi:10.1007/s12649-016-9535-z

Tan, S., 2000. Determinants of eating quality in fruit and vegetables. *Proceedings-Nutrition Soc.*

Taylor, S.L., Kinsella, J.E., Archer, D., Gregory, J.F., Harlander, S.K., Lund, D.B., Schneeman, B.O., Macrae, R., 1993. *Food Science and Technology. Enzym. Food Process.* ii-iiib. doi:10.1016/B978-0-08-057145-4.50001-3

Urrea, D., Eim, V. S., González-Centeno, M., R., Minjares-Fuentes, R., Castell-Palou, A., Juárez, M., D., Rosselló, C., 2011. EFFECTS OF AIR DRYING TEMPERATURE ON ANTIOXIDANT ACTIVITY AND CAROTENOIDS CONTENT OF CARROTS (*Daucus carota*), in: *European Drying Conference*. pp. 26–28.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzón, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., Di Scala, K., 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chem.* 132, 51–59. doi:10.1016/j.foodchem.2011.10.029

Vicente, A.R., Manganaris, G.A., Sozzi, G.O., Crisosto, C.H., 2009. *Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, Second Ed.* ed, Postharvest Handling. Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-374112-7.00005-6

Wegener, S., Kaufmann, M., Kroh, L.W., 2017. Influence of L-pyroglutamic acid on the color formation process of non-enzymatic browning reactions. *Food Chem.* 232, 450–454. doi:10.1016/j.foodchem.2017.04.046

Wlodzimierz, O., Grajek, A., 2010. The influence of food processing and home cooking on the antioxidant stability in foods, in: Smith, J., Charter, E. (Eds.), *Functional Food Product Development*. pp. 178–205.

Yadollahinia, A., Jahangiri, M., 2009. Shrinkage of potato slice during drying. *J. Food Eng.* 94, 52–58.

Yingsanga, P., Srilaong, V., Kanlayanarat, S., Noichinda, S., McGlasson, W.B., 2008. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo. *Postharvest Biol. Technol.* 50, 164–168. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.05.004

3. Variazioni della qualità nei prodotti ortofrutticoli durante la disidratazione

University of Kassel, Department for Biosystems and Agricultural Engineering, Germany

3.1. Mele

Shetha, L.

Negli ultimi anni, la disidratazione della frutta è una pratica molto comune per diversificare il prodotto, semplificare la manipolazione/distribuzione e per estendere la loro durata di conservazione riducendo il deterioramento e la crescita microbica. Diversi metodi di disidratazione come quello all'aria aperta, il forno ad aria calda e i trattamenti di liofilizzazione possono essere applicati per ottenere prodotti disidratati a più alto valore nutrizionale. Poiché la frutta secca ha una maggiore valore energetico, densità di nutrienti, contenuto di fibre e spesso una maggiore attività antiossidante rispetto alla frutta fresca come conseguenza della concentrazione (Bennett et al., 2011), le tendenze di consumo della frutta secca come snack o da inserire in altre formulazioni alimentari sono in forte aumento (Alberti et al., 2014; Garau, Simal, Rossello, Rossello, & Femenia, 2007). Tuttavia, la disidratazione provoca alterazioni fisiche, strutturali, chimiche e biologiche che influiscono su alcuni attributi di qualità, come consistenza, colore, sapore e valore nutrizionale, e in particolare il contenuto di sostanze nutritive e fitochimiche, che sono relativamente instabili al calore (Lee, 2012; Vega-Gálvez et al., 2012; Witrowa-Rajchert & Rząca, 2009). La composizione chimica delle mele varia notevolmente a seconda della regione di produzione, delle pratiche colturali, delle condizioni di raccolta e conservazione e delle cultivar (Feliciano et al., 2010; Kalinowska et al., 2014; Raudone et al., 2016). Tuttavia, le mele sono costituite da diverse componenti chimiche e la sua assunzione può modulare il metabolismo umano per la prevenzione di malattie degenerative come la riduzione delle malattie cardiovascolari, alcuni tipi di cancro, diabete, riduzione del livello di colesterolo e perdita di peso (Kalinowska et al., 2014). Queste funzioni preventive sono dovute alla presenza, nelle mele, di diversi composti fenolici

e flavonoidi. Questi composti contengono un gran numero di doppi legami e gruppi ossidrilici, responsabili della loro attività antiossidante (Khanizadeh et al., 2008; Tsao, Yang, Xie, Sockovie, & Khanizadeh, 2005). Cinque gruppi principali di composti polifenolici si trovano nella mela: acidi idrossicinnamici (principalmente acido clorogenico), flavan-3-oli [(+)-catechina, (-)-epicatechina e antocianidine], flavonoli (principalmente diversi glicosidi quercetina), diidrocalconi (la florizina è la più abbondante) e antocianidina (prevalentemente cianidina-3-galattoside) (Oszmiański, Wojdyło, & Lachowicz, 2016; Tsao, Yang, Young, & Zhu, 2003). Il contenuto di composti fenolici è particolarmente elevato nella buccia, rispetto alla polpa o ai torsoli delle mele (Lacueva et al., 2014; Wolfe, Wu, & Liu, 2003). Nella polpa della mela, le procianidine costituiscono circa il 56% dei fenoli totali, seguite da acidi idrossicinnamici (40%) e diidrocalconi (4%). Tuttavia, il contenuto fenolico varia a seconda della cultivar (Tsao et al., 2003).

3.1.1. Impatto sulle reazioni di imbrunimento del pretrattamento e dei tempi di attesa del pretrattamento nel processo di disidratazione delle mele

Lo scopo fondamentale delle tecniche di trasformazione della frutta, come la disidratazione, è quello di prolungare la shelf life dei prodotti e di conservare le caratteristiche nutrizionali e sensoriali, limitando l'attività dei microrganismi e le alterazioni chimiche che altrimenti andrebbero a compromettere l'accettabilità del prodotto finale. Una problematica molto comune è rappresentata dal fatto che durante la disidratazione convettiva si verificano variazioni importanti delle caratteristiche di qualità. Ci sono molti fattori che influenzano il processo di disidratazione, come la temperatura delle camere di essiccazione, la velocità dell'aria, l'umidità e così via. Inoltre, c'è da considerare la natura della materia prima e le reazioni chimiche durante le fasi di pretrattamento che sono legate a molti fattori, principalmente la concentrazione dei reagenti, la temperatura, il pH, il potenziale di ossido-riduzione, gli inibitori e le reazioni di catalizzazione. I cambiamenti avvengono nella fase di pre-trattamento, seguiti solitamente, da ulteriori cambiamenti significativi durante il processo di disidratazione. Ciò avviene non solo durante la disidratazione per convezione, ma anche in quella non convenzionale, come l'alta pressione idrostatica (Janowicz e Lenart, 2018). Pertanto, è essenziale ottimizzare le operazioni di pretrattamento prima della disidratazione. Ad esempio: la decomposizione dei tessuti cellulari durante le fasi di pretrattamento, come il taglio e l'affettatura della mela, portano a reazioni enzimatiche e quindi a reazioni di imbrunimento. Le reazioni di imbrunimento si accelerano anche durante il processo di disidratazione a causa di reazioni chimiche come l'imbrunimento di Maillard, portando ad una colorazione più scura del prodotto. Pertanto, al fine di ottimizzare il mantenimento dei nutrienti e dell'aspetto, vengono applicati diversi pretrattamenti alle fette di mela prima del processo di disidratazione. Tuttavia, dipende anche dalle cultivar, dall'ambiente di lavorazione e dal tempo di esposizione all'aria a temperatura ambiente.

La figura 3.1 mostra l'effetto del tempo di esposizione dell'aria a temperatura ambiente sulle fette di mela trattate (scottatura in acqua calda a 70° C + 1% AA + 1% CA). Il risultato ha mostrato che la fetta esposta per un tempo più lungo a temperatura ambiente può portare a perdite di colore anche se sono stati applicati pretrattamenti come la scottatura ad acqua calda a 70 °C in combinazione con acido ascorbico e acido citrico all'1%. Gli agenti imbrunenti, ma anche altri

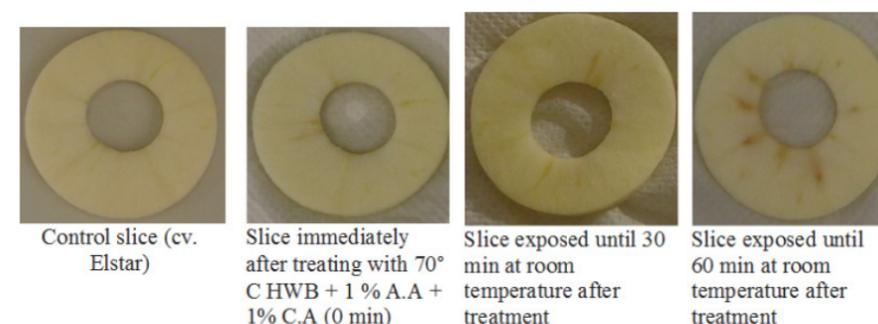


Figura 3.1: Effetto del tempo di esposizione all'aria sull'aspetto della fetta di mela trattata con scottatura in acqua calda a 70° C + 1 % A.A + 1% C.A

fattori esterni come tempi di attesa più lunghi possono portare alla reazione di imbrunimento. La variazione di colore sembra essere elevata rispetto al campione di controllo quando è stato applicato un trattamento termico. Questo può essere probabilmente attribuito alla presenza di MR, in cui l'alto contenuto di zucchero (principalmente fruttosio nei frutti di mela) reagisce in presenza di una fonte di calore con conseguente perdita di colore (Hecke et al., 2006; Laroque et al., 2008). Ad una temperatura di blanching (scottatura) più elevata, la reazione di imbrunimen-

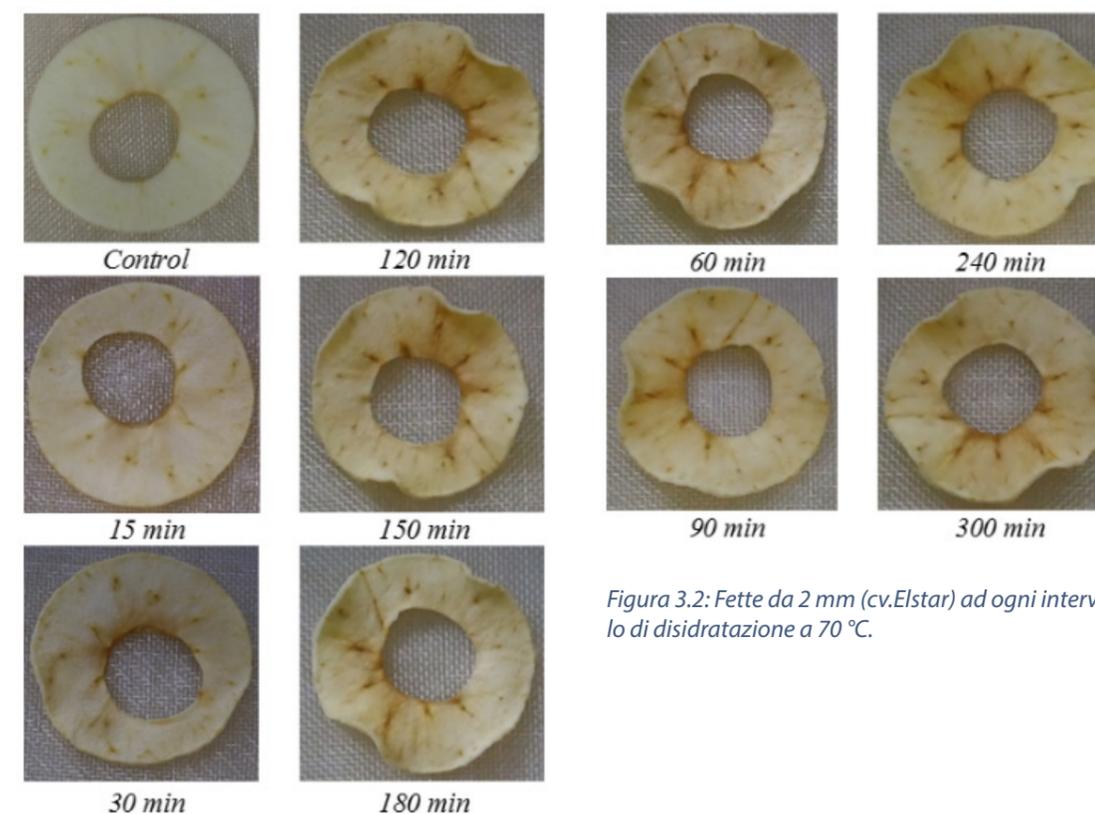


Figura 3.2: Fette da 2 mm (cv.Elstar) ad ogni intervallo di disidratazione a 70 °C.

to è aumentata. La temperatura di 70°C è stata sufficiente per inattivare gli enzimi, ma le fette di mela hanno perso l'integrità dei tessuti con rottura cellulare, facilitando il contatto con l'aria e il rilascio di enzimi endogeni. Questi ultimi hanno infine trovato substrati di diversi comparti cellulari, con il conseguente ed indesiderato, cambiamento di colore della superficie. Inoltre, l'apertura dei pori cellulari durante il processo di riscaldamento potrebbe aver portato all'induzione della sintesi di prodotti secondari, compresi vari composti fenolici. Pertanto, i trattamenti di scottatura possono avere un effetto negativo sulle membrane cellulari che possono deteriorarsi in modi diversi, con cambiamenti nella composizione, nella struttura, nella funzione o nella perdita di funzionalità delle proteine (Gonzalez e Barrett, 2010).

La figura 3.2 mostra un confronto visivo di una fetta di mela di 2 mm per ogni intervallo di disidratazione a 70 °C. Il drastico cambiamento di colore può essere osservato fino ai 90 minuti di processo. In seguito, il cambiamento di colore sembra essere uniforme fino alla fine del processo di disidratazione. Il motivo potrebbe essere dovuto al minor tempo di esposizione all'aria (< 30 minuti) durante la fase di prelaborazione. Le cellule della mela contengono composti fenolici, che si trovano nei vacuoli, e l'enzima polifenolossidasi (PPO), che si trova nei plastidi. Il contatto tra fenoli e PPO innesca una reazione nota come imbrunimento enzimatico. I polifenoli vengono ossidati in chinoni dalla PPO. Questi fenoli e la PPO vengono poi polimerizzati con altri chinoni o fenoli per formare pigmenti bruni. Le variazioni di colore sono significativamente influenzate sia dall'attività del PPO che dalla concentrazione fenolica, ma l'importanza varia a seconda del tipo di mela (Holderbaum et al., 2010). Inoltre, il colore delle mele disidratate è influenzato sia dall'imbrunimento enzimatico che non enzimatico (Lavelli e Caronni, 2010). La reazione di Maillard avviene come una serie di reazioni chimiche tra zuccheri riduttori e composti amminici che si verificano in presenza di calore. Le principali variabili che influenzano l'entità della reazione di Maillard sono la temperatura e il tempo che dipendono dalle condizioni di lavorazione, così come dal pH, dall'attività dell'acqua e dal tipo e disponibilità dei reagenti, legati alle proprietà del prodotto ma che possono variare a seconda delle fasi di lavorazione degli alimenti e a seconda delle materie prime (Jaeger et al., 2010). Questo sta ad indicare l'evoluzione dei diversi meccanismi di imbrunimento nelle fette di mela e quindi ogni particolare varietà di mela può richiedere un corrispondente agente anti-imbrunimento e/o una minore esposizione all'aria a temperatura ambiente per evitare lo sviluppo del colore marrone.

Durante le fasi di trasformazioni come la pelatura, l'affettatura, la disidratazione, la composizione fenolica delle mele può essere modificata da reazioni ossidative (attività antiossidante dei fenoli e imbrunimento ossidativo). I composti fenolici agiscono come antiossidanti e substrati per le reazioni di imbrunimento ossidativo, provocate dalle polifenolossidasi (PPO) e dalle perossidasi (POD) che potrebbero eventualmente avere un impatto sulle qualità organolettiche e nutrizionali. Pertanto, la stabilità degli antiossidanti dovrebbe essere considerata durante la trasformazione di frutta e verdura. Per esempio: Henríquez, Córdova, Almonacid, & Saavedra, 2014, ha descritto un aumento della degradazione del contenuto fenolico totale nelle bucce di mela dovuto alle alte temperature durante un processo di disidratazione conduttivo. La degradazione dei polifenoli durante la disidratazione si verifica a causa di: (1) imbrunimento enzimatico o non enzimatico; (2) formazione di composti di ossidazione insolubili; (3) produzione di polimeri; e (4) decomposizione dei composti termolabili (Henríquez et al., 2014; Nicoli, Anese, &

Parpinel, 1999). Pertanto, un processo di disidratazione a lungo termine o a temperature più elevate influisce sulle proprietà antiossidanti e sui composti fenolici. Non esistono molti studi sulla degradazione delle fette di mela durante i processi di essiccazione. Tuttavia, il principio di base della degradazione dei componenti fenolici può essere studiato da altri prodotti. Ad esempio: la maggiore degradazione del contenuto polifenolico e antiossidante presente nelle vinacce di uva rossa è stata osservata alla temperatura più alta di disidratazione all'aria (superiore a 60 °C). La causa principale era dovuta al rilascio di composti fenolici legati, alla parziale degradazione della lignina che poteva portare al rilascio di derivati dell'acido fenolico e/o all'inizio della degradazione termica dei composti fenolici (Larrauri, Rupérez, & Saura-Calixto, 1997). Karaaslan et al., 2014 ha osservato un'elevata degradazione degli antociani e dei composti fenolici durante l'essiccazione sottovuoto a 75° C degli arilli di melograno, mentre a 55 °C, la conservazione del contenuto fenolico è stata la più alta. Inoltre, ulteriori pretrattamenti aggiuntivi, come il blanching, hanno portato ad una maggiore quantità di composti fenolici rispetto ai campioni non trattati durante i processi di disidratazione. In diversi studi sono state osservate minori perdite di composti fenolici a temperature inferiori a 60 °C di disidratazione ad aria calda: polpa di mela (Heras-ramírez, Quintero-ramos, Torres-muñoz, & Salas-muñoz, 2012); pericarpo del litchi (Kessy, Hu, Zhao, & Zhou, 2016); pesche e mele (Rababah, Ereifej, & Howard, 2005); cachi (Akyildiz, Zor-lugenc, Benli, Aksay, & Fenercioglu, 2008). I risultati dei diversi studi hanno dimostrato che temperature di disidratazione più elevate e tempi di essiccazione più lunghi distruggono i composti fenolici. Al contrario, gli acidi idrossicinnamici che si trovano in albicocche, mele e prugne presentano un maggiore contenuto di acido idrossicinnamico a temperature di disidratazione più elevate. Ciò è dovuto alla disattivazione delle ossidasi e alla creazione di nuovi cinnamati durante i processi di essiccazione (McSweeney & Seetharaman, 2015).

3.2. Carote

Saleh, R.

La carota è un prodotto orticolo molto importante per le persone di tutto il mondo. È il secondo ortaggio più consumato al mondo ed è stato identificato come l'ortaggio più sano grazie alla sua abbondanza di costituenti fitochimici come carotenoidi, vitamina C e minerali (Anon, 2011). Questi nutrienti forniscono benefici significativi per la salute umana in termini di capacità antiossidante, proprietà antitumorale, antinfiammatoria e molti altri (Zeb e Mahmood, 2004). Il principale produttore mondiale di carote è la Cina con una produzione mondiale di carote del 26,91% nel 2013, seguita da Russia e Germania (Jared & Lopez, 2016). La coltura è anche la seconda coltura più importante dopo il pomodoro nei paesi europei e la Germania si è classificata al secondo posto con 526.900 tonnellate metriche di produzione di carote nel 2015 (Anon, 2016). La carota viene consumata sempre fresca, ma può anche essere utilizzata come ingrediente nella preparazione di diverse miscele alimentari, specialmente nell'industria alimentare. Le carote sono utilizzate in molti piatti in tutto il mondo come stufati, zuppe, curry, insalate e possono anche essere incorporate in prodotti da forno come torte e pane. Il raccolto può essere

trasformato in vari prodotti come conserve, disidratati, succhi, bevande, caramelle e sottaceti (Aggarwal e Kaur, 2014).

Nazione	Produzione (tonnellate)
Francia	560,000
Germania	526,900
Spagna	410,900
Belgio	245,400
Denimarca	89,200
Irlanda	40,200
Grecia	32,500
Repubblica Ceca	23,500
Estonia	18,100
Bulgaria	7,900

Tabella 1.3.1: Produzione di carote nei paesi europei (2015) Fonte: EUROSTAT, 2016

Negli ultimi anni, lo sviluppo di prodotti a base di carote per l'industria sanitaria e cosmetica è stato costantemente incrementato grazie alle proprietà salutistiche dei carotenoidi, che sono i precursori della vitamina A. La maggior parte dei produttori di carote ha preferito essiccare il raccolto prima di procedere all'ulteriore lavorazione, perché la carota è un prodotto altamente deperibile con una breve durata di conservazione a condizioni ambientali. In considerazione di ciò, la disidratazione è l'operazione unitaria più importante nella lavorazione delle carote. Molti studi sono stati condotti sulla disidratazione delle carote con lo stesso obiettivo di mantenere il più possibile la qualità del prodotto e di minimizzare il consumo energetico per ridurre i costi complessivi di produzione.

Diverse tecniche di disidratazione con diverse modalità di essiccazione e parametri di regolazione sono state studiate da molti ricercatori per ottenere un prodotto di alta qualità in termini di aspetto fisico e contenuto nutritivo, in particolare per massimizzare la ritenzione dei carotenoidi nella carota. Il metodo più comune di disidratazione delle carote è l'essiccazione all'aria calda di varie forme di carote (Mulet et al, 1989; Ratti 1994; Krokida e Maroulis, 1997; Khraisheh et al, 1997; Lin et al, 1998). Questi autori hanno riportato diversi attributi di qualità prima della disidratazione. Il mantenimento della qualità della materia prima dopo l'essiccazione è molto importante per garantire la qualità e la valutazione del prodotto finito. Su questa base, c'è la necessità di sviluppare specifiche strategie di disidratazione delle carote al fine di mantenere le qualità che contribuiscono ai benefici per la salute. Preservare i composti bioattivi come i caro-

tenoidi durante l'essiccazione è molto importante per garantire i massimi benefici per la salute del consumatore. Molte ricerche sono state fatte sulle diverse tecniche di disidratazione della carota, ma sono stati trovati pochi studi sulla gestione delle diverse strategie di essiccazione in relazione alla qualità del prodotto, per il controllo e l'ottimizzazione del processo. L'inadeguatezza delle informazioni di disidratazione relative alla qualità del prodotto genererà i seguenti problemi:

- Sovraessiccazione che provoca danni meccanici alla struttura del prodotto, come eccessiva fragilità, collasso della struttura principale e polverizzazione, con conseguente perdita di qualità.
- Disidratazione inadeguata, il che significa che il contenuto di umidità finale ottenuto dopo il processo è superiore al requisito minimo. Ciò comporta una scarsa conservabilità a causa dell'attività microbica, dell'imbrunimento e della degradazione fitochimica.
- Inconsistenza nella qualità del prodotto a causa di una tecnica di disidratazione impropria. Questo porterà ad una bassa qualità del prodotto finale.
- La non uniformità di essiccazione dovuta alla configurazione geometrica e alle diverse proprietà termomeccaniche causerà una disidratazione non uniforme legata a delle differenze di spessore dello strato essiccato.
- Uso inefficiente dell'energia a causa di una selezione inappropriata di parametri che causano un consumo eccessivo di energia.
- Tempi di essiccazione eccessivi causati da una selezione inadeguata dei parametri di disidratazione, che genera una bassa efficienza di produzione, in termini quantitative, e una degradazione della qualità del prodotto.

3.2.1. Qualità delle carote disidratate

Le proprietà comunemente esaminate nelle carote disidratate possono essere classificate in due categorie principali: le proprietà ingegneristiche dei prodotti essiccati e la qualità fisico-chimica. Le proprietà ingegneristiche riguardano l'effettiva diffusività dell'umidità, l'effettiva conducibilità termica, il calore specifico e il contenuto di umidità all'equilibrio che sono essenziali nella progettazione dei processi alimentari e delle attrezzature, e l'ottimizzazione dei controlli di processo. La maggior parte delle qualità fisico-chimiche misurate nella carota essiccata comprende un certo numero di parametri quali il colore, la capacità di reidratazione, la perdita di carotenoidi e la vitamina C. Sebbene queste proprietà non siano necessarie per la previsione del tempo di disidratazione e la modellazione del processo, sono importanti per la caratterizzazione e la previsione della qualità del prodotto essiccato (Krokida e Maroulis, 2000). Sono anche molto importanti per lo sviluppo di nuovi prodotti industriali con le proprietà desiderate o per il miglioramento della qualità di quelli già esistenti. Quindi, questo articolo si concentrerà sulla qualità fisico-chimica delle carote essiccate.

3.2.2. Influenza dei pretrattamenti sulla qualità delle carot

I pretrattamenti prima della disidratazione, come la scottatura e l'immersione in soluzioni chimiche di acido citrico/ascorbico, cloruro di calcio e altre soluzioni sono stati documentati per ridurre al minimo la perdita di nutrienti nella carota. Diversi ricercatori hanno riferito che la perdita di carotene può raggiungere l'80% se il prodotto viene essiccato senza pretrattamenti (Sablani, 2006). Lo scopo principale dei pretrattamenti è quello di inattivare alcuni enzimi come le perossidasi e le catalasi che potrebbero causare il deterioramento dei nutrienti e la perdita di colore del prodotto (imbrunimento) (Shivare, et al. 2009). Il calore del blanching distrugge anche gli enzimi legati al colore come le ossidasi, le lipossigenasi e la clorofillasi e porta ad una migliore conservazione del colore nel prodotto disidratato (Cui et al., 2004). Anche la scottatura in acqua calda a temperature inferiori a 77°C per 20-30 minuti ha avuto un effetto positivo sulla struttura della carota rispetto alla scottatura a temperature maggiori di 100°C per 4-5 minuti (Lee et al., 1979). La scottatura in acqua calda a 95°C per 5 minuti è risultato essere il pretrattamento più efficace per inattivare le perossidasi nelle fette di carota con una buona ritenzione di carotenoidi (rispettivamente al 55%) (Shivare et al., 2009). La scottatura causa anche una riduzione di alcuni nutrienti come la vitamina C nella carota, in quanto il contenuto è stato ridotto al 38% dopo aver scottato il prodotto a 90°C per 7 minuti (Lin et al., 1998). Tuttavia, contraddizioni nella ricerca sono state osservate da Bogner et al. (1987) sulle fette di carota. L'autore ha scoperto che la scottatura a microonde delle fette di carota potrebbe trattenere il 100% di vitamina C rispetto alla scottatura ad acqua calda. Anche la carota scottata seguita dalla liofilizzazione ha mostrato una migliore qualità del colore, come riportato da Patras et al. (2011).

3.2.3. Influenza dei metodi di disidratazione e dei parametri di processo sulla qualità delle carote

Molti ricercatori hanno ampiamente documentato la conservazione della carota attraverso la rimozione dell'acqua fino ad un certo livello di sicurezza per lo stoccaggio, attraverso il processo di disidratazione. Una maggiore durata di conservazione e una riduzione significativa del volume del prodotto sono lo scopo principale dell'essiccazione. Tuttavia, la qualità del prodotto essiccato dipende in larga misura dai metodi di disidratazione e dai parametri di processo (Krokida e Maroulis, 2000). Il metodo più comune di disidratazione è l'essiccazione per convezione ad aria calda. Nella disidratazione ad aria calda, la perdita di qualità del prodotto per danno termico è direttamente proporzionale alla temperatura e alla durata (Vadivambal e Jayas, 2007). Temperature più elevate e tempi di essiccazione più lunghi possono causare una perdita della qualità in termini di sapore, colore, nutrienti e anche nella capacità di reidratazione del prodotto essiccato (Lin, et al., 1998; Vadivambal e Jayas, 2007; Drouzas et al., 1999). L'alta temperatura e i lunghi tempi di essiccazione causano la vaporizzazione dei composti volatili e la loro perdita con il vapore acqueo, con conseguente perdita di sapore del prodotto disidratato. Diversi livelli di perdita della qualità in termini di contenuto fisico e chimico della carota durante l'essiccazione sono stati osservati in numerose pubblicazioni di diversi ricercatori.

3.2.4. Qualità fisiche

La qualità fisica della carota secca si misura sempre in termini di restringimento, capacità di reidratazione e colore. Il parametro più comune è il cambiamento di colore della carota durante l'essiccazione. Secondo Kudra e Strumillo (1998), i cambiamenti di colore durante la disidratazione non sono solo a causa dell'evaporazione dell'acqua superficiale, ma anche a causa di alcune reazioni, come l'imbrunimento enzimatico, l'imbrunimento non enzimatico e le reazioni di caramellizzazione. Queste reazioni possono essere negative per molti prodotti; per questo motivo la conservazione del colore durante la disidratazione è lo scopo di diverse procedure, come lo spostamento della temperatura in intervalli specifici, la disidratazione intermittente e l'uso di acidi protettivi del colore. Prabhanjan et al. (1995) hanno osservato che il mantenimento del colore era migliore nelle carote essiccate al microonde rispetto alla disidratazione con aria calda. Osservazioni simili sono state riportate anche da Lin, et al. (1998). L'autore ha riportato che le fette di carota essiccate con aria calda erano più scure, con meno sfumature rosse e gialle rispetto a quelle liofilizzate e disidratate sottovuoto al microonde. I campioni liofilizzati avevano il massimo grado di luminosità, con una tinta gialla leggermente inferiore a quella dei campioni essiccati sottovuoto in microonde. L'aspetto più scuro dei campioni disidratati con aria calda rispetto ai campioni liofilizzati può essere dovuto all'esposizione al calore durante l'essiccazione. Si può anche pensare che i campioni essiccati con aria appaiano più scuri poiché la densità di queste fette era superiore a quella del prodotto liofilizzato, ottenendo una maggiore concentrazione di pigmento per volume di tessuto. Ciò è ulteriormente spiegato da Howard et al. (1996), secondo cui la luminosità della carota, indicata dal valore L^* dell'indice di cromaticità, durante l'essiccazione, è influenzata dalle temperature di lavorazione, con le temperature più elevate che provocano un colore più scuro. Un'osservazione analoga è stata riportata anche da Abbatemarco e Ramaswamy (1995). Krokida et al., (1998) che hanno studiato la cinetica di degradazione del colore della carota e hanno affermato che la colorazione gialla e quella rossa delle carote dipendono fortemente dalla temperatura e dall'umidità durante la disidratazione. Altri attributi qualitativi delle carote essiccate sono il restringimento e il tasso di reidratazione, che sono significativamente influenzati da parametri di processo come temperatura, velocità dell'aria e umidità relativa, come riportato da Hong et al., 2010. L'autore ha osservato che l'elevato rapporto di reidratazione della carota disidratata è stato osservato quando è stata essiccata a una temperatura inferiore ai 40°C con velocità dell'aria di 13,0 m/s e 40% RH. Studi sulla disidratazione di fette di sottili di carote utilizzando forno a microonde e essiccatore ad aria calda hanno inoltre dimostrato che il restringimento del prodotto era minimo con un'elevata capacità di reidratazione quando il prodotto veniva essiccato al massimo livello di potenza di applicazione del microonde (Prabhanjan et al., 1995).

3.2.5. Conservazione dei nutrienti

La disidratazione causa cambiamenti di qualità nella carota in termini di ritenzione di nutrienti e le informazioni possono essere trovate in letteratura, in molti lavori. La ritenzione nutrizionale della carota dopo l'essiccamento è sempre stata misurata in termini di contenuto di carotenoidi. I carotenoidi sono un importante indicatore nutrizionale nella carota disidratata ed sono sensi-

bili alla luce, all'ossigeno e agli enzimi (Cui et al., 2004). Questo autore ha anche spiegato che la temperatura e l'ossigeno possono causare una maggiore degradazione dei carotenoidi influenzando significativamente la ritenzione del colore nelle carote disidratate, mentre le lipossigenasi sono i principali enzimi coinvolti nella degradazione di questi composti. L'entità di tali degradazioni dipende molto dai pretrattamenti, dai metodi di disidratazione e dai parametri di processo (Cui et al., 2004). Park (1987) ha osservato una riduzione dei carotenoidi fino al 68% nella carota durante la disidratazione a microonde. Una temperatura più elevata di 150°C con un'essiccazione di breve durata (12,5 minuti) aveva mostrato perdite minime (del 15,7%) di carotenoidi nella carota (Mudhahar et al., 1989). Mohamed e Hussein (1994) hanno osservato che il contenuto di carotenoidi era più elevato se essiccati a 40°C per un periodo più lungo. L'autore suggerisce inoltre che i carotenoidi sono più sensibili alla temperatura di disidratazione rispetto al tempo. Abonyi et al. (2002) hanno osservato che, la disidratazione eseguita utilizzando il metodo Refractance window, potrebbe trattenere una quantità comparabile di vitamina C e carotenoidi nella carota rispetto alla liofilizzazione, ma è stata osservata una bassa ritenzione di carotenoidi nel prodotto essiccato in camera di disidratazione a causa del forte riscaldamento applicato durante il processo. La perdita di β -carotene nella carota è risultata inferiore al 58% e al 62% quando si utilizza un essiccatore a vapore surriscaldato a bassa pressione e un essiccatore sottovuoto rispetto alla disidratazione con aria calda (Suvarnakuta, et al., 2005). La disidratazione a 60°C con bassa velocità dell'aria (0,6 m/s) utilizzando un disidratatore ad armadio ha permesso di ottenere una migliore ritenzione (fino al 62%) in carote biologiche non sbiancate (Saleh, lavoro non pubblicato). Una degradazione dei carotenoidi superiore all'80% è stata osservata nella disidratazione a 80°C (Anthanasia e Konstantinos, 2010). Inoltre, alcuni ricercatori hanno essiccato la carota usando un essiccatore a letto fluido con diverse modalità di disidratazione, come riportato da Pan et al. (1999) e Brod et al. (1998). Un'elevata ritenzione di β -carotene nella carota è stata osservata quando è stata applicata una disidratazione a intermittenza rispetto ad un'essiccazione in continuo (Pan et al., 1999).

3.2.6. Osservazioni conclusive

Le perdite di qualità possono verificarsi durante i pretrattamenti e durante il processo di disidratazione stesso. La variazione delle diverse cultivar di carote avrà una notevole influenza sul mantenimento della qualità, poiché autori diversi hanno riferito di diverse varietà di carote ottenute da diverse parti del mondo, per cui i livelli di degradazione dei nutrienti dipendono in larga misura dalla natura della coltura e anche dalle condizioni ambientali in cui la coltura viene coltivata. I metodi di pretrattamento e i fattori che influenzano la perdita di qualità durante l'essiccazione sono stati identificati e discussi. In generale, i metodi di pretrattamento, le diverse tecniche di disidratazione e la selezione dei parametri di processo durante l'essiccazione influenzeranno in modo significativo il mantenimento della qualità. È necessario generare ulteriori dati sulla cinetica delle perdite di nutrienti durante l'essiccazione, al fine di sviluppare un modello di ottimizzazione per il controllo del processo lungo la catena di produzione. Sono inoltre necessarie ulteriori ricerche in termini di gestione delle diverse strategie di disidratazione al fine di sviluppare un processo migliore, per comprendere meglio le caratteristiche di essiccazione

e il suo effetto sulla qualità delle carote. È inoltre molto importante monitorare i cambiamenti fisiologici legati alla perdita di qualità delle carote durante il processo di disidratazione, al fine di individuare specifiche procedure per ridurre tali perdite, con l'obiettivo di ottenere in futuro un prodotto di alta qualità.



Figure 3.3: Fresh carrot slices



Figure 3.4: Blanched (upper row) and unblanched carrot slices

3.3. References

Abbatemarco, C. and Ramaswamy, H. S. (1995) End-over-end thermal processing of canned vegetables: Effect on texture and color. *Food Research International* 27, 327–234.

Abonyi, B. I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Chew, B. P., Mattinson, D. S., & Fellman, J. K. (2002). Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system.

Journal of Food Science, 67(3), 1051-1056.

Aggarwal, P. and Kaur, R. (2014). Development of intermediate moisture product from carrot pulp. *American Journal of Food Science & Nutrition Research* 1(6) : 52 – 59.

Akyildiz, A., Zorlugenc, F. K., Benli, H., Aksay, S., & Fenercioglu, H. (2008). Changes in color and total phenolic content of different cultivars of persimmon during dehydration. *International Journal of Food Engineering*, 4(7). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1199>

Alberti, A., Zielinski, A. A. F., Zardo, D. M., Demiate, I. M., Nogueira, A., & Mafra, L. I. (2014). Optimization of the extraction of phenolic compounds from apples using response surface methodology. *Food Chemistry*, 149, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.086>

Anon (2011). Agricultural Marketing Resource Center (AgMRC). Carrot Profile. 2011; Iowa State University, Ames, IO. Available online at: <http://www.agmrc.org>.

Anon (2016). EUROSTAT – Statistics Explained. Available online at http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Agricultural_production_-_crops

Athanasia, M.G. and Konstantinos, G.A.(2010). Kinetic models of B-carotene degradation during air drying of carrots. *Drying Technology*, 28(6) : 752 – 761.

Bennett, L. E., Jegasothy, H., Konczak, I., Frank, D., Sudharmarajan, S., & Clingeleffer, P. R. (2011). Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of Functional Foods*, 3(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.03.005>

Bognar, A., Grunauer, A., & Doll, D. (1987). Comparative-studies on the influence of microwave blanching and conventional blanching on the sensory and nutritive quality of vegetables. *Ernahrungs-Umschau*, 34(5), 168-176.

Brod, F.P.R., Alonso, L.F.T., Rosa, R.H.C., Minagawa, F.K. and Park, K.J. 1998. Carrot Drying in a Vibro-Fluidized Dryer. *Drying'98—Proceedings of the 11th International Drying Symposium*. 1998, Halkidiki, Greece. Vol. V B., pp.1237–1243.

Cui, Z. W., Xu, S. Y., & Sun, D. W. (2004). Effect of microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves. *Drying Technology*, 22(3), 563-575.

Drouzas, A. E., & Schubert, H. (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of food Engineering*, 28(2), 203-209.

Feliciano, R. P., Antunes, C., Ramos, A., Serra, A. T., Figueira, M. E., Duarte, C. M. M., ... Bronze, M. R. (2010). Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1 - Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.12.004>

Garau, M. C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Food Chemistry Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v . *Canoneta*) by-products, 104, 1014–1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.009>

Gonzalez, M.E., Barrett, D.M., 2010. Thermal, high pressure, and electric field processing effects on plant cell membrane integrity and relevance to fruit and vegetable quality. *J. Food Sci.* 75. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01763.x>

Hecke, K., Herbinger, K., Veberic, R., Trobec, M., Toplak, H., Stampar, F., Keppel, H., Grill, D., 2006. Sugar-, acid- and phenol contents in apple cultivars from organic and integrated fruit cultivation. *Eur. J. Clin. Nutr.* 60, 1136–1140. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602430>

Henríquez, C., Córdova, A., Almonacid, S., & Saavedra, J. (2014). Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. *Journal of Food Engineering*, 143, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.037>

Heras-ramírez, M. E., Quintero-ramos, A., Torres-muñoz, J. V., & Salas-muñoz, E. (2012). Effect of Blanching and Drying Temperature on Polyphenolic Compound Stability and Antioxidant Capacity of Apple Pomace, 2201–2210. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0583-x>

Hiranvarachat, B., Suvarnakuta, P. and Devahastin S. (2008). Isomerisation kinetics and antioxidant activities of B-carotene in carrot undergoing different drying techniques and conditions. *Food Chemistry*, 107: 1538 – 1546.

Holderbaum, D.F., Kon, T., Kudo, T., Guerra, M.P., 2010. Enzymatic browning, polyphenol oxidase activity, and polyphenols in four apple cultivars: Dynamics during fruit development. *HortScience* 45, 1150–1154.

Hong, W.X., Zhen, J.G., Hai, L. and Wen, X.Y. (2005). Air impingement drying characteristic and quality of carrot cubes. *Journal of Food Process Engineering*, 33: 899 – 918.

Hongjie, P., Zhenfeng, L., Ju Hui and Vijaya Raghavan, G.S. (2016). Effect of relative humidity on microwave drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 190: 162-175.

Howard, L. R., Braswell, D. D. and Aselage, J. (1996) Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science* 61, 327–330.

Ibrahim, D. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* : 359 – 364.

Jaeger, H., Janositz, A., Knorr, D., 2010. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathol. Biol. (Paris)*. 58, 207–13. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2009.09.016>

Janowicz, M., Lenart, A., 2018. The impact of high pressure and drying processing on internal structure and quality of fruit. *Eur. Food Res. Technol.* 0, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3047-y>

Jared, A.P and Jose, A.L. (2016). An analysis of the global vegetables market: Tomatoes, carrots, cauliflower, lettuce, onions and spinach. A publication of Texas A&M University. Available online at <https://faculty.tamuc.edu/jlopez/documents/2016Pathways-Peckham-et-al.pdf>.

Juana, F., Elena, P., Monica, U. and Concepcion V.V. (2010). Influence of drying by convective air dryer or power ultrasound on the vitamin C and B-carotene contents of carrots. *J.Agric. Food Chem.* 58 : 10539-10544.

Karaaslan, M., Yilmaz, F. M., Cesur, Ö., Vardin, H., Ikinici, A., & Dalgiç, A. C. (2014). Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 595–605. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12342>

Kessy, H. N. E., Hu, Z., Zhao, L., & Zhou, M. (2016). Effect of steam blanching and drying on phenolic compounds of litchi pericarp. *Molecules*, 21(6). <https://doi.org/10.3390/molecules21060729>

Khanizadeh, S., Tsao, R., Rekika, D., Yang, R., Charles, M. T., & Vasantha Rupasinghe, H. P. (2008). Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for pro-

cessing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(5), 396–401. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.03.004>

Khraisheh MAM, Cooper TJR, Magee TRA. (1997). Shrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combined microwave and convective air conditions. *Drying Technol* 15(3–4):1003–21. Krokida MK, Maroulis ZB. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technol* 15(10):1145–55.

Krokida, M. K., Tsami, E., & Maroulis, Z. B. (1998). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *Drying Technology*, 16(3-5), 667-685.

Krokida, M., & Maroulis, Z. (2000). Quality changes during drying of food materials. *Drying technology in agriculture and food sciences*, 61-106.

Kudra, T. and Strumillo, C. (eds.), 1998. *Thermal Processing of Bio-materials*, Gordon and Breach Sci Publ., Amsterdam, The Netherlands, 669p.

Kumar, H.S.P., Radhakrishna, K., Nagaraju, P.K. and Vijaya Rao, D. (2001). Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot & pumpkin. *Journal of Food Processing Preservation*, 25: 447-460.

Lacueva, A., Urpi Sarda, M., Kviklys, D., Liaudanskas, M., Viškelis, J., Buskiene, L., ... Ma, F. (2014). Phenolic Profiles and Contribution of Individual Compounds to Antioxidant Activity of Apple Powders. *Food Chemistry*, 123(4), 157–164. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13277>

Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Vouland, É., Dufossé, L., Guérard, F., 2008. Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. *Food Chem.* 111, 1032–1042. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.033>

Larrauri, J. A., Rupérez, P., & Saura-Calixto, F. (1997). Effect of Drying Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1390–1393. <https://doi.org/10.1021/jf960282f>

Lavelli, V., Caronni, P., 2010. Polyphenol oxidase activity and implications on the quality of intermediate moisture and dried apples. *Eur. Food Res. Technol.* 231, 93–100. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1256-0>

Lee, C. Y. (2012). Common Nutrients and Nutraceutical Quality of Apples, 4–9.

Lee, C. Y., Bourne, M. C., & Buren, J. V. (1979). Effect of blanching treatments on the firmness of carrots. *Journal of Food Science*, 44(2), 615-616.

Lin, T. M., Durance, T. D., & Scaman, C. H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and

freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31(2), 111-117.

McSweeney, M., & Seetharaman, K. (2015). State of Polyphenols in the Drying Process of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(5), 660–669. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.670673>

Mohamed, S.; Hussein, R. Effect of low temperature blanching, cysteine-HCl, N-acetyl-L-cysteine, Na metabisulphite and drying temperatures on the firmness and nutrient content of dried carrots. *Journal of Food Processing and Preservation* 1994, 18, 343–348.

Mudahar, G. S., Toledo, R. T., Floros, J. D., & Jen, J. J. (1989). Optimization of carrot dehydration process using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 54(3), 714-719.

Mulet A, Berna A, Rosello C, Pinaga F. 1989. Drying carrots. II. Evaluation of drying models. *Drying Technol* 7(4):641–61.

Navneet, K., Sarkar, B.C and Sharma, H.K. (2012). Mathematical modeling of thin layer hot air drying of carrot. *J. Food Sci. Technol.* 49(1) : 32 – 41.

Nicoli, M., Anese, M., & Parpinel, M. (1999). Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 94–100.

Nuray, K., Hande, S.B. and Feryal. K. (2007). Kinetics of color changes in dehydrated carrots. *Journal of Food Engineering*, 78 : 449 – 455.

Oszmiański, J., Wojdyło, A., & Lachowicz, S. (2016). Effect of dried powder preparation process on polyphenolic content and antioxidant activity of blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica*). *LWT - Food Science and Technology*, 67, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.051>

lwt.2015.11.051

Pan, Y.K, Wu, H., Li, Z.Y., Mujumdar, A.S. and Kudra, T. (1997). Effect of tempering period on drying of carrot in a vibro fluidized bed. *Drying technology*, 15(6-8): 2037 – 2043.

Pan, Y.K., Zhao, L.J., Dong, Z.X., Mujumdar, A.S. and Kudra, T. (1999). Intermittent drying of carrot in vibrated fluid bed : Effect on product quality. *Drying technology*, 17(10): 2323 – 2340.

Park, Y. W. (1987). Effect of freezing, thawing, drying, and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach. *Journal of Food Science*, 52(4), 1022-1025.

Patras, A., Tiwari, B. K., & Brunton, N. P. (2011). Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans

and broccoli. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 299-306.

Prabhanjan, D. G., Ramaswamy, H. S., & Raghavan, G. V. (1995). Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food engineering*, 25(2), 283-293.

Rababah, T. M., Ereifej, K. I., & Howard, L. (2005). Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4444–4447. <https://doi.org/10.1021/jf0502810>

Ratti, C. (1994). Shrinkage during drying of food stuffs. *Journal of Food Engineering*, 23(1): 91-105

Raudone, L., Raudonis, R., Liaudanskas, M., Viskelis, J., Pukalskas, A., & Janulis, V. (2016). Phenolic Profiles and Contribution of Individual Compounds to Antioxidant Activity of Apple Powders. *Journal of Food Science*, (August). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13277>

Regier, M.; Mayer-Miebach, E.; Behnlian, D.; Neff, E.; Schuchmann, H.P. Influences of drying and storage of lycopene rich carrots on the carotenoid content. *Drying Technology* 2005, 23 (4), 989–998.

Sablani, S. S. (2006). Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Drying technology*, 24(2), 123-135.

Shivhare, U. S., Gupta, M., Basu, S., & Raghavan, G. S. V. (2009). Optimization of blanching process for carrots. *Journal of food process engineering*, 32(4), 587-605.

Singhanat, P. And Jeeranan, W. (2010). Desorption isotherms and drying characteristics of carrot using tray and heat pump assisted dehumidified drying. *KKU Res J.* 15(3): 171-180.

Sra, S. K., Sandhu, K. S., & Ahluwalia, P. (2011). Effect of processing parameters on physico-chemical and culinary quality of dried carrot slices. *Journal of food science and technology*, 48(2), 159-166.

Suvarnakuta, P.; Devahastin, S.; Mujumdar, A.S. Drying kinetics and b-carotene degradation in carrot undergoing different drying processes. *Journal of Food Science* 2005, 70 (8), S521–S526.

Tsao, R., Yang, R., Xie, S., Sockovie, E., & Khanizadeh, S. (2005). Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), 4989–4995. <https://doi.org/10.1021/jf048289h>

Tsao, R., Yang, R., Young, J. C., & Zhu, H. (2003). Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography {(HPLC)}. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(21), 6347–6353. <https://doi.org/10.1021/jf0346298>

Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems engineering*, 98(1), 1-16.

Valeria, S.E., Carmen, R., Antoni, F. and Susana, S. (2011). Moisture sorption isotherm and thermodynamic properties of carrot. *International Journal of Food Engineering*, 7(3), Article 13.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Di Scala, K. (2012). Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chemistry*, 132(1), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.029>

Vera, L., Bruno, Z. and Anna, Z. (2007). Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrot. *Food Chemistry*, 104: 1705-1711.

Witrowa-Rajchert, D., & Rząca, M. (2009). Effect of Drying Method on the Microstructure and Physical Properties of Dried Apples. *Drying Technology*, 27(7–8), 903–909. <https://doi.org/10.1080/07373930903017376>

Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 609–614. <https://doi.org/10.1021/jf020782a>

Zeb, A., and S. Mahmood. 2004. Carotenoids Contents from Various Sources and Their Potential Health Applications. *Pakistan Journal of Nutrition*. 3:199-204. <http://dx.doi.org/10.3923/pjn>.

Zielinska, M. and Markowski, M. (2012). Color characteristics of carrots: Effect of drying and rehydration. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 450-466

I.2 STRATEGIE, PROCESSI ED ENERGIA PER LA DISIDRATAZIONE

4. Raccomandazioni ed esperienze pratiche di disidratazione (migliori pratiche di lavorazione)

University of Kassel, Department for Agricultural and Biosystems Engineering, Germany
Meridian Fruchthandelsgesellschaft mbH, Germany
Sturm, B., Esper, A.

4.1. Background

Attualmente, in particolare nella produzione su piccola e media scala, l'assetto tecnologico tende ad essere trascurato. Le impostazioni di processo si basano su valori empiricamente riscontrati che potrebbero essere stati trovati decenni fa. I tempi di essiccazione tendono ad essere più lunghi del necessario, il che, in combinazione con un isolamento non ottimale e la gestione del flusso d'aria, porta ad un aumento del fabbisogno energetico.

I produttori devono reagire alle mutevoli richieste dei clienti, utilizzando sistemi preesistenti, il che, in molti casi, porta ad un'ulteriore diminuzione dell'efficienza complessiva dei processi coinvolti. Nella maggior parte dei processi, le informazioni relative ai prodotti non vengono monitorate, ma il processo viene trattato come una scatola nera. Tuttavia, esiste un grande potenziale per lo sviluppo di processi che includano informazioni sul prodotto, ad esempio utilizzando la temperatura del prodotto come mezzo diretto di misurazione delle variazioni delle caratteristiche fisico-chimiche del prodotto stesso.

Gli obiettivi per un'essiccazione ottimizzata possono essere dedotti direttamente da quanto detto sopra. È necessario un controllo mirato del processo in termini di particolari caratteristiche del prodotto (ad es. colore, ritiro, composizione chimica). Le soluzioni devono essere facilmente implementabili nella pratica. È necessario trovare dei modi per ridurre il fabbisogno energetico. Con una riduzione dei tempi di lavorazione è possibile aumentare la produttività del sistema. Lo scopo di questo capitolo è quello di fornire consigli su come ottimizzare le prestazioni dei disidratatori esistenti e, di conseguenza, la qualità del prodotto attraverso l'attuazione di una serie di misure applicabili.

4.2. Raccomandazioni

4.2.1. Fasi del processo di disidratazione

A seconda della materia prima in questione e delle caratteristiche previste per il prodotto finale, oltre alla disidratazione vera e propria, sono previste diverse fasi di lavorazione (figura 4.1). È molto importante comprendere l'impatto di ciascuna di queste fasi sullo sviluppo della qualità del prodotto, ma anche l'efficacia del processo e, di conseguenza, la richiesta di risorse.

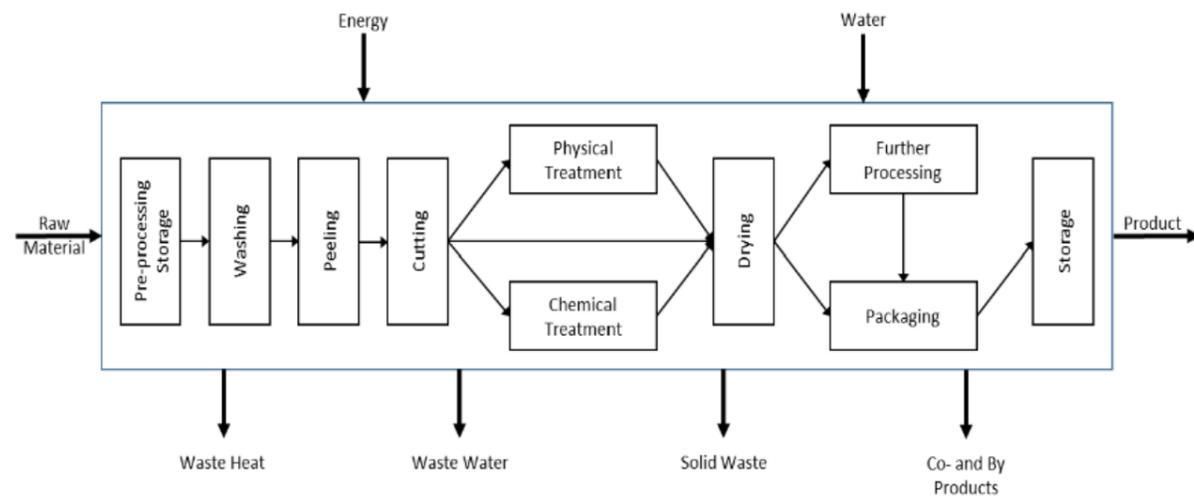


Figure 4.1: Panoramica delle fasi di lavorazione nella produzione di prodotti agricoli disidratati (Sturm, 2017)

Come già detto, ogni fase del processo di disidratazione ha un'influenza decisiva sulla qualità del prodotto finale, ma anche sull'efficacia del processo stesso.

4.2.2. Conservazione del prodotto prima del processo

In generale, esistono due tipi di prodotti agricoli a base vegetale. Prodotti altamente suscettibili al deterioramento (ad es. erbe, piante medicinali, luppolo) e altri che possono essere conservati per periodi di tempo prolungati (ad es. mele, carote, patate). Tutte le materie prime, tuttavia, subiscono cambiamenti significativi durante il periodo di conservazione. Pertanto, è di grande importanza ridurre il più possibile il tempo di stoccaggio prima della lavorazione e fornire le migliori condizioni pratiche attuabili durante questo periodo di tempo:

- Materiali altamente suscettibili (che saranno ulteriormente elaborati nel caso di "best practice")
 - Assicurarsi che gli utensili da raccolta e da taglio siano affilati
 - I coltelli seghettati causano danni significativi al materiale
 - Se possibile, asciugare i materiali immediatamente dopo il processo di raccolta
 - Se la lavorazione immediata non è possibile, assicurarsi che il materiale sia sufficientemente aerato per tutto il tempo di stoccaggio per evitare la essudazione e l'aumento dell'attività dei microrganismi
 - Prevedere un sistema di ventilazione appropriato
- Prodotti adatti alla conservazione
 - Un adeguato stoccaggio in atmosfera controllata e refrigerata può ridurre la velocità di deterioramento, ma non fermarlo del tutto. Condizioni di stoccaggio inadeguate, tutta-

via, accelerano i processi deteriorativi.

- Lavorare la materia prima il più presto possibile dopo la raccolta per mantenere la massima qualità possibile della materia prima.
- Assicurarsi che le condizioni di stoccaggio siano adeguate se è necessario uno stoccaggio a lungo termine.

4.2.3. Preparazione del prodotto

Soprattutto nella frutta, nella verdura e nella carne, la preparazione della materia prima richiede diversi processi meccanici come la pelatura e il taglio. Questi processi portano ad una miscela di componenti chimici che, all'interno e tra le cellule, vengono separati allo stato naturale. Inoltre, la superficie di taglio è esposta all'aria circostante, fornendo ossigeno che accelera le reazioni. Queste reazioni di solito portano a cambiamenti di colore che sono indicativi di una perdita di qualità.

L'utilizzo di strumenti adeguati (es. affettatrici, taglierine ecc.) può contribuire a ridurre questi effetti negativi attraverso la riduzione delle rotture incontrollate della parete cellulare. In questo contesto diversi aspetti sono di grande importanza per garantire una qualità ottimale:

- Evitare dispositivi di taglio che si basano su un'elevata pressione meccanica (es. lama di taglio che deve essere spinta verso il basso con forza): la pressione può provocare ammaccature sul lato d'urto e sul lato che si trova sul tagliere.
- Utilizzare lame lisce, evitare lame seghettate (sarà distruttivo per la struttura della materia prima).
- Affilare regolarmente il dispositivo di taglio: un coltello non affilato provoca la rottura della struttura nella superficie di taglio rispetto a un coltello affilato e porta ad un maggiore imbrunimento.
- Se possibile utilizzare coltelli in ceramica
- Pulire regolarmente il dispositivo di taglio quando la preparazione della materia prima richiede tempi significativi: nel tempo, sulla lama, si accumulano sostanze che reagiscono con l'ambiente circostante. Parti di queste sostanze vengono poi trasferite sulle superfici di taglio, con conseguente aumento dei processi deteriorativi. La manipolazione della carne può anche portare ad un aumento della contaminazione microbica.

4.2.4. Pre-trattamento

Come descritto nei capitoli precedenti, esistono diversi mezzi di pretrattamento delle materie prime per ridurre gli effetti negativi dell'aria circostante durante la preparazione e la lavorazione. Si tratta dell'uso di antiossidanti naturali o di scottatura. L'uso di antiossidanti, come l'acido ascorbico o l'acido citrico, è spesso efficace per la ritenzione del colore e dei componenti naturalmente presenti; tuttavia, i costi possono essere significativi. Al contrario, nella scottatura, la spesa è una volta sola per l'acquisto del dispositivo e inoltre il processo si basa sull'utilizzo di

acqua. Tuttavia, come descritto nei capitoli precedenti sulla qualità dei prodotti, con la scottatura vi è un certo impatto dei processi di degradazione causati dalle temperature. Nel caso degli enzimi responsabili dell'imbrunimento enzimatico e di altri processi di degradazione, questo effetto è ricercato. Tuttavia, per molti altri componenti è indesiderato.

- Antiossidanti naturali
 - Le concentrazioni raccomandabili dipendono fortemente dal prodotto in questione, dalla qualità della materia prima e dalla sua eterogeneità.
 - L'efficacia dipende da:
 - Tempi di attesa prima della disidratazione
 - Condizioni del processo di disidratazione
 - In alcuni casi non è visibile alcun vantaggio apparente del pretrattamento.
- Blanching
 - Il degrado dei componenti chimici è funzione della temperatura e del tempo.
 - La scottatura a basse temperature per un tempo prolungato danneggia in modo significativo i preziosi componenti termosensibili della materia prima.
 - Periodi di scottatura prolungati portano alla lisciviazione dei componenti dalla materia prima all'acqua utilizzata per il pretrattamento.
 - Elevata temperatura - si consiglia una breve scottatura per aumentare la qualità della materia prima. I test condotti all'interno di SusOrganic hanno dimostrato che l'approccio di scottatura meno dannoso per le carote affettate (spessore 5 mm) sarebbe di 90°C - 95°C per meno di 1,5 e 3 minuti, rispettivamente.
 - Utilizzare la scottatura solo se assolutamente necessario:
 - Di solito la ritenzione dopo l'essiccazione è inferiore a quella dei campioni non pretrattati.
 - Blenciare quando è previsto un lungo periodo di conservazione: la degradazione dei campioni non pretrattati è superiore a quella dei campioni blencati.
 - Blenciare quando non è possibile lavorare la materia prima immediatamente dopo il taglio; vedere le sezioni successive Selection of variety
 - Selezione delle varietà
 - Scegliere varietà meno suscettibili alle ossidazioni

4.2.5. Tempo di attesa tra la preparazione e la disidratazione

Nella frutta e verdura il tempo che intercorre tra il taglio e la disidratazione ha un impatto significativo sul conseguente imbrunimento enzimatico. Se si utilizza un disidratatore ad armadio, un'accortezza facilmente implementabile è quella di avviare immediatamente il processo di es-

siccazione e di inserire ogni singolo vassoio, non appena viene riempito. Questo ridurrà significativamente il periodo di tempo in cui il prodotto può iniziare ad imbrunire. Tuttavia, l'approccio del riempimento graduale del disidratatore comporta anche la necessità di rimuovere gradualmente nel tempo, i vassoi piuttosto che fermare il processo in una sola volta.

- Trasferire, immediatamente dopo il taglio, la materia prima nel disidratatore una volta che un vassoio è pieno

La domanda di energia non sarà influenzata in modo significativo da questo approccio in quanto il processo di disidratazione viene solitamente accelerato per le singole particelle. In pratica, i disidratatori sono spesso sovraccaricati rispetto alla capacità del disidratatore stesso di rimuovere l'acqua dal sistema, il che porta ad un aumento del tempo di essiccazione e contemporaneamente dei processi di deterioramento.

4.2.6. Influenza dello spessore delle fette

Il riscaldamento e il trasferimento dell'acqua dalle particelle del prodotto dipende fortemente dalla loro geometria. Anche se potrebbe sembrare meglio avere particelle spesse, in quanto ciò significa meno tempo di preparazione e una maggiore capacità del disidratatore, questo spesso ha effetti molto negativi sulla qualità del prodotto a causa dell'aumento dei tempi di essiccazione. Come dimostrato da prove scientifiche e pratiche, una riduzione dello spessore delle particelle del 50% porta ad una riduzione dei tempi di essiccazione fino al 70%. Un esempio di essiccazione delle mele è riportato di seguito (Figura 4.2).

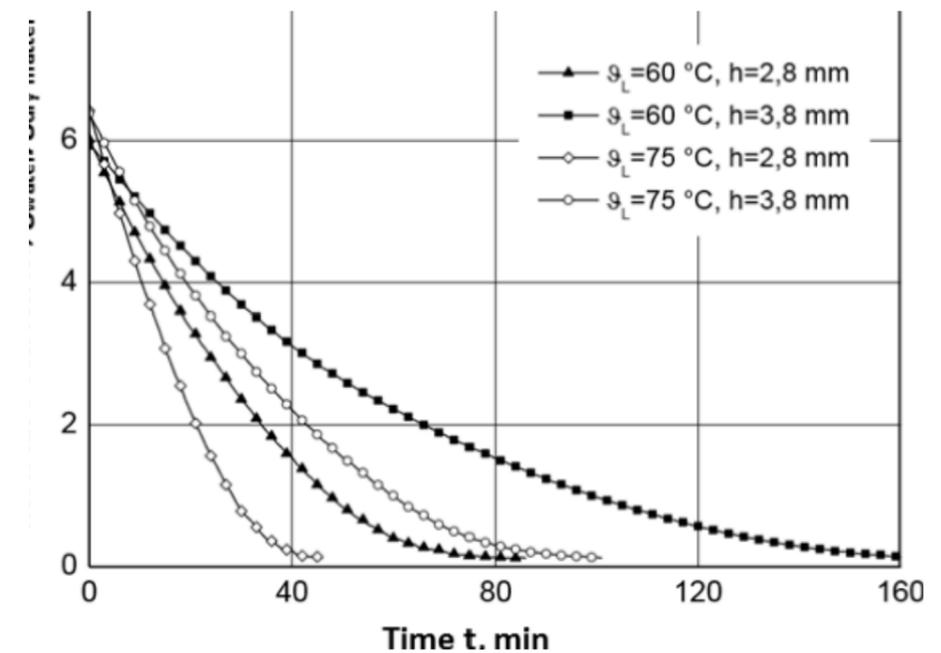


Figure 4.2: Drying behaviour depending on slice thickness and temperature (adapted from Sturm, 2010)

- Ridurre lo spessore delle particelle per aumentare l'efficienza di essiccazione e la qualità del prodotto
- Stabilire il rapporto costi-benefici dell'aumento del carico di lavoro in preparazione

4.2.7. Disidratazione

Come discusso in precedenza, le variazioni del prodotto sono in funzione della temperatura e del tempo. Ciò significa che una lavorazione prolungata a temperature molto basse potrebbe avere un impatto maggiore sulla degradazione del prodotto rispetto ad un processo di essiccazione con un tempo più breve.

I disidratatori ad armadio spesso mostrano problemi di distribuzione dell'aria non uniforme sia tra vassoi che nel singolo vassoio. Questo porta ad una situazione in cui i vassoi devono essere cambiati, a volte ripetutamente. Ove possibile, il sistema fisico dovrebbe essere modificato per garantire una distribuzione uniforme dell'aria, riducendo progressivamente la larghezza del canale dell'aria come indicato nella figura 4.3 o adottando altre misure appropriate.



Figura 4.3: Distribuzione del flusso d'aria in un disidratatore ad armadio (Innotech Ingenieursgesellschaft mbH)

I disidratatori sono progettati con una determinata portata massima di calore e capacità del ventilatore. Il risultato è una capacità di essiccazione massima definita. All'inizio del processo, quando il prodotto è ancora molto umido, la quantità di acqua che deve essere rimossa al minuto è un multiplo rispetto a quella delle fasi successive. E' quindi di grande importanza non sovraccaricare l'essiccatore.

In molti casi i ventilatori sono sottodimensionati rispetto ai riscaldatori. Ciò significa che il flusso d'aria non può trasportare l'acqua evaporata lontano dal prodotto. Di conseguenza, l'acqua si condensa sulla superficie delle particelle del prodotto, favorendo la degradazione.

- Assicurare che la distribuzione dell'aria nell'essiccatore sia uniforme, altrimenti ci saranno grandi differenze nel contenuto di umidità finale e nella qualità del prodotto.
- Interrompere la disidratazione quando viene raggiunto il contenuto di umidità desiderato
 - Utilizza le tue conoscenze
 - Dispositivi di misura a basso costo attualmente non sono presenti sul mercato
- Evitare il sovraccarico → controllare la portata del ventilatore e del riscaldatore
- Ridurre la temperatura di disidratazione all'inizio del processo se la capacità del ventilatore è troppo bassa per trasportare via l'acqua.
- Se possibile, investire in ventilatori a velocità variabile con capacità sufficiente per l'avvio della disidratazione.

4.2.8. Migliori pratiche per la lavorazione del luppolo e delle erbe aromatiche

Il luppolo e le erbe aromatiche sono generalmente essiccati in grandi disidratatori, dove l'aria entra nel sistema dal basso. A seconda dei volumi trattati, possono essere utilizzati disidratatori multi-stadio. Il seguente esempio di buone pratiche illustra facilmente le misure per l'aumento della produttività e della qualità del prodotto.

4.2.8.1. Preparazione / manipolazione delle materie prime

Le erbe e il luppolo sono estremamente sensibili al degrado dopo la raccolta. In linea di massima, per garantire una qualità finale accettabile del prodotto finale, esse devono essere disidratate, al massimo, dopo 4 ore dalla raccolta. Anche le condizioni di conservazione durante questo periodo hanno un impatto significativo sulle degradazioni. Se la materia prima viene stoccata, è necessario assicurarsi che la massa sia sufficientemente aerata per evitare l'accumulo di umidità libera. La figura 4.4 mostra un esempio di foglie di luppolo che sono state conservate in modo ottimale prima dell'essiccazione (a sinistra) e foglie di luppolo non aerate e, che quindi, hanno iniziato a „sudare“ (a destra), il che ha determinato un deciso cambiamento di colore. Questo a sua volta indica cambiamenti chimici significativi all'interno del prodotto.



Figura 4.4: Luppolo conservato in maniera ottimale (a sinistra) e luppolo conservato in maniera non ottimale prima dell'essiccazione (Münsterer, 2015)

4.2.8.2. Pre-lavorazione

Se le erbe vengono tritate prima della disidratazione per aumentare il tasso di essiccazione, la qualità del prodotto potrebbe risentirne significativamente, poiché le superfici tagliate permettono reazioni enzimatiche che altrimenti non potrebbero verificarsi.

4.2.8.3. Disidratazione

4.2.8.3.1. Distribuzione dell'aria

L'uniformità della distribuzione dell'aria è fondamentale per una disidratazione uniforme del prodotto. Per questo motivo è della massima importanza adottare tutte le misure concretamente realizzabili se il problema della distribuzione non uniforme è noto. La figura 4.5 illustra i problemi di un'errata progettazione dell'ingresso dell'aria di un disidratatore a flusso continuo comunemente usato per l'essiccazione delle erbe e del luppolo. Con una diminuzione della velocità dell'aria (e quindi della portata volumetrica) da sinistra a destra, il tempo di essiccazione aumenta significativamente.

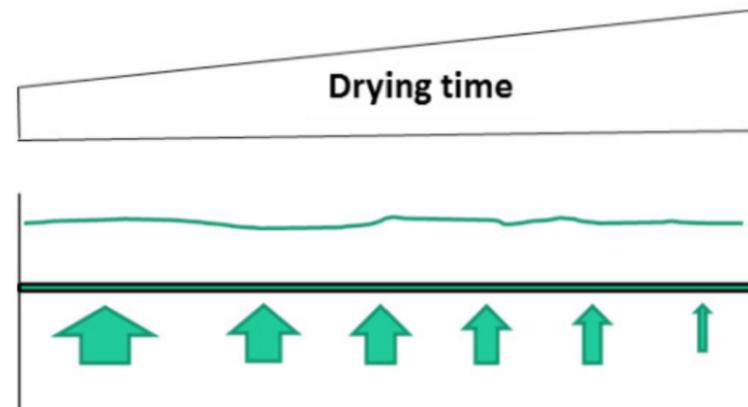


Figura 4.5: Effetto di una distribuzione non uniforme dell'aria sul tempo di essiccazione su tutta la lunghezza di un essiccatore (Sturm, 2017b)

In pratica, i produttori cercano spesso di compensare queste condizioni disomogenee attraverso una regolare redistribuzione del prodotto da essiccare. Si tratta di un'attività molto laboriosa ed estenuante, soprattutto se si considera che la temperatura ambiente può raggiungere i 40-45°C e l'umidità dell'aria fino al 100%. Queste azioni mitigano in una certa misura il problema, ma non porteranno mai ad un risultato in termini di tempo di essiccazione e di qualità del prodotto, cos'acche invece darebbe una distribuzione uniforme dell'aria. Pertanto, ove possibile, è necessario adottare misure per garantire che l'aria di essiccazione sia distribuita in modo uniforme.

Tra i disidratatori a flusso, quelli multi-stadio, oltre quelli a singolo stadio, sono ampiamente diffusi nella lavorazione delle erbe e del luppolo. In questi disidratatori di solito solo la fase superiore (riempimento di materiale fresco) e quella inferiore (rimozione del prodotto finale) sono

accessibili al trasformatore. Il luppolo viene riversato attraverso le fasi che portano però, ad una distribuzione disomogenea del materiale e, di conseguenza, ad un'essiccazione non uniforme e allo sviluppo di „punti caldi“ ad alto contenuto di umidità (come mostrato in Figura 4.6).

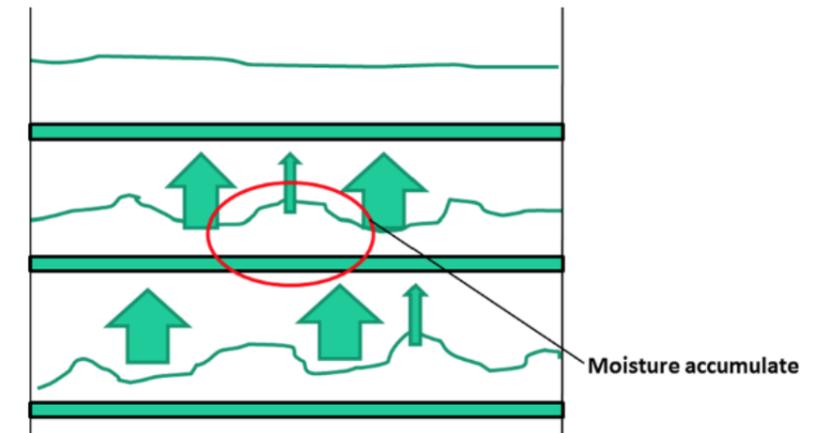


Figura 4.6: Distribuzione dei prodotti e distribuzione del flusso d'aria in un essiccatore multistadio (Sturm, 2017b)

4.2.8.3.2 Altezza / peso della massa

Il tempo di asciugatura, le variazioni di temperatura attraverso la massa e lo sviluppo di umidità nell'aria dipendono direttamente dal maggiore peso specifico della materia prima (vedi Figura 4.7). L'aria che passa attraverso la massa trasferisce calore al prodotto e rimuove l'acqua dalla sua superficie. Questo porta ad una diminuzione simultanea della temperatura dell'aria e della sua umidità relativa. Più materiale viene messo nel disidratatore, maggiori saranno la diminuzione della temperatura, l'aumento dell'umidità dell'aria e la durata del processo di essiccazione. In questo contesto è fondamentale garantire che l'acqua rimossa dagli strati inferiori della massa non si ricondensi negli strati superiori (strati ancora più freddi). Allo stesso tempo, tutta l'acqua presente sulla superficie del prodotto negli strati superiori, deve essere rimossa in modo efficace. Ciò può essere ottenuto aumentando la portata d'aria (portata volumetrica specifica) all'inizio del processo, quando il materiale è ancora umido e perde grandi quantità d'acqua. Se ciò non è possibile perché il ventilatore funziona già al 100% della sua capacità, si consiglia di ridurre la temperatura di essiccazione in questa fase per diminuire il tasso di evaporazione dell'acqua ed evitare a sua volta l'accumulo di umidità negli strati superiori. Inoltre, l'umidità relativa al di sopra della massa dovrebbe sempre rimanere al di sotto del 70% che coincide con il contenuto di umidità all'equilibrio.

In molte operazioni di essiccazione di erbe, i produttori riempiono i loro disidratatori basandosi sull'altezza della massa. Tuttavia, prove pratiche condotte nell'ambito dell'essiccazione del luppolo hanno dimostrato che l'utilizzo del peso della massa è una misura più precisa, che porta ad un aumento dell'uniformità tra i singoli lotti.

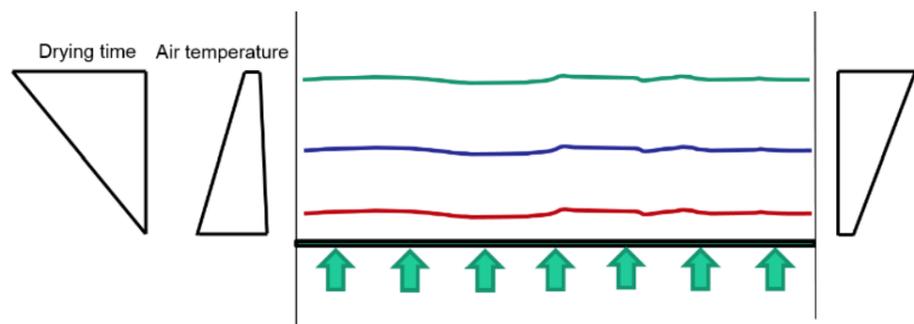


Figura 4.7: Impatto dell'altezza/peso della massa sulla diminuzione della temperatura, sull'aumento dell'umidità dell'aria e sulla durata del processo di essiccazione.

4.2.8.3.3. Densità / varietà della massa

La densità della massa dipende fortemente dalla natura del materiale lavorato e dalla sua varietà. Come regola generale, la densità della massa aumenta con la diminuzione delle particelle. Così, la perdita di pressione attraverso la massa aumenta. Pertanto, è importante regolare di conseguenza il peso della massa.

A seconda del tipo di pianta e della destinazione d'uso, le piante vengono essiccate per intero o soltanto parti specifiche. Ognuna di queste parti (vedi Figura 4.8) ha una diversa composizione e, quindi, una diversa caratteristica di essiccazione. Se essiccato separatamente, è abbastanza facile regolare di conseguenza le impostazioni di processo. Tuttavia, nei casi in cui più parti sono essiccate insieme, si sviluppano gradienti all'interno della pianta. Nel luppolo, ad esempio, le foglie si essiccano molto rapidamente rispetto ai coni. Quando si raggiunge il contenuto finale di umidità del 10%, le foglie hanno un contenuto di umidità del 4-6 %, mentre il cono ha un contenuto di umidità del 12-13%. Ciò comporta un notevole stress sulle foglie e sui componenti attivi come gli aromi. In questi casi una corretta fase di condizionamento è della massima importanza per garantire una lunga durata di conservazione del prodotto.

Ogni parte di una pianta ha caratteristiche di essiccazione specifiche.

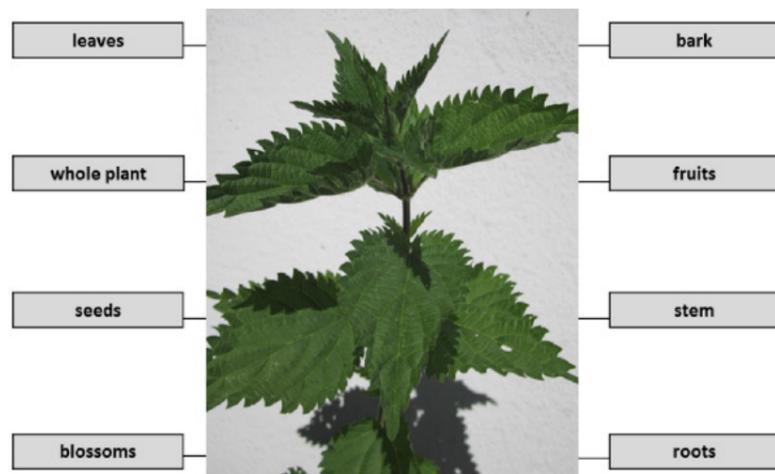


Figura 4.8: Parti di piante comunemente utilizzate

Figura 4.9: Impatto della varietà sulla composizione dei coni di luppolo (Münsterer, 2015)



Figura 4.9: Impatto della varietà sulla composizione dei coni di luppolo (Münsterer, 2015)

4.3. Introduzione del concetto di temperatura del prodotto nella misurazione e nel controllo del processo di disidratazione

È risaputo che la temperatura del prodotto è un fattore determinante per la qualità dei prodotti essiccati. Tuttavia, nella maggior parte delle operazioni di disidratazione il processo è controllato dalla regolazione della temperatura dell'aria, mentre la temperatura del prodotto è completamente sconosciuta.

In particolare, nel settore biologico, dove la temperatura della maggior parte dei processi non dovrebbe superare i 45°C, l'uso della temperatura del prodotto al posto della temperatura dell'aria potrebbe contribuire ad aumentare le performance del processo, garantendo comunque la salvaguardia del prezioso contenuto che si trova all'interno del prodotto. La figura 4.10 illustra un andamento tipico delle temperature dell'aria (linee nere) e del prodotto (linee rosse) per l'applicazione della disidratazione a temperatura dell'aria controllata (a sinistra) e a temperatura del prodotto controllata (a destra).

Sturm (2010) ha anche scoperto che è possibile sviluppare strategie di disidratazione per fasi, aumentando ulteriormente la qualità del prodotto, sulla base dell'andamento della temperatura del prodotto durante tutto il processo.

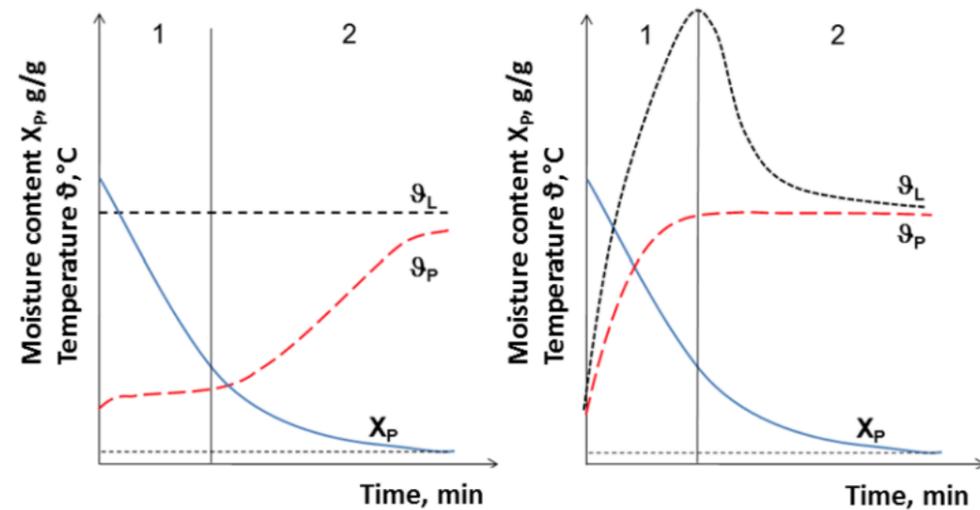


Figura 4.10: Evoluzione della temperatura durante l'essiccazione a temperatura dell'aria controllata e a temperatura del prodotto controllata (Sturm, 2010)

4.4. Ottimizzazione dei sistemi di approvvigionamento energetico e integrazione delle energie rinnovabili

In particolare nel settore biologico, l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili è un aspetto importante per aumentare ulteriormente la sostenibilità della produzione. Nel considerare un tale investimento, i punti successivi sono di grande importanza.

- Per prima cosa, ottimizzare il processo e l'impianto termico
 - Valutare il fabbisogno energetico attuale e confrontarlo attraverso benchmark e/o consulto con esperti
 - Migliorare l'isolamento dove necessario
 - Ottimizzare le condizioni di lavorazione
 - Recuperare il calore residuo
- Considerazioni sull'integrazione delle energie rinnovabili
 - Tempi di funzionamento annuali
 - Orari di funzionamento durante il giorno
 - Posizione
 - Mix energetico della rete
 - Opzioni di integrazione delle energie rinnovabili in relazione alla sostenibilità

- Biomass
 - Wood burners weasy to implement, can also be
 - Sustainability depends strongly on the forest management
- Heat pumps
 - Better suited for operations that run for long periods
 - Sustainability depends strongly on energy mix in the country
- Solar thermal and solar photovoltaics
 - Only suitable for operations that run for a significant number of hours per year
 - Only of use for regions with sufficient radiation in the processing periods

- Biomassa
 - Bruciatori di legna facili da implementare
 - La sostenibilità dipende fortemente dalla gestione forestale
- Pompe di calore
 - Più adatto per operazioni di lunga durata
 - La sostenibilità dipende fortemente dal mix energetico del Paese
- Solare termico e solare fotovoltaico
 - Adatto solo per operazioni che si svolgono per un numero significativo di ore all'anno.
 - Da utilizzare solo in regioni con sufficiente irraggiamento nei periodi di lavorazione.

4.5. Bibliografia

Münsterer, J. (2015). Neueste Erkenntnisse zur Leistungssteigerung und Energieeffizienz bei der Trocknung von Hopfen (Newest insights into the increase of throughput and energy efficiency in hop drying), IHB Kongress 2015, 26-31th July 2015, Bad Gögging, Germany.

Sturm, B. (2010). Einfluss der Führung des Trocknungsprozesses auf den Trocknungsverlauf und die Produkteigenschaften empfindlicher biologischer Güter (Impact of process control on the drying kinetics and product characteristics of sensitive biological products).

Forschungsbericht Agrartechnik 491 des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG). (Doctoral Dissertation) (<https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2010102534814/3/DissertationBarbaraSturm.pdf>).

Sturm, B. (2017). Systemic optimisation and design approach for thermal food processes - Increase of quality, process- and resource efficiency in dried agricultural products manufacturing, Habilitationsschrift, University of Kassel, Witzenhausen.

Sturm, B. (2017). Systemic optimisation and design approach for thermal food processes - Increase of quality, process- and resource efficiency in dried agricultural products manufacturing, Habilitationsschrift, University of Kassel, Witzenhausen.

5. Le strategie di disidratazione perfezionate

SINTEF Energy Resaerch, Trondheim, Norway
(Bantle et al., 2016)

5.1. Disidratazione con pompa di calore di prodotti alimentari biologici

La disidratazione di frutta e altri alimenti è un'antica tecnica di conservazione che ha migliorato la sicurezza alimentare secoli prima che il processo fosse industrializzato. L'industrializzazione del processo di essiccazione ha migliorato la sicurezza alimentare, la stabilità del processo e la qualità del prodotto e, allo stesso tempo, la produzione non dipendeva più dal clima locale. La maggior parte dei produttori ha sviluppato nel corso degli anni parametri di processo propri, che conferiscono al prodotto il suo aspetto e il suo sapore caratteristici. In ogni caso, le attrezzature di processo utilizzate per la produzione sono simili, poiché i principali parametri controllati sono la temperatura e l'umidità dell'aria di essiccazione.

Ogni processo di disidratazione dipende dalla disponibilità di un agente essiccante (principalmente aria) che rimuove l'acqua evaporata dal prodotto e allo stesso tempo fornisce il calore latente necessario per l'evaporazione dell'acqua. Pertanto, l'essiccazione è un processo combinato di trasferimento di calore e di massa. La progettazione di una camera di disidratazione assicura un buon contatto tra l'aria di essiccazione e il prodotto da disidratare ed è quindi importante per la velocità di essiccazione, il tempo di produzione e la qualità del prodotto. Un sistema di alimentazione dell'agente essiccante fornisce la quantità necessaria di aria di essiccazione con una certa temperatura e umidità. L'economia del processo di disidratazione dipende dalla progettazione del sistema di alimentazione, mentre la qualità del prodotto è tra i parametri definiti nella camera di disidratazione. Di seguito, vengono riassunti i diversi sistemi di disidratazione utilizzati nelle produzioni industriali.

5.2. Disidratazione con aria riscaldata (Heated ambient air drying, HAAD)

Tradizionalmente, l'aria ambiente è stata utilizzata per la produzione di frutta secca e un gran numero di strutture utilizzano ancora l'aria ambiente come agente essiccante, specialmente nelle regioni in cui il clima locale è adeguato alle condizioni di disidratazione della produzione. Un sistema di essiccazione basato sull'aria ambiente ha una configurazione relativamente semplice e quindi bassi costi di investimento. Questa potrebbe essere una delle ragioni della popolarità di questi sistemi. La temperatura dell'aria ambiente nella maggior parte dei casi non è uguale alla temperatura di essiccazione richiesta; pertanto, l'aria viene riscaldata in uno scambiatore di calore prima di essere direttamente ventilata nella camera di disidratazione. Per motivi igienici, si consiglia generalmente di installare un elemento filtrante prima di utilizzare l'aria ambiente nel processo. Controllando lo scambio termico è possibile mantenere la corretta temperatura di disidratazione. L'umidità dell'aria di essiccazione può essere regolata mescolando una parte dell'aria umida all'uscita della camera di essiccazione con l'aria di essiccazione fresca. I sistemi HAAD dipendono dalla variazione stagionale dell'aria ambiente e, quando l'umidità ambientale è troppo elevata, possono verificarsi problematiche operative. L'economia del processo

dipende di conseguenza dalla quantità di riscaldamento richiesto e dalla variazione stagionale dei parametri dell'aria ambiente. Se l'energia di riscaldamento può essere fornita da un eccesso di energia proveniente da altre operazioni dell'impianto di produzione, il processo può essere abbastanza economico. Inoltre, se è necessaria una fonte di energia primaria per il riscaldamento del sistema HAAD, l'efficienza di essiccazione (che equivale al calore latente di evaporazione, diviso per l'energia fornita al sistema) può essere bassa. Questo è particolarmente vero nelle regioni in cui è presente una grande differenza tra le condizioni di disidratazione richieste e l'aria ambiente.

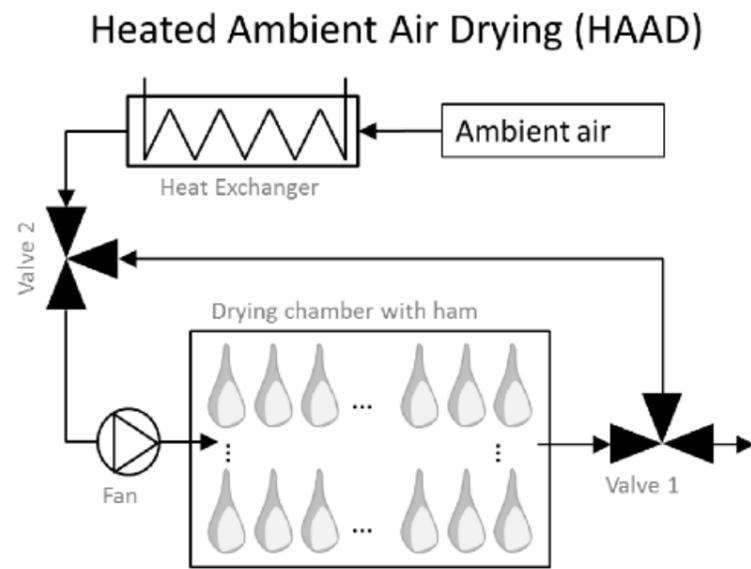


Figura 5.1: Schema di un essiccatore ad aria ambiente riscaldata comunemente usato nell'industria.

5.3. Sistema di disidratazione a circuito chiuso

Quando l'aria di essiccazione viene fatta circolare attraverso il processo in un circuito chiuso, non ci sarà alcuna influenza o disturbo dell'aria ambiente e il processo è più stabile e richiede meno regolazione dopo i settaggi iniziali. Tuttavia, l'acqua evaporata che viene estratta dal prodotto deve essere rimossa dall'aria di essiccazione. Normalmente, questo viene fatto raffreddando l'aria al di sotto del suo punto di rugiada, in modo che l'umidità venga condensata. L'aria deumidificata deve poi essere riscaldata nuovamente in un secondo scambiatore di calore fino alla temperatura di essiccazione desiderata. Gli scambiatori di calore per il raffreddamento possono utilizzare un mezzo di raffreddamento che viene temperato da un sistema di raffreddamento separato. Lo stesso principio può essere utilizzato anche per lo scambiatore di calore per riscaldare nuovamente l'aria di essiccazione; tuttavia, in alcuni casi viene utilizzato anche il riscaldamento diretto per evitare un altro sistema di riscaldamento e ridurre al minimo le perdite di scambio termico. La regolazione di un sistema a circuito chiuso avviene controllando

la portata dei mezzi di riscaldamento o raffreddamento tramite le rispettive pompe. E' anche possibile utilizzare il calore in eccesso proveniente da altri processi dell'impianto di produzione per riscaldare l'aria di essiccazione; tuttavia, per il raffreddamento normalmente è necessario un ciclo frigorifero. I costi di investimento per un sistema di essiccazione a circuito chiuso sono generalmente moderati, ma possono diventare elevati a causa della necessità di due diverse operazioni termiche (raffreddamento seguito da riscaldamento) o quando sono necessari più sottosistemi. L'efficienza di essiccazione di tale sistema è quindi spesso inferiore al 30%. Tuttavia, il funzionamento è facile da controllare e il processo è stabile, motivo per cui questo sistema è molto comune nelle applicazioni industriali.

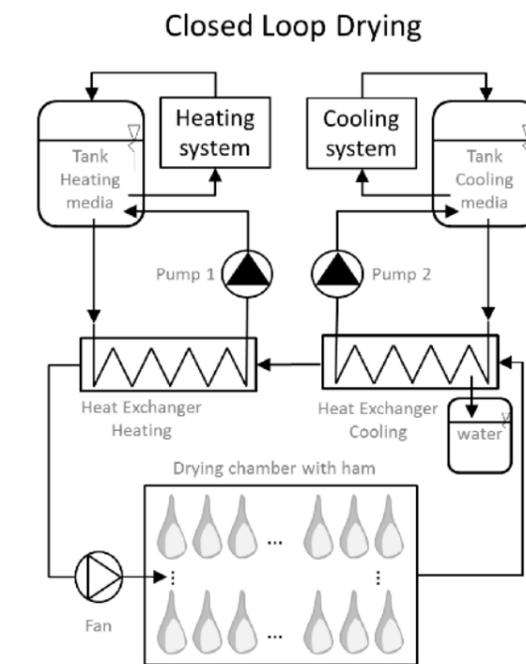


Figura 5.2: Disidratazione industriale a circuito chiuso, che richiede il raffreddamento e il riscaldamento dell'aria di essiccazione circolante per rimuovere l'acqua evaporata.

5.4. Disidratazione con pompa di calore

Negli ultimi anni le pompe di calore sono state implementate in numero maggiore come soluzioni standard in diversi sistemi, processi e applicazioni. Soprattutto per il riscaldamento delle abitazioni domestiche la quota di mercato delle pompe di calore è aumentata, anche perché la tecnologia è classificata come energia rinnovabile. I sistemi industriali a pompa di calore sono comunemente classificati come misure di efficienza energetica, dove le fonti di calore a bassa temperatura vengono aggiornate per soddisfare una domanda di calore a temperatura più elevata. La quota di mercato delle pompe di calore in alcuni paesi è piuttosto bassa (ad esempio in Germania) e i prezzi locali dell'energia e il rendimento degli investimenti hanno sicuramente un'importante influenza sulle scelte dei consumatori.

Uno studio tedesco (Wolf et al., 2014) ha valutato il potenziale delle pompe di calore industriali per diversi settori industriali sulla base di dati statistici per 34 paesi europei. Le pompe di calore industriali con un dissipatore di calore fino a 100°C sono state classificate come pompe di calore convenzionali. È importante notare che per questi range di temperatura sono stati sviluppati o sono in fase di sviluppo diversi refrigeranti, mentre i refrigeranti naturali (R717, R718 e R744) sono già implementati. La domanda di calore fino a 100°C è stata stimata in 650 TWh per l'Europa e in particolare i settori Food e Tabacco, Legno, Carta e Chimica sono identificati per una corrispondente richiesta di calore. Tra questi settori i processi di Disidratazione, Evaporazione, Cottura, Lavaggio e Pulizia richiedono comunemente temperature inferiori a 125°C e soprattutto per la Disidratazione e l'Evaporazione il calore in eccesso del processo sono fonti di calore ideali per la pompa di calore.

La disidratazione convettiva, basata sull'aria come agente essiccante, è una delle più comuni tecnologie di conservazione e oltre l'85% di tutti i disidratatori sono di tipo ad aria. Il potenziale di risparmio energetico per l'essiccazione assistita da pompa di calore (HPD) è grande e il Manuale della Disidratazione Industriale dichiara un'efficienza di essiccazione del 95% per l'HPD rispetto al 35-40% relativa alla disidratazione ad aria calda. Tuttavia, i sistemi industriali HPD funzionano per lo più a temperature di disidratazione inferiori a 30°C.

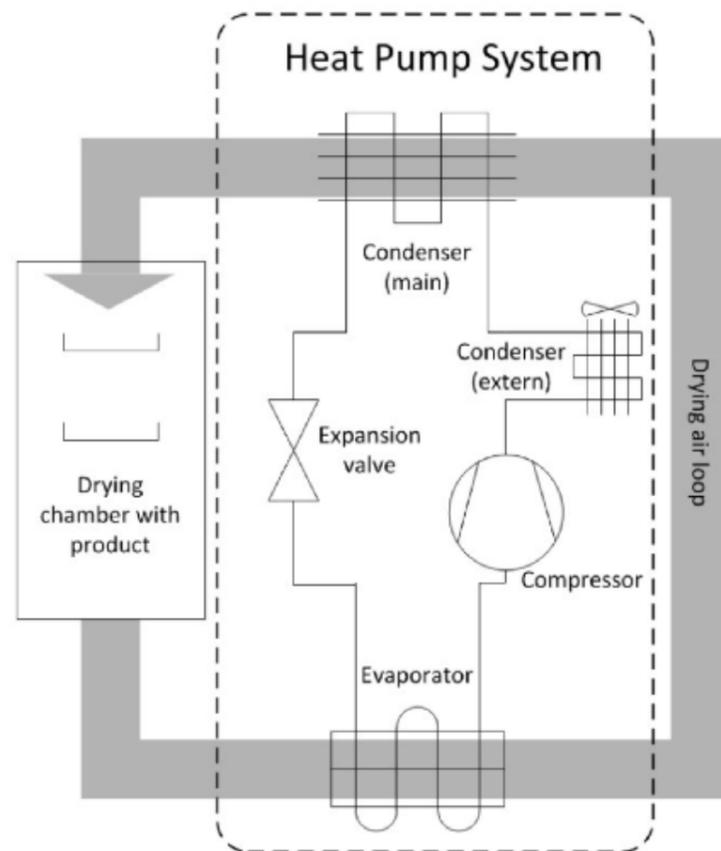


Figura 5.3: Disposizione principale per l'asciugatura assistita da pompa di calore per l'asciugatura convettiva (ad aria) ad anello chiuso.

Le pompe di calore sono caratterizzate dalla possibilità di utilizzare una fonte di calore a basse temperature (all'evaporatore) e di alimentare un dissipatore di calore ad una temperatura più elevata (condensatore). Nel caso della disidratazione questo carico combinato di calore e freddo viene utilizzato per il recupero dell'energia di essiccazione (fondamentalmente il calore latente di evaporazione dell'acqua) e restituire questa energia al processo di disidratazione sotto forma di aria di essiccazione deumidificata e riscaldata (come illustrato in Figura 4.3). L'essiccazione in pompa di calore è composto da due cicli: un ciclo per l'aria di essiccazione e un ciclo di refrigerazione. All'evaporatore della pompa di calore, l'aria di essiccazione viene raffreddata al di sotto del punto di rugiada e l'umidità dell'aria viene condensata sulla superficie dello scambiatore di calore. In questo modo l'energia viene trasferita al refrigerante, che viene fatto evaporare. Il refrigerante evaporato viene quindi compresso e può ora essere condensato nel condensatore a temperature più elevate. In questo modo l'energia trasferita viene restituita all'aria di essiccazione che viene poi riscaldata fino allo stato iniziale desiderato. È necessario installare un secondo condensatore esterno per trasferire il calore in eccesso all'esterno dell'impianto. La fonte principale dell'energia in eccesso è il compressore, che dovrebbe anche essere dotato di un controllo della velocità di rotazione per garantire condizioni di lavoro ottimali al variare dei carichi termici e frigoriferi. Si raccomanda inoltre di installare una valvola di by-pass per l'aria di essiccazione, in modo che solo la quantità di aria necessaria venga raffreddata e riscaldata; questo rende il funzionamento più efficiente.

Il principio può essere utilizzato anche per i sistemi di disidratazione a circuito aperto quando l'aria ambiente viene riscaldata alla temperatura di essiccazione iniziale con l'aiuto del calore in eccesso dell'aria fredda e umida di disidratazione che viene eliminata dalla camera di essiccazione. Tuttavia, gli HPD per disidratatori a circuito aperto non hanno alcuna possibilità di controllare l'umidità dell'aria di essiccazione e la maggior parte dei sistemi sono quindi basati sulla disidratazione a circuito chiuso.

5.5. Simulazione delle prestazioni di un disidratatore a pompa di calore R744

HPD richiede che l'aria di essiccazione venga riscaldata nuovamente dopo la deumidificazione alla sua temperatura di disidratazione iniziale. Ciò comporta un significativo slittamento della temperatura ed i refrigeranti allo stato sub-critico causano elevate perdite di trasferimento del calore a causa della loro stabilità della temperatura di condensazione nel momento in cui la temperatura di condensazione stessa dovrebbe essere di qualche grado Kelvin superiore alla temperatura dell'aria di uscita. Questo potrebbe essere evitato utilizzando un fluido di lavoro allo stato trans-critico, che respinge il calore alla temperatura "glide". Le proprietà termodinamiche del R744 sono quelle di un refrigerante adatto per la disidratazione con pompa di calore, in particolare per processi di essiccazione tra i 30°C e i 70°C. Essendo un refrigerante naturale, l'R744 ha per definizione un Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential) di 1 e un Potenziale di Riduzione dell'Ozono (Ozone Depletion Potential) di 0; quindi il suo impatto ambientale è trascurabile rispetto agli HFOS disponibili in commercio.

Per il progetto SusOrganic il potenziale della disidratazione con pompa di calore è stato analizzato sull'esempio di un essiccatore a pompa di calore che utilizza l'R744 come refrigerante naturale per un processo di disidratazione a 45°C, 60°C e 75°C (vedi Figura 5.4).

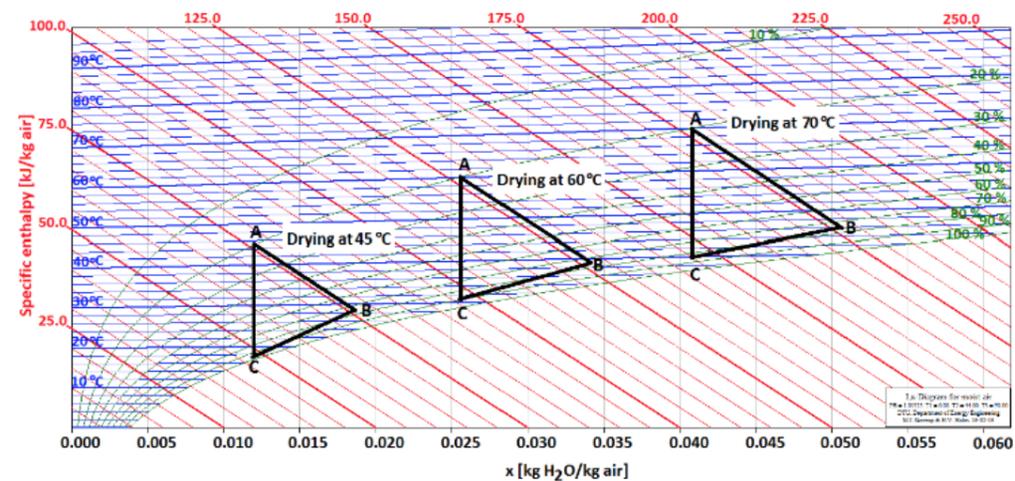


Figura 5.4: Diagramma-Mollier per il processo di disidratazione a diverse temperature, dove A indica l'ingresso nella camera di essiccazione, B l'uscita e C lo stato dopo la condensazione del vapore prima del riscaldamento. Per l'essiccazione a 70 °C questi stati erano al punto A: 20 % di umidità relativa e 70 °C; il punto B: 75 % di umidità relativa e 46,4 °C e il punto C: quasi saturo a 39,4 °C.

Le simulazioni mostrano che le condizioni di disidratazione desiderate per l'essiccatore possono essere raggiunte con l'impianto a pompa di calore R744 (Figura 4.3). La tabella 4.1 riassume i flussi energetici, le prestazioni di processo e le condizioni operative dell'impianto.

Tabella 5.1: Flussi energetici, rendimenti e condizioni operative dell'essiccatore assistito da pompa di calore R744 a 45 °C, 60 °C e 70 °C.

Temperature di disidratazione	45 °C	60 °C	70 °C
Flussi termico nell'evaporatore	101 kW	109 kW	118 kW
Flusso di calore nel raffreddatore del gas	100 kW	108 kW	116 kW
Potenza del compressore	23 kW	28 kW	32 kW
COP per il riscaldamento	4.3	3.9	3.6
COP per il riscaldamento e il raffreddamento	8.8	7.8	7.2
SEC	968 kJ/kg	917 kJ/kg	865 kJ/kg
SEC	0.269 kWh/kg	0.255 kWh/kg	0.240 kWh/kg
Alta pressione	75 bar	100 bar	130 bar
Bassa pressione	37.9 bar	45 bar	57.3 bar
Flussi di massa della CO2	0.56 kg/s	0.62 kg/s	0.72 kg/s

Umidità dell'aria contenuta nell'essiccatore	0.012 kg/kg	0.025 kg/kg	0.039 kg/kg
Umidità dell'aria contenuta nella camera di essiccazione	0.018 kg/kg	0.033 kg/kg	0.049 kg/kg
Temperature dell'aria dopo la condensazione	17.1 °C	30.5 °C	39.4 °C
Temperature dell'aria della camera di essiccazione	28.8 °C	39.2 °C	46.4 °C
Acqua rimossa	0.024 kg/s	0.031 kg/s	0.037 kg/s
Temperature dopo il compressore	73 °C	87 °C	96 °C
Temperature prima dello strozzamento	24.5 °C	27.0 °C	30.2 °C

Le Figura 5.5, la Figura 5.6 e la Figura 5.7 mostrano il ciclo della pompa di calore R744 in diagramma temperatura-entropia a diverse temperature di disidratazione. Poiché la temperatura di essiccazione è superiore al punto critico, è necessario raffreddare ulteriormente il refrigerante. Nel presente caso questo è stato ottenuto mediante il preriscaldamento dell'acqua calda sanitaria, ma è possibile considerare anche altri dissipatori di calore. Il diagramma mostra anche il corrispondente raffreddamento e riscaldamento dell'aria di essiccazione. Va notato che la necessaria deumidificazione dell'aria di essiccazione si ottiene nell'evaporatore della pompa di calore, che deve essere progettato per gestire e rimuovere la condensa d'acqua. La Figura 5.4 mostra il circuito di disidratazione ad aria in un diagramma di Mollier per diverse temperature di essiccazione. Va notato che il punto C non attraversa la linea di saturazione dell'aria umida anche se una quantità significativa di acqua è stata rimossa dall'aria. Questo può essere spiegato dal profilo di temperatura dell'aria attraverso l'evaporatore. L'aria a diretto o stretto contatto con la zona dello scambiatore di calore viene raffreddata fino alla linea di saturazione a temperature inferiori al punto C e questo consente la condensazione. Il punto C del diagramma di Mollier rappresenta la temperatura e l'umidità media dell'aria di essiccazione.

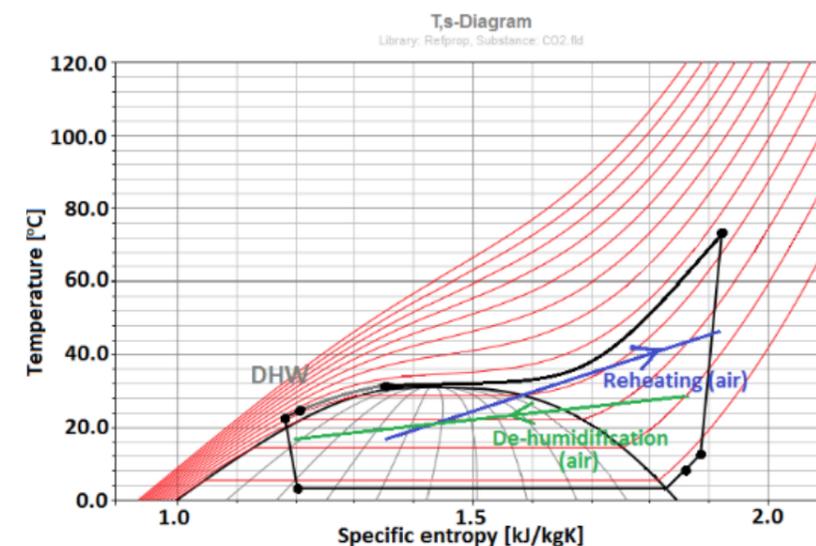


Figura 5.5: Disidratatore assistito da pompa di calore con R744 per una temperatura di essiccazione di 45°C.

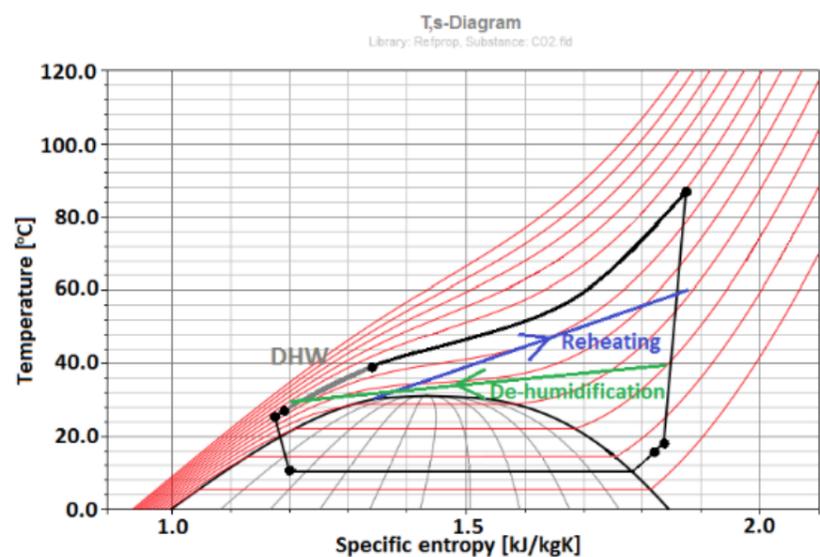


Figura 5.6: Disidratatore assistito da pompa di calore con R744 per una temperatura di essiccazione di 60°C.

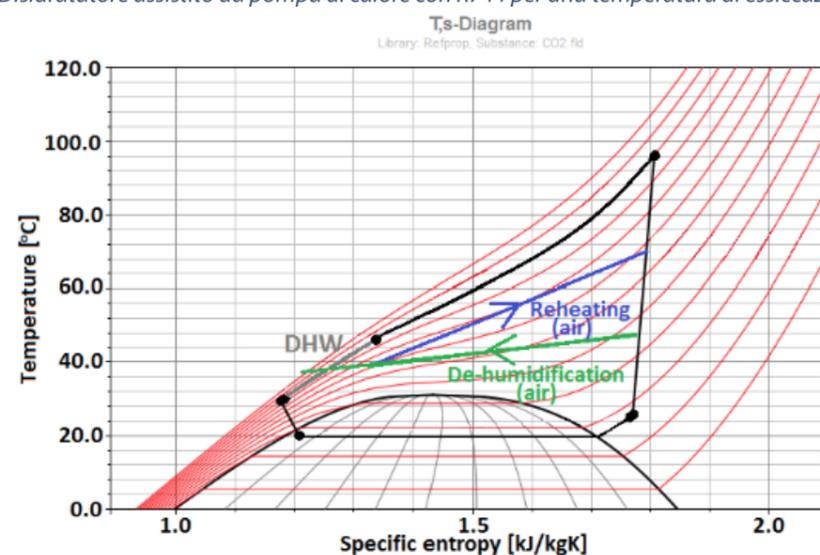


Figura 5.7: Disidratatore assistito da pompa di calore con R744 per una temperatura di essiccazione di 70°C.

5.6. Analisi delle prestazioni del disidratatore a pompa di calore

La disidratazione di prodotti biologici è un processo combinato di trasferimento di calore e di massa in cui l'acqua viene rimossa da una matrice solida per evaporazione. Nell'intervallo di temperatura considerato il calore latente di evaporazione è di circa 2250 kJ o 0,63 kWh per far evaporare un chilogrammo di acqua. L'indagine eseguita ha dimostrato che un processo di disidratazione assistita da una pompa di calore necessita dai 0,24 ai 0,27 kWh/kg, a seconda della temperatura di essiccazione. Pertanto, rispetto al calore latente dell'acqua, il risparmio energeti-

co sarebbe di circa il 60 %. Per un processo di disidratazione a sistema aperto, che utilizza l'aria dell'ambiente riscaldata, il consumo specifico di energia è normalmente di almeno 0,8 kWh/kg, ma può arrivare anche a 2 kWh/kg. Tuttavia, è difficile confrontare questi sistemi di disidratazione soltanto basandosi su valutazioni di tipo energetico, poiché aspetti come il controllo dell'umidità (possibile con la disidratazione con pompa di calore) sono difficili da includere nei sistemi di essiccazione a sistema aperto. La maggior parte dei risparmi energetici riscontrati per la disidratazione assistita da pompa di calore erano compresi tra il 30 e il 50%, tuttavia basati su refrigeranti diversi. L'introduzione di una pompa di calore sembra possibile in tutte e tre le temperature considerate, con un risparmio energetico simile o leggermente migliore, come riportato in diversi studi fatti negli ultimi anni.

L'essiccazione a circuito chiuso richiede un raffreddamento controllato, deumidificazione e riscaldamento dell'aria di essiccazione e questi processi si traducono naturalmente in slittamenti di temperatura. Poiché il ciclo R744 funziona allo stato trans-critico, le perdite dovute allo scambio termico per il riscaldamento saranno minori rispetto ad un ciclo a pompa di calore con temperatura di condensazione costante. La scelta di un processo trans-critico si traduce anche in adeguate differenze di temperatura nel processo di riscaldamento, dando così la possibilità di ridurre le perdite di energia. Lo slittamento della temperatura dell'aria durante il raffreddamento è minore ed è più importante ottenere uno slittamento di temperatura corretto per il processo di riscaldamento. In generale, le proprietà termiche di R744 allo stato trans-critico sono vantaggiose per il concetto di disidratazione assistita da pompa di calore.

Con l'aumento della temperatura di disidratazione, il COP (Coefficient of Performance) della pompa di calore è diminuito e il consumo netto di energia è aumentato. L'efficienza del processo di disidratazione assistita dalla pompa di calore è stata allo stesso tempo aumentata, poiché la quantità di acqua rimossa era maggiore a temperature di essiccazione più elevate. Questo effetto ha compensato la riduzione del COP a temperature di essiccazione più elevate. Risultati simili sono stati trovati in prove sperimentali su disidratatori a CO₂. L'utilizzo di una pompa di calore a CO₂ in disidratazione a letto fluido a 40 °C, 20 % di umidità e 50 °C e 13% di umidità, entrambe con il 60% di umidità dopo l'essiccazione, ha portato a valori SEC di 0,606 e 0,268, e COP di 2,31 e 4,18. Poiché i due risultati riportati differiscono significativamente, la quantità di acqua rimossa sembra un fattore molto importante per le prestazioni; in questo studio, il migliore dei due risultati riportati è simile al caso con temperatura di disidratazione di 45°C.

I sistemi di disidratazione chiusi assistiti da pompa di calore, come quelli dei modelli riportati, danno sempre un surplus di calore (principalmente dal lavoro di compressione), e quindi è necessario un ulteriore dissipatore di calore per questo caso specifico, poiché i flussi di calore per il raffreddamento e il riscaldamento dell'aria di essiccazione sono altrettanto elevati. Il secondo refrigeratore a gas (o condensatore quando si utilizzano altri refrigeranti) permette di controllare continuamente le condizioni di disidratazione, con conseguente stabilità delle temperature e dell'umidità di essiccazione. I sistemi che non dispongono di questo secondo refrigeratore a gas (o condensatore) sono spesso utilizzati nella regolazione on/off, quando la temperatura di essiccazione sta raggiungendo livelli elevati. Per i cicli di CO₂ che operano in prossimità o al di sopra del punto trans-critico, è fondamentale anche ottenere un raffreddamento sufficiente prima della strozzatura per ottenere un processo efficiente. I sistemi chiusi

devono avere un dissipatore di calore freddo come un raffreddatore ad acqua per ottenere alte prestazioni. Per questo studio l'acqua è stata considerata come dissipatore di calore ed è stato ipotizzato che questa funzionerà come acqua calda sanitaria preriscaldata. A tale scopo potrebbero essere presi in considerazione anche altri dissipatori di calore, come l'aria dell'ambiente; tuttavia si raccomanda di implementare un dissipatore di calore a livelli di temperatura stabile per garantire la stabilità del processo. Il calore trasferito nel secondo raffreddatore a gas non è stato considerato nel calcolo del consumo energetico specifico del processo di disidratazione. Il sistema con pompa di calore in esame si basa su una capacità di disidratazione che permette di rimuovere circa 100 kg di acqua all'ora, a seconda della temperatura e delle condizioni di essiccazione. La capacità dei disidratatori industriali può variare da pochi chilogrammi fino a diverse tonnellate di acqua prelevata all'ora; è quindi difficile trarre conclusioni su una dimensione generale applicabile del disidratatore. Il sistema in esame può essere adattato verso l'alto o verso il basso fino a dimensioni diverse del disidratatore senza influenzare l'efficienza del processo, a condizione che le dimensioni dei componenti della pompa di calore possano essere adattate. Le dimensioni e l'efficienza del compressore sono i fattori più limitanti. Con la tecnologia di compressione attualmente disponibile dovrebbe essere possibile aumentare la capacità dell'impianto fino a 500 kg/ora. Un altro fattore da considerare è la progettazione del raffreddatore a gas e dell'evaporatore, che deve essere progettato in modo efficiente per lo scambio termico con elevati flussi d'aria. Le dimensioni e la potenza di un ventilatore per far circolare l'aria di essiccazione dipenderà dalla progettazione degli scambiatori e della camera di disidratazione. Il ventilatore del sistema di essiccazione rappresenta un ulteriore fonte di fabbisogno energetico, che ridurrà l'efficienza del processo. Nel presente studio la potenza del ventilatore non è stata considerata in quanto il sistema di essiccazione, ma anche la geometria degli scambiatori di calore, è stata semplificata. Tuttavia, anche per sistemi di disidratazione di tipo aperto è necessaria una certa potenza del ventilatore che ridurrà anche l'efficienza del processo con la stessa entità. Ulteriori valutazioni progettuali dovrebbero includere anche la possibilità di pulire, ad esempio, lo scambiatore di calore per motivi igienico-sanitari, specialmente nell'industria alimentare. Molto spesso, quando si essiccano prodotti biologici, l'aria viene inquinata da particelle, ecc. che possono agglomerarsi nello scambiatore di calore. Pertanto, la pulizia degli scambiatori di calore deve essere un ulteriore aspetto progettuale per ridurre la resistenza termica e sostenere un elevato trasferimento di calore.

La presente indagine non ha valutato il prodotto disidratato e gli aspetti qualitativi. In generale, il sistema avrà un potenziale di risparmio energetico per tutti i processi di disidratazione che richiedono una temperatura di essiccazione compresa tra 45°C e 70°C. Prodotti alimentari come cereali, frutta e verdura, ma anche polpa, carta o legno potrebbero essere essiccati in queste condizioni; e l'elenco può sicuramente essere esteso ulteriormente. Tuttavia, le condizioni di essiccazione devono essere determinate in relazione ad una qualità di prodotto richiesta e a un tipo specifico di disidratatore, aspetto che esula dall'ambito della presente indagine. In una prospettiva più ampia, l'essiccatore a pompa di calore sperimentato (basato su fonti di energia rinnovabile) può aiutare a ridurre l'utilizzo dai combustibili fossili.

Il presente studio non ha esaminato il costo o il rendimento dell'investimento e si è concentrato esclusivamente sul potenziale di risparmio energetico. Sulla base dell'analisi effettuata

sarà possibile calcolare queste cifre per specifici processi e prodotti legati alla disidratazione. Il potenziale di risparmio energetico della disidratazione assistita da pompa di calore R744 è stato chiaramente identificato ed è stata delineata la dipendenza dalla temperatura di essiccazione (non dal COP della pompa di calore).

5.7. Riassunto

È stata studiata la possibilità di utilizzare l'R744 come refrigerante nel processo di disidratazione assistita da pompa di calore. Il consumo energetico specifico del processo di essiccazione può essere ridotto a 0,269 kWh/kg alla temperatura di essiccazione di 45°C, 0,255 kWh/kg a 60°C e 0,240 kWh/kg a 70°C. L'efficienza del processo è stata influenzata principalmente dalla quantità di acqua rimossa dall'aria di essiccazione, mentre il COP della pompa di calore ha avuto solo un'influenza secondaria. I comuni disidratatori a sistema aperto hanno in generale consumi energetici specifici tra 0,8 e 2 kWh/kg, quindi il potenziale di risparmio energetico è significativo. In particolare lo slittamento della temperatura nel ciclo trans-critico R744 può essere vantaggioso per la disidratazione con pompa di calore rispetto al funzionamento sub-critico della pompa di calore con temperatura di condensazione stabile. Il processo di essiccazione è caratterizzato dalla contemporanea presenza della domanda di calore e del calore di scarto disponibile, il che è favorevole all'implementazione di una disidratazione assistita da pompa di calore in generale. In una prospettiva più ampia, l'essiccazione con pompa di calore (basata su fonti di energia rinnovabile) può contribuire a ridurre l'utilizzo dei combustibili fossili. Il potenziale per la disidratazione industriale assistita da pompa di calore nell'intervallo di temperature analizzato è elevato nell'industria alimentare, del tabacco, del legno e della carta.

5.8. Bibliografia

Bantle, M., et al. (2016). Performance simulation on a heat pump drying system using R744 as refrigerant. 12th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants GL2016 : Proceedings, International Institute of Refrigeration.

Wolf, S., et al. (2014). Analyse des Potenzials von Industrierärmepumpen in Deutschland (in German) Forschungsbericht. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung.

6. Confronto tra sistemi e tecnologie per il controllo di processo

University of Tuscia, Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems, Italy

Massantini, R. & Moscetti, R.

6.1. Il presente e il futuro della tecnologia di disidratazione

La disidratazione è un processo relativamente complesso, dinamico, instabile e non lineare che è influenzato dalle proprietà della matrice alimentare e dalle condizioni operative ed ambientali (Aghbashlo et al., 2015). Tali fattori possono avere un impatto sulle caratteristiche qualitative e sulle proprietà organolettiche, nutrizionali e funzionali, con conseguente impatto sul giudizio dei consumatori (Brosnan e Sun, 2004; Vega-Gálvez et al., 2012). La disidratazione è uno dei processi a più alto consumo energetico nell'industria alimentare (Akpinar et al., 2003) e potenzialmente contribuisce al cambiamento climatico in quanto la maggior parte dei disidratatori utilizza combustibili fossili (Mujumdar, 2012).

Al fine di ridurre le problematiche legate alla disidratazione, l'obiettivo delle nuove tecnologie di essiccazione dovrebbe essere quello di mantenere contemporaneamente la qualità ed il valore del prodotto, massimizzare il tasso di disidratazione e minimizzarne l'impatto ambientale (Mujumdar, 2012; Su et al., 2015). Lo "Smart drying", una delle più recenti e promettenti tecniche di disidratazione emergenti, prevede l'uso di sensori e tecnologie non distruttive per migliorare l'efficienza di disidratazione. L'idea alla base della tecnologia di "Smart drying" è quella di ottenere informazioni in tempo reale relative al processo ed al prodotto per modulare simultaneamente il processo di disidratazione. Il risultato è un prodotto disidratato di alta qualità e standardizzato (Su et al., 2015). Pertanto, lo smart drying può essere conveniente sia nel monitoraggio in tempo reale della qualità degli alimenti che nel controllo dinamico delle condizioni operative dell'intero processo di disidratazione. Lo "Smart drying" è un settore multi e interdisciplinare e i suoi recenti sviluppi abbracciano le seguenti aree di ricerca e sviluppo: intelligenza artificiale (Aghbashlo et al., 2015), biomimetica (Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2010), visione artificiale (Brosnan e Sun, 2004), spettroscopia a microonde/dielettrica (Jha et al., 2011), analisi di immagine iper/multispettrale (ElMasry e Sun, 2010), analisi di immagine mediante risonanza magnetica (Clarka et al., 1997; Su et al., 2014), analisi di immagine ad ultrasuoni (Awad et al., 2012), rilevamento elettrostatico (Chen et al., 2013) e sistemi di controllo per l'ambiente di disidratazione. Inoltre, la spettroscopia visibile (Vis) e nel vicino infrarosso (NIR) sono tecniche con potenziali applicazioni nel settore dello "Smart drying" in termini di monitoraggio degli attributi di qualità (Nicolai et al., 2007).

6.2. Visione artificiale

Gli esseri umani usano gli occhi per vedere e percepire il mondo che li circonda. La visione artificiale o computer vision (CV) è la scienza che mira a dare una capacità simile a una macchina o

a un computer. La sua applicazione riguarda l'estrazione automatica, l'analisi e la comprensione di informazioni utili da una singola immagine o da una sequenza di immagini, utilizzando una base algoritmica per ottenere una comprensione visiva automatica (Li et al., 2015).

Fin dai primi anni '60, con l'avvento dei computer, la vista è stata riconosciuta come un importante strumento per valutare la qualità nella produzione alimentare ed il suo utilizzo è costantemente aumentato. È possibile valutare le caratteristiche visive e i difetti dei prodotti alimentari in modo rapido ed economico in modo non distruttivo (Davies, 2009). Oggi, la CV viene utilizzata in diversi settori (ad esempio, industria alimentare, robotica, diagnosi medica e sistemi robotici industriali). Un sistema CV è generalmente composto da cinque elementi: un sistema di illuminazione, un sensore o una telecamera, un digitalizzatore (solo se la telecamera non è digitale), un computer e un software in grado di elaborare l'immagine (Fig. 1). Analogamente alla visione umana, la CV è fortemente influenzata da diversi fattori (es. sorgente luminosa, sfondo, direzione della luce, ecc.) (Menesatti et al., 2012).

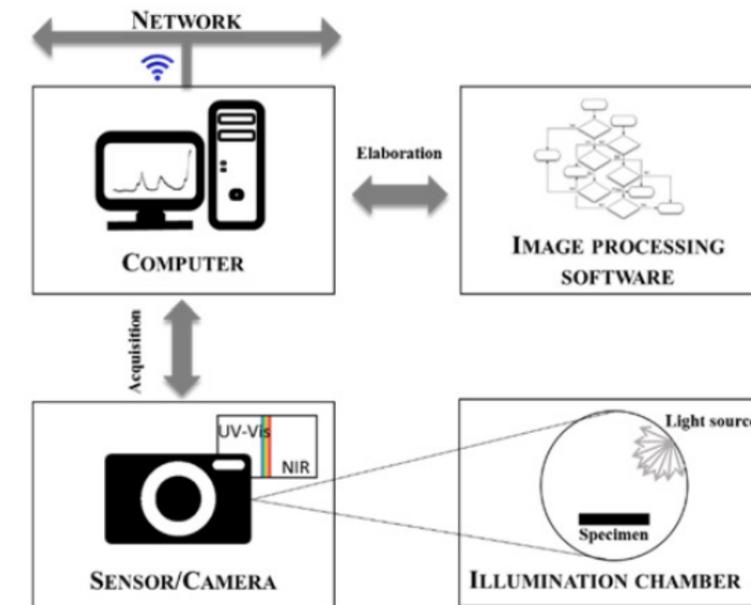


Figura 6.1: Elementi di un sistema di visione artificiale (o Computer Vision, CV) (Raponi et al., 2017)

6.2.1. Analisi d'immagine

I cambiamenti esterni e i difetti su frutta e verdura sono spesso caratterizzati da differenze di colore, forma e dimensioni. In genere, una telecamera RGB, collegata ad un sistema di visione artificiale, consente di ispezionare i prodotti esterni in modo rapido, preciso e veloce. La telecamera RGB emula la capacità dell'occhio umano di catturare immagini (Batchelor e Waltz, 2001).

6.2.2. Spettroscopia puntiforme

La spettroscopia è lo studio dell'interazione tra materia e radiazione elettromagnetica (ER). L'interazione avviene in diversi modi (cioè per riflettanza, trasmittanza, assorbanza o diffusione di

radiazioni policromatiche o monocromatiche), come mostrato in Fig. 6.2.

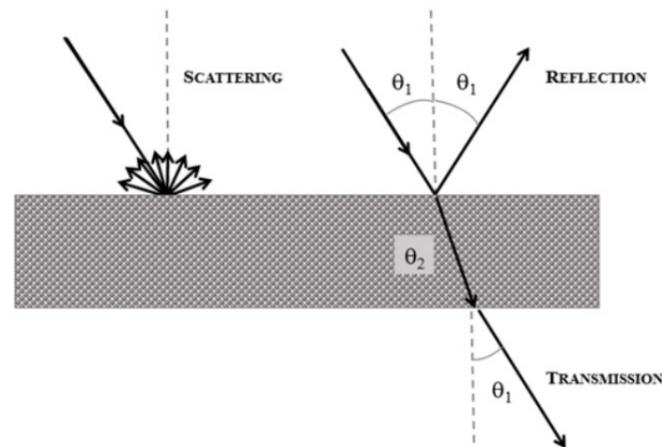


Figura 6.2: Interazione tra materia e radiazione elettromagnetica (Raponi et al., 2017)

Diverse regioni elettromagnetiche danno informazioni diverse relative alla composizione chimica del campione. Questo perché ogni legame chimico assorbe l'energia luminosa a specifiche lunghezze d'onda. Ad esempio, i pigmenti (ad esempio, clorofille, carotenoidi e antociani), assorbono principalmente nell'intervallo spettrale visibile, mentre acqua, carboidrati, grassi e proteine hanno bande di assorbimento nella regione NIR (Abbott, 1999; Munjanja e Sanganyado, 2004). Per la valutazione della qualità degli alimenti (ad esempio, controllo di qualità e autenticità), le regioni dell'ultravioletto (UV), del visibile (Vis) e del vicino infrarosso (NIR) sono le principali regioni spettrali utilizzate (Reid et al., 2006).

6.2.3. Analisi di immagine multi-spettrale (MSI) ed iper-spettrale (HSI)

I sistemi di analisi di immagine iperspettrale sono dispositivi in grado di ottenere sia informazioni spettroscopiche, che spaziali (Mollazade et al., 2012; Moschetti et al., 2015). La struttura dati dell'immagine iperspettrale è chiamata ipercubo, cioè un'immagine 3D contenente due dimensioni spaziali e una dimensione spettroscopica (Fig. 6.3).

I dispositivi HSI per l'analisi alimentare funzionano nella regione Vis/NIR, ognuno dei quali utilizza la spettroscopia di assorbimento e di emissione (Menesatti et al., 2008). Il vantaggio principale dell'HSI è la possibilità di monitorare i parametri di qualità sia esterni che interni. Con questo dispositivo è possibile distinguere e analizzare oggetti di colore, forma, dimensione e spettro di sovrapposizione simili. Gli svantaggi sono legati al lungo tempo di acquisizione necessario, all'elevata quantità di informazioni ridondanti e, quindi, all'enorme quantità di dati acquisiti. Questi inconvenienti limitano l'HSI nell'elaborazione on-line. Inoltre, il tempo di calcolo per sviluppare il modello di previsione aumenta considerevolmente (Li et al., 2015). Lo sviluppo di un sistema MSI può ridurre questi inconvenienti, soprattutto grazie alla possibilità di selezionare le lunghezze d'onda più significative (da 3-15) per prevedere gli attributi fisico-chimici di interesse

(Zhang et al., 2014). L'MSI presenta diversi vantaggi rispetto all'HSI quali: velocità di scansione, fattibilità dell'applicazione on-line nell'industria alimentare, minore memoria del computer necessaria per acquisire ed elaborare le immagini (Mahesh et al., 2015). Gli svantaggi sono legati alla mancanza di flessibilità del dispositivo. Generalmente, questi sono costruiti dai ricercatori in base allo specifico impiego. Inoltre, è necessario disporre di un sistema HSI da utilizzare prima dello sviluppo del dispositivo MSI.

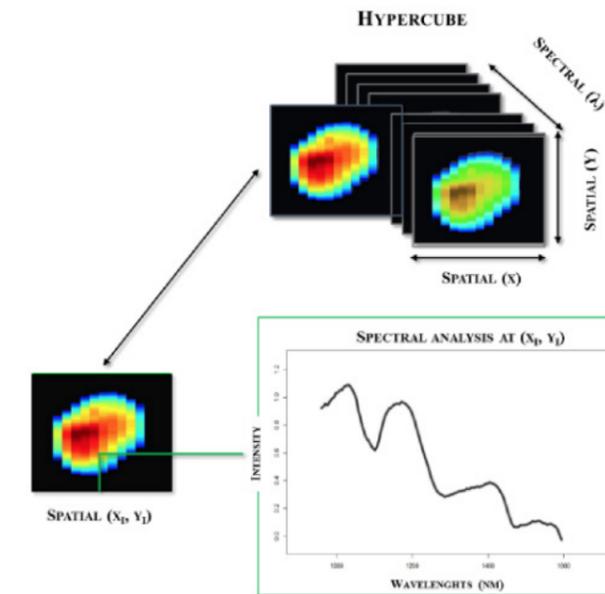


Figura 6.3: Rappresentazione schematica di un ipercubo (Raponi et al., 2017)

6.3. Naso elettronico e mucosa elettronica

L'aroma degli alimenti contiene solitamente miscele complesse di composti organici volatili (VOCs), caratterizzati da vari attributi sensoriali e chimici. Qualsiasi variazione delle concentrazioni relative di questi composti può spesso condizionare l'odore del prodotto. Il cambiamento di aroma durante il processo di disidratazione è una problematica molto importante. Il naso elettronico e la mucosa elettronica sono sistemi elettronici che cercano di emulare la struttura del sistema olfattivo dei mammiferi. I loro risultati possono essere la caratterizzazione di odori, difetti o attributi degli alimenti, la stima della concentrazione di VOCs, ecc. In altre parole, entrambi gli strumenti sono in grado di rilevare l'aroma degli alimenti in pochi secondi, il che rende possibile il monitoraggio in tempo reale dell'aroma degli alimenti durante la disidratazione. La mucosa elettronica è un'evoluzione tecnologica del naso elettronico, caratterizzata da un maggior numero di sensori.

6.4. Risonanza magnetica nucleare

La risonanza magnetica per immagini (MRI) è un tipo di tecnologia di risonanza magnetica

nucleare ampiamente utilizzata da chimici e biochimici per ottenere immagini dei tessuti molli a scopo diagnostico e, quindi, per identificare le strutture molecolari e per studiare l'insorgenza di reazioni chimiche. La risonanza magnetica utilizza onde radio e magneti per generare immagini di campioni di alimenti. Gli scienziati hanno esplorato l'uso della risonanza magnetica per studiare i cambiamenti nel contenuto di umidità, l'attività dell'acqua, il contenuto di sale, ecc. durante la disidratazione.

6.5. Spettroscopia dielettrica a microonde

La spettroscopia dielettrica a microonde è una tecnica senza contatto, affidabile e molto veloce per determinare le variazioni di umidità e densità dei materiali durante un processo di disidratazione. Poiché la frequenza di risonanza delle microonde varia con il contenuto di umidità degli alimenti, questa tecnica è particolarmente efficiente nel fornire continuamente dati rappresentativi. La tecnica è totalmente indipendente dalla densità o dal carico del prodotto, dal colore e dalla struttura superficiale degli alimenti.

6.6. Controllo del processo di disidratazione mediante la tecnologia della disidratazione intelligente ("smart drying")

Attualmente è necessario sviluppare disidratatori "Smart" (o intelligenti) per i prossimi due decenni. È necessario rendere la disidratazione un processo sostenibile, implementando i disidratatori con le più recenti tecnologie sviluppate nei settori scientifici, come ad esempio: [1] tecnologia informatica, [2] microcontrollore e tecnologia dei sensori, [3] tecnologia di rilevamento on-line, in-line e at-line, [4] modellazione matematica dei disidratatori, [5] intelligenza artificiale (es. deep learning), [6] reti Wi-Fi a basso consumo energetico [7] gestione dei big data e computazione dati attraverso il cloud. In questo contesto, i ricercatori si stanno rivolgendo all'applicazione di tecnologie intelligenti, dalla ricerca in laboratorio alla produzione industriale. Nel frattempo, l'industria è diventata più attenta alla qualità ed è quindi incline ad investire sul controllo qualità nella tecnologia di disidratazione.

6.7. Come progettare un processo di smart drying; l'approccio Quality by Design

Il concetto di strategia Quality by Design (QbD) richiede che le nuove tecnologie di disidratazione siano progettate conoscendo le caratteristiche di qualità del prodotto da disidratare. Inoltre, sulla base dell'approccio QbD, è necessario comprendere a fondo il processo di disidratazione per un'attenta ottimizzazione degli approcci operativi standard. In altre parole, una strategia QbD può includere diverse fasi, come mostrato in Fig. 4: [1] identificare il profilo di prodotto target e i suoi attributi di qualità critici, che sono idealmente raggiunti per garantire la qualità del prodotto desiderata; [2] definire lo spazio di progettazione del prodotto (cioè le caratteristiche del prodotto all'ingresso dell'unità di disidratazione); [3] definire lo spazio di progettazione del processo (cioè la caratterizzazione del processo, utile per definire la variabilità accettabile nei parametri di processo); e [4] definire una strategia di controllo, che può comprendere: controlli procedurali, controlli in-processo, monitoraggio del processo, ecc. Infine, deve essere effettuata una convalida del processo per dimostrare che la qualità del prodotto finale sia accettabile.

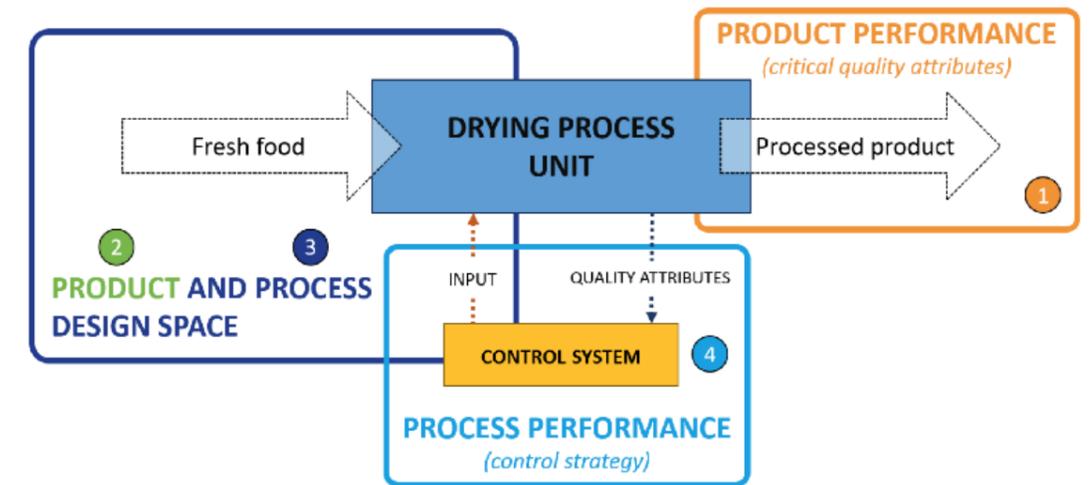


Figura 6.4: Step dell'approccio Quality by Design per garantire la qualità dei prodotti disidratati

La strategia QbD si basa solitamente su tecniche di misurazione in tempo reale, che sono categorizzate in at-line, on-line e in-line (Fig. 5). La misurazione del processo at-line viene eseguita campionando dal processo e analizzando il campione nell'area di processo entro i tempi di elaborazione. Nella misurazione on-line, il campione viene analizzato e poi reintrodotta nel processo. Il processo in-line viene eseguito senza campionamento, ma inserendo sensori nel flusso di processo.

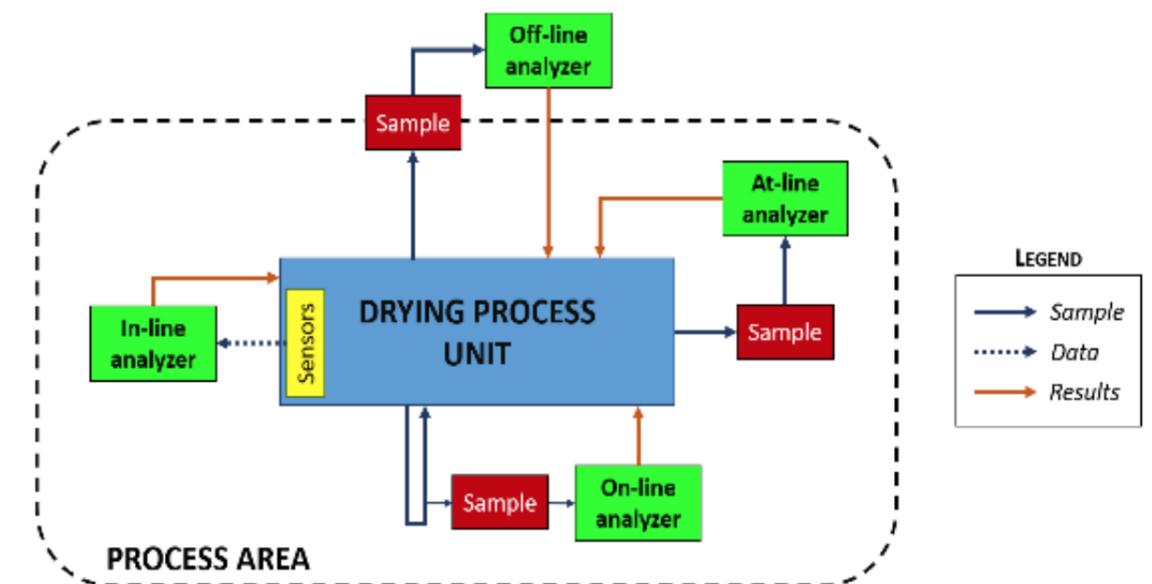


Figura 6.5: Rappresentazione schematica delle differenze tra tecniche di misurazione off-line, at-line, on-line and in-line (Raponi et al., 2017)

6.8. Validazione di un processo di smart drying

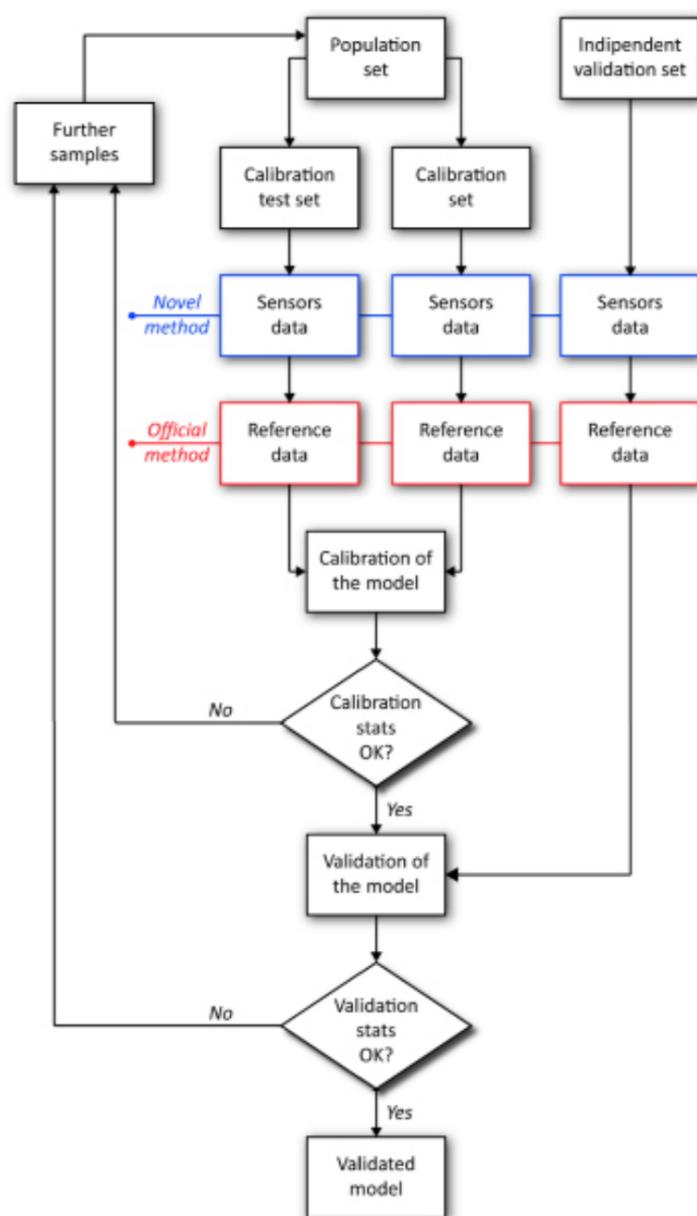


Figura 6.6: Diagramma di flusso delle fasi di pre-elaborazione, calibrazione e validazione dei dati

Lo sviluppo di metodi di identificazione, qualificazione e quantificazione delle caratteristiche del prodotto durante un processo di essiccazione richiede la sperimentazione di vari approcci matematici e statistici. Nell'apprendimento automatico, il "pattern recognition" consiste nella costruzione e nello studio di modelli matematici che possono assegnare etichette (classificazione) o output a valori reali (regressione) ad un dataset. I modelli matematici possono essere adeguatamente sviluppati per estrarre informazioni utili da grandi serie di dati per determinare la composizione chimica del campione (ad es. contenuto di umidità, contenuto di solidi solubili, colore, ecc.) o eseguire la classificazione dei lotti (ad es. riconoscimento del prodotto grezzo, ecc.). Pertanto, questo tipo di metodologia di ricerca è solitamente divisa in tre fasi: #1 Pre-elaborazione dei dati, #2 calibrazione del modello e #3 validazione del modello (Fig. 6.6).

#1 Pre-elaborazione dei dati. La pre-elaborazione è un passo molto importante, per la sua capacità di migliorare o ridurre le fonti di variazione prima dello sviluppo di un modello. Ci sono varie tecniche di pre-elaborazione e la selezione del metodo ottimale spesso necessita di iterazione con il modello di calibrazione.

#2 Calibrazione del modello. La calibrazione è il processo di costruzione di un modello matematico per correlare la risposta del sensore o dello strumento analitico alle proprietà di interesse dei campioni essiccati.

#3 Validazione del modello. La validazione dimostra la fattibilità e l'idoneità del modello per lo scopo previsto. I requisiti di validazione che sono comunemente valutati durante lo sviluppo dei modelli di classificazione e regressione sono mostrati in Tab. 6.1..

Tabella 6.1: Elenco dei parametri di validazione comunemente utilizzati per i modelli di classificazione e di regressione

Term	Description	Classification	Regression
Sensitivity	Ability to identify positive results, given is the presence of analyte	✓	✓
Specificity	Ability to identify negative results, given that there is no analyte present	✓	✓
Accuracy	The closeness of agreement between a test result and the accepted reference value	✗	✓
Linearity	Proportionality of the signal to the amount of reference material, demonstrated by the calculation of a regression line with the adequate statistical method	✗	✓
Range	Range of analyte concentrations over which the method is considered to perform in a linear manner	✗	✓
Trueness	The closeness of agreement between the average value obtained from large series of test results and an accepted reference value	✗	✓

Robustness	Ability of the method to resist change without adapting its initial stable configuration	✓	✓
Detection Limit	Minimum level from on the presence of an analyte can be detected/measured with a given certainty	✓	✓

✓ performable term ✗ unperformable term

6.9. Bibliografia

Abbott, J., 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225. doi:10.1016/S0925-5214(98)00086-6

Aghbashlo, M., Hosseinpour, S., Mujumdar, A.S., 2015. Application of Artificial Neural Networks (ANNs) in Drying Technology: A Comprehensive Review. *Dry. Technol.* 33, 1397–1462.

Akpınar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C., 2003. Thin layer drying of red pepper. *J. Food Eng.* 59, 99–104.

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M., 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Res. Int.* 48, 410–427.

Batchelor, B., Waltz, F., 2001. Programmable color filter Representation of color, in: *Intelligent Machine Vision Techniques, Implementations and Applications*. Springer, London, pp. 345–422.

doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0239-7>

Brosnan, T., Sun, D.W., 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision - A review. *J. Food Eng.* 61, 3–16.

Chen, Q., Zhang, C., Zhao, J., Ouyang, Q., 2013. Recent advances in emerging imaging techniques for non-destructive detection of food quality and safety. *TrAC - Trends Anal. Chem.* 52, 261–274.

Clarka, C.J., Hockings, P.D., Joyce, D.C., Mazucco, R.A., 1997. Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 11, 1–21.

Davies, E.R., 2009. The application of machine vision to food and agriculture: a review. *Imaging Sci. Journal*, 57, 197–217. doi:10.1179/174313109X454756

ElMasry, G., Sun, D.-W., 2010. Hyperspectral imaging for food quality analysis and control, in: Sun, D.-W. (Ed.), *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*. Academic Press, London, UK, pp. 3–43.

Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M., 2010. Biomimetic-based odor and taste sensing systems to food quality and safety characterization: An overview on basic principles and recent achievements. *J. Food Eng.* 100, 377–387.

Jha, S.N., Narsaiah, K., Basediya, A.L., Sharma, R., Jaiswal, P., Kumar, R., Bhardwaj, R., 2011. Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods-a review. *J. Food Sci. Technol.* 48, 387–411.

Li, J.B., Huang, W.Q., Zhao, C.J., 2015. Machine vision technology for detecting the external defects of fruits — a review. *Imaging Sci. J.* 63, 241–251. doi:10.1179/1743131X14Y.0000000088

Mahesh, S., Jayas, D.S., Paliwal, J., White, N.D.G., 2015. Hyperspectral imaging to classify and monitor quality of agricultural materials. *J. Stored Prod. Res.* 61, 17–26. doi:10.1016/j.jspr.2015.01.006

Menesatti, P., Angelini, C., Pallottino, F., Antonucci, F., Aguzzi, J., Costa, C., 2012. RGB color calibration for quantitative image analysis: The “3D Thin-Plate Spline” warping approach. *Sensors (Switzerland)* 12, 7063–7079. doi:10.3390/s120607063

Menesatti, P., Zanella, A., D’Andrea, S., Costa, C., Paglia, G., Pallottino, F., 2008. Supervised Multivariate Analysis of Hyper-spectral NIR Images to Evaluate the Starch Index of Apples. *Food Bioprocess Technol.* 2, 308–314. doi:10.1007/s11947-008-0120-8

Mollazade, K., Omid, M., Tab, F.A., Mohtasebi, S.S., 2012. Principles and Applications of Light Backscattering Imaging in Quality Evaluation of Agro-food Products: A Review. *Food Bioprocess Technol.* 5, 1465–1485. doi:10.1007/s11947-012-0821-x

Moscetti, R., Saeys, W., Keresztes, J.C., Goodarzi, M., Cecchini, M., Danilo, M., Massantini, R., 2015. Hazelnut Quality Sorting Using High Dynamic Range Short-Wave Infrared Hyperspectral Imaging. *Food Bioprocess Technol.* 8, 1593–1604.

Mujumdar, A.S., 2012. Editorial: The Role of Drying Technology in Sustainable R&D and Innovation. *Dry. Technol.* 30.

Munjanja, B., Sanganyado, E., 2004. UV-Visible Absorption, Fluorescence, and Chemiluminescence Spectroscopy, in: Nolle, L.M., Fidel, T. (Eds.), *Handbook of Food Analysis*. CRC Press, pp. 572–583.

Nicolaï, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I., Lammertyn, J., 2007. Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46, 99–118.

Raponi, F., Moscetti, R., Monarca, D., Colantoni, A., & Massantini, R. (2017). Monitoring and Optimization of the Process of Drying Fruits and Vegetables Using Computer Vision: A Review. *Sustainability*, 9(11), 2009.

Reid, L.M., O'Donnell, C.P., Downey, G., 2006. Recent technological advances for the determination of food authenticity. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 344–353. doi:10.1016/j.tifs.2006.01.006
Su, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., 2015. Recent Developments in Smart Drying Technology. *Dry. Technol.* 33, 260–276.

Su, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., 2014. Recent Developments in Smart Drying Technology. *Dry. Technol.* 33, 260–276.

Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Lemus-Mondaca, R., Di Scala, K., 2012. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chem.* 132, 51–59.

Zhang, B., Huang, W., Li, J., Zhao, C., Fan, S., Wu, J., Liu, C., 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Res. Int.* 62, 326–343. doi:10.1016/j.foodres.2014.03.012

I.3 LCA, LCCA E LOGISTICA NELLE PRODUZIONI ALIMENTARI

7. Buone Pratiche di produzione basate sulla Life Cycle Analysis (LCA) and Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

SLU, Dipartimento di Energia e Tecnologia, Svezia

Gebresenbet, G. & Bosona, T.

7.1. Introduzione

L'aumento della popolazione mondiale, l'urbanizzazione, l'esaurimento delle risorse come i combustibili fossili energetici intensi, le fluttuazioni spaziali e temporali nella disponibilità di cibo pongono serie sfide alla sostenibilità delle attuali catene del valore alimentare (nel testo: FVC, Food Value Chains) nei paesi sviluppati e in via di sviluppo (ONU, 2017; Hammond et al., 2015). La sostenibilità nel contesto dello sviluppo sostenibile è definita dalla Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (1987) come: „forme di progresso che soddisfano i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i loro bisogni“. La sostenibilità è un concetto complesso (Borg et al., 2016). Soprattutto, la sostenibilità nel settore alimentare è più complessa in quanto riguarda l'agricoltura, la trasformazione, la distribuzione e il consumo di prodotti alimentari con diversa scala di problemi sociali, economici e ambientali ad ogni livello di FVC come indicato nella Figura 7.1.

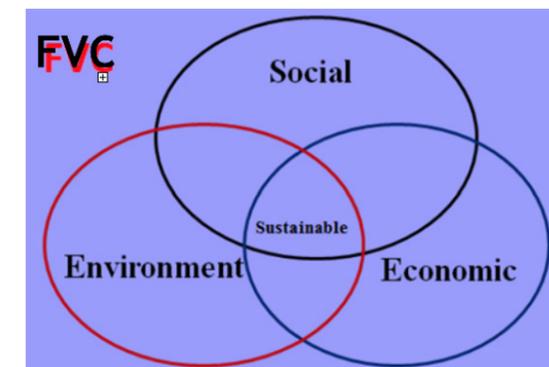


Figura 1.1: Illustrazione concettuale della sostenibilità all'interno delle catene del valore alimentare (Food Value Chains, FVC)

La dimensione ambientale considera il crescente onere sull'ambiente di fattori quali le emissioni di gas serra, l'esaurimento delle risorse idriche, l'aumento del consumo di energia, danni alla biodiversità, ecc; la dimensione economica considera fattori legati allo sviluppo aziendale come il costo della produzione e dell'offerta alimentare, la redditività e contributo all'economia locale. L'aspetto sociale riguarda questioni quali la sicurezza alimentare, la qualità del cibo e la salute dei consumatori, la soddisfazione dei consumatori, la sicurezza alimentare sociale, il benessere degli animali e l'ambiente di lavoro per la società coinvolta nel settore alimentare.

7.2. Casi studio di LCA e LCCA svolti all'interno del progetto SusOrganic

Al fine di comprendere gli aspetti ambientali ed economici dei prodotti alimentari biologici prodotti localmente, sono di seguito presentati alcuni risultati di Life Cycle Analysis (LCA) e Life Cycle Cost Analysis (LCCA) ottenuti nel corso del progetto SusOrganic. L'analisi del ciclo di vita (LCA) è un metodo utilizzato per valutare le prestazioni ambientali di un prodotto (e servizio) considerando le sue „fasi del ciclo di vita“. Conformemente alla norma ISO 14040, la LCA è definita come „compilazione e valutazione di input, output e potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto durante tutto il suo ciclo di vita“ (Manuale LCA, 2004).

Nel caso del progetto SusOrganic è stato utilizzato l'approccio standardizzato LCA sviluppato dalla International Standard Organization (ISO), ovvero la ISO 14040 che descrive principi e l'ambito della LCA e la ISO 14044 (2006) che descrive i requisiti e le linee guida della LCA. In generale, lo studio LCA è stato svolto all'interno del sistema che parte dalla produzione agricola al consumatore (vedi Figura 6.2), mentre sono stati esclusi i livelli della gestione e consumo dei rifiuti. Come „unità funzionale“ è stata utilizzata una tonnellata di prodotto alimentare fresco raccolto all'uscita di un'azienda agricola o di un macello. Una maggiore descrizione sull'unità funzionale è riportata nella Tabella 6.1. In questo documento sono state presentate due categorie di fattori ad impatto ambientale, la „domanda di energia primaria“ come la domanda cumulativa di energia (CED) e le „emissioni di gas serra“ (GHG). Per le attività che necessitano di energia elettrica come input, l'energia proveniente dalla rete elettrica nazionale svedese, dove l'energia idroelettrica rinnovabile e le fonti di energia nucleare non rinnovabili contribuiscono maggiormente, è stata considerata in tutti i casi tranne nel caso del salmone biologico in cui è stata considerata quella della Norvegia.

L'Analisi del Costo del Ciclo di Vita (LCCA) è una tecnica di valutazione economica che consente di determinare il costo totale della proprietà e gestione di un impianto o di un sistema in un determinato periodo di tempo e in diverse fasi del ciclo di vita del prodotto (sistema) (Farr JV, 2011). Anche se non è ampiamente utilizzato nelle catene di valore degli alimenti, la LCCA consente di fornire ulteriori informazioni per integrare il processo decisionale basato sul LCA. Nel caso-studio del progetto SusOrganic, la LCCA è stata utilizzata considerando lo stesso limite di sistema utilizzato per lo studio LCA descritto sopra. Al fine di effettuare un'analisi comparativa tra la catena del valore del prodotto fresco (ad es. mela fresca) e la catena del valore dei prodotti trasformati (ad es. mela disidratata), tutti i valori di costo sono stati presentati in euro (€) per unità funzionale come adottato nello studio LCA, ovvero tonnellate di prodotto fresco raccolto in azienda o carne fresca al macello. È importante notare che la 1 ton. di prodotto fresco potrebbe essere fornita al cliente come prodotto fresco o trasformato (ad es. essiccato) (come descritto nel caso LCA), ma il valore di costo è presentato per 1 ton di prodotto fresco preparato per la trasformazione (super-chilling o essiccamento), e non per tonnellata di prodotto trasformato. In generale, i confini del sistema e le unità funzionali sono stati selezionati in modo tale che i risultati di LCA e LCCA di ciascun prodotto alimentare biologico oggetto di investimento possano essere ragionevolmente confrontati per il carico ambientale e dal punto di vista del costo della catena di approvvigionamento delle materie prime alimentari.

Le analisi LCA e LCCA sono state condotte su specifiche filiere produttive, ovvero il salmone bio-

logico prodotto in Norvegia e venduto a consumatori in Norvegia ed esportato in Francia; carne biologica, frutta biologica, carota e pomodoro in Svezia (cfr. Tabella 7.1).

Poiché i risultati di LCA e LCCA sono influenzati dalle condizioni al contorno del sistema e dalle unità funzionali considerate durante l'analisi, i valori devono essere usati con cautela se confrontati con i risultati di altri studi LCA e LCCA simili. Ulteriori brevi descrizioni sono state fornite qui (vedi Figura 7.2, Tabelle 7.1). Sia per la LCA che la LCCA le fasi principali del ciclo di vita del prodotto considerate sono quelle di produzione agricola, post-raccolta e trasporto. Poiché esistono più fasi di trasporto in ciascuna filiera, nella Tabella 7.2 è fornita anche una descrizione più dettagliata sulla configurazione del trasporto. I riepiloghi dei risultati sono riportati nelle tabelle 7.3, 7.4 e 7.5 seguite da commenti utili per i operatori, imprenditori ed altri attori interessati.

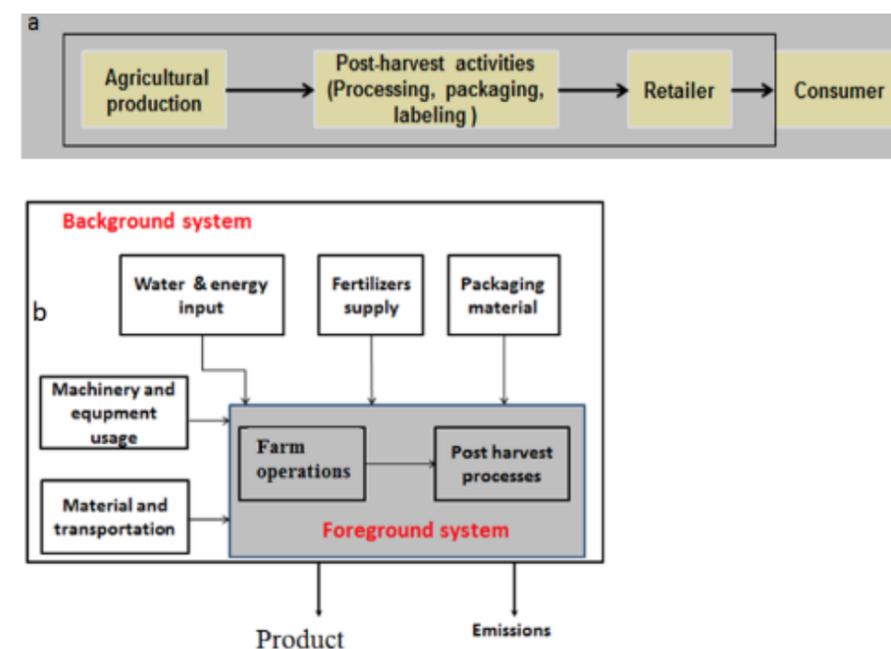


Figura 7.2: Confini del sistema: (a) Catena dei valori delle produzioni alimentari semplificata descrivente il confine del sistema dall'azienda Agricola/di allevamento al consumatore finale; (b) Diagramma di flusso semplificato che descrive i confini del sistema

Tabella 7.1: Description of systems and functional units

Catena dei valori delle produzioni alimentari in ambito di agricoltura biologica	Descrizione del sistema	Unità Funzionale
Salmone biologico (fresco)	Salmone prodotto e consumato in Norvegia	1 ton di filetti di salmone fresco all'impianto di sfilettatura che è veicolato alla vendita per il consumo

Salmone biologico (super-refrigerato/chilled)	Salmone refrigerato in condizioni di super-chilling prima della distribuzione al consumatore	1 ton di salmone refrigerato in condizioni di super-chilling che è inviato alla distribuzione al consumatore
Carne di manzo biologica (carne fresca)	Produzione di carne di manzo e consume locale in Svezia	1 ton di carne priva di osso all'uscita dall'abbattitore, che è fornita al consumatore come carne fresca
Carne di manzo biologica (carne disidratata)	Produzione di carne disidratata su essiccatore a vassoi partendo da carne fresca (74% umidità) fino al 5% di umidità finale	1 ton di carne priva di osso all'uscita dall'abbattitore, che è fornita al consumatore come carne disidratata
Mele da agricoltura biologica (prodotto fresco)	Prodotto e distribuito in Svezia. Confezionamento in scatole di cartone	1 ton di mele fresche all'uscita dall'azienda agricola e fornita al consumatore come prodotto fresco
Mele da agricoltura biologica (prodotto disidratato)	Produzione di mele disidratate in azienda locata a 80 km dalla coltivazione su essiccatore a vassoi partendo da prodotto fresco (82% umidità) fino al 11% di umidità finale	1 ton of mele fresche in uscita dall'azienda agricola che è resa disponibile al consumatore come mele disidratate
Carote da agricoltura biologica (prodotto fresco)	Coltivate e commercializzate in Svezia	1 ton di carote fresche in uscita dall'azienda agricola rese disponibili al consumatore come prodotto fresco
Carote da agricoltura biologica (prodotto disidratato)	Basato su un processo di essiccamento in azienda locata a 80 km da produzione partendo da prodotto fresco (87% umidità) fino al 12% di umidità finale.	1 ton of carote fresche in uscita dall'azienda agricola che è resa disponibile al consumatore come disidratate.
Pomodoro da agricoltura biologica (prodotto fresco)	Prodotto in Svezia in serra	1 ton di mele fresche in uscita dall'azienda agricola rese disponibili al consumatore come prodotto fresco
Pomodoro da agricoltura biologica (prodotto disidratato)	Basato su un processo di essiccamento in azienda locata a 80 km da produzione partendo da prodotto fresco (93% umidità) fino al 12% di umidità finale	1 ton of pomodoro fresco in uscita dall'azienda agricola che è resa disponibile al consumatore come disidratato.

Table 7.2: Descrizione delle fasi di trasporto considerati nei LCCA e LCCA del progetto SusOrganic

Filiera produttiva	Segmenti del trasporto
Fornitura di salmone biologico in Norvegia	Circa 580 km dalla fattoria/macello al centro di distribuzione di Oslo, e un'ulteriore distribuzione entro un raggio di 50 km
Salmone biologico (fornitura alla Francia)	Circa 580 km dalla fattoria/macello al centro di distribuzione di Oslo, e ulteriore trasporto in Francia, circa 1700 km di trasporto su strada con camion, e 95 km di trasporto marittimo con traghetto per auto.
Manzo biologico	10 km dalla fattoria al macello (trasporto di animali), 50 km dal macello al rivenditore
Mela biologica, carota biologica, pomodoro biologico	80 km dalla fattoria alla struttura di trasformazione; 50 km dal centro di lavorazione al rivenditore

Tabella 7.3: Contributi per fasi del ciclo di vita a diverse categorie di impatto per unità funzionale

Catena del valore	Categoria di impatto	Unità	Produzione agricola	Lavorazione post-raccolta ^a	Trasporto ^b	Totale
fresco salmone	CED	GJ	37.78	5.48	5.21	48.38
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	1366	108	341	1815
super chilled salmone	CED	GJ	37.78	4.69	3.59	46.06
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	1366	110	240	1715
riduzione/incremento	CED	%	0	(-)14	(-)30	(-)5
	GWP ₁₀₀	%	0	(+)2	(-)30	(-)6
manzo fresco carne	CED	GJ	6.34	1.7	0.69	8,72
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	12889	30	45	12964
manzo essiccato carne	CED	GJ	6.34	9.72	0.27	16.33
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	12889	70	18	12977
riduzione/incremento	CED	%	0	(+)472	(-)61	(+)87
	GWP ₁₀₀	%	0	(+)133	(-)60	(+)0.1
fresco mele	CED	GJ	1.32	3.33	1.46	6.11
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	34	136	95	265
essiccato mele	CED	GJ	1.32	7.51	0.84	9.68
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	34	55	55	143
riduzione/incremento	CED	%	0	(+)125	(-)43	(+)58
	GWP ₁₀₀	%	0	(-)60	(-)43	(-)46
fresco carote	CED	GJ	0.31	1.22	1.12	2.64
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	35	14	73	121

essiccato carote	CED	GJ	0.31	5.7	0.67	6.67
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	35	33	44	111
riduzione/incremento	CED	%	0	(+)367	(-)40	(+)153
	GWP₁₀₀	%	0	(+)141	(-)40	(-)8
fresco pomodoro	CED	GJ	41	2.17	1.42	44.58
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	366	88	93	547
essiccato pomodoro	CED	GJ	41	7.60	0.80	49.40
	GWP ₁₀₀	kg CO2 eqc	366	49	52	467
riduzione/incremento	CED	%	0	(+)250	(-)44	(+)11
	GWP₁₀₀	%	0	(-)45	(-)43	(+)15

a) La fase post-raccolta include il processo di essiccamento; b- La fase di trasporto comprende il trasporto dalla fattoria alla struttura di trasformazione e dalla struttura alla vendita al dettaglio e quindi al cancello del consumatore; c-kg CO2 equivalente.

Tabella 7.4: Tabella 7.4: Influenza della domanda di efficienza energetica per l'essiccamento del pomodoro sulle emissioni di CED e GHG

Categoria di impatto	CED		GHG emissioni	
	GJ	cambiamenti in %	kg CO2 eq	cambiamenti in %
Considerando tutte le fasi del ciclo vitale				
30% di riduzione	47.18	(-)4.5	455.07	(-)2.7
Scenario base*	49.40	0	467.44	0
30% di incremento	51.62	(+)4.5	479.81	(+)2.7
Esclusa la fase di produzione agricola				
30% di riduzione	6.18	(-)26.42	88.68	(-)12.24
Scenario base*	8.40	0	101.05	0
30% di incremento	10.62	(+)26.42	113.42	(+)12.24

* Lo scenario di base è l'energia di essiccamento considerata nella catena del valore del pomodoro essiccato indicata nella precedente tabella 11.2.

Tabella 7.5: Stima dei costi del ciclo vitale e loro contributo al costo totale per unità funzionale

Catena del valore per produzioni biologiche	Unità ^a	produzione agricola	Fase di lavorazione post-raccolta ^b	Fase di trasporto	Totale
Salmone fornito in Norvegia (con normale catena del freddo)	€	6213	475	27	6715
Salmone fornito in Norvegia (Supper-chilled)	€	6213	494	18	6725

Riduzione/incremento	%	0	(+)4.0	(-)33.33	(+)0.15
Salmone fornito in Francia (catena del freddo normale)	€	6213	475	106	6794
Salmone fornito in Francia (supper-chilled)	€	6213	494	71	6778
Riduzione/incremento	%	0	(+)4	(-)33	(-)0.24
Mele fresche	€	1865	482	42	2391
Mele essiccate	€	1865	643	27	2537
Riduzione/incremento	%	0	(+)33.4	(-)36	(+)6
Carne di manzo fresca	€	6326	14204 ^c	1550	22080
Carne di vitello disidratata	€	6326	14204 ^c	885	21964
Riduzione/incremento	%	0	(+)4	(-)42	(+)0.5

a) I valori sono dati per unità funzionale ma non per tonnellata di prodotto finale; b-Include l'imballaggio in questa fase; c)Stima basata su un margine operativo medio del 4,4% a livello di lavorazione e vendita al dettaglio che potrebbe essere superiore in alcuni casi

7.3. Lezioni da studi LCA e LCCA

I risultati LCA del progetto SusOrganic sono stati riassunti nella Tabella 7.3. I valori indicano il CED totale in giga joule (GJ per unità funzionale) e le emissioni di GHG in kg CO2 equivalente (kg CO2 eq per unità funzionale), nonché il contributo di tre fasi principali del processo produttivo: fase di produzione agricola, lavorazione post-raccolta / fase di manipolazione e fase di trasporto per unità funzionale. La Tabella 7.4 presenta un esempio che illustra come il miglioramento dell'essiccamento possa ridurre il carico ambientale.

Sulla base dei risultati LCA nell'ambito dei confini del sistema e delle unità funzionali definiti, sono state evidenziate alcune lezioni importanti:

- I processi produttivi del salmone e del pomodoro biologici sono ad alta intensità energetica. La richiesta di energia totale per il salmone biologico è di circa 48 GJ per il normale caso di fornitura della catena del freddo e di circa 49 GJ per il super-chilled. Circa l'80% dell'energia immessa è nella fase di produzione del salmone, il che indica che la produzione di mangime e le fasi di crescita del salmone richiedono maggiore attenzione al miglioramento.
- Il valore CED totale per il caso di fornitura di pomodoro fresco è di circa 45 GJ, mentre è di circa 49 GJ per il caso di pomodoro essiccato. Circa il 90% dei 45 GJ viene consumato in azienda a causa dell'alta energia per il riscaldamento delle serre e di altre attività agricole. Pertanto, dal punto di vista energetico, la fase di produzione agro-culturale è un hot-spot che potrebbe compromettere la sostenibilità della coltivazione di pomodori biologici coltivati in serra in Svezia.
- Per quanto riguarda le emissioni di gas serra, la carne bovina biologica ha il massimo impatto con circa 12964 kg di CO2 eq nel caso della fornitura di carne fresca e 12977 kg di CO2 eq

per il caso di carne secca. Accanto alla carne bovina, il salmone biologico ha un alto valore di emissione di gas serra con una catena del freddo normale di CO2 di 1815 kg e un eq di CO2 di 1715 kg per il caso di fornitura di salmone super-chilled.

- Il processo di essiccamento aumenta la richiesta di energia nella fase di lavorazione mentre riduce in qualche caso le emissioni di gas serra. Tuttavia, tale processo riduce la domanda di energia che le emissioni di gas serra nelle fasi di trasporto rispetto ai casi di fornitura di prodotti freschi.
- In quasi tutti i casi, il processo di essiccamento ha ridotto l'emissione totale di gas serra in ciascuna catena produttiva. La riduzione varia dall'8% (caso di carota biologica) al 46% (caso di mele biologiche).
- Un ulteriore miglioramento dell'efficienza nel trattamento degli alimenti (ad esempio essiccamento), porta alla riduzione del carico ambientale. Ad esempio, se l'energia di essiccamento viene ridotta del 30%, la domanda di energia e le emissioni di gas serra dalle fasi di lavorazione e trasporto (esclusa la fase agricola) nel caso della catena del valore del pomodoro biologico potrebbero essere ridotte rispettivamente del 26% e del 12% (cfr.).
- Oltre a migliorare l'efficienza energetica nelle fasi di produzione agricola e post-raccolta, l'introduzione di energia rinnovabile è importante laddove applicabile, per migliorare la sostenibilità dei prodotti alimentari biologici.

La Tabella 7.4 mostra alcuni risultati dell'LCCA calcolati in diverse fasi di produzione. Nel caso della produzione del salmone biologico, il processo di super-chilling riduce il costo del trasporto di circa il 33%. Tuttavia, le fasi di allevamento e di trasformazione del salmone (compresi gli imballaggi) rappresentano rispettivamente circa il 92% e il 7% del costo totale di produzione e un maggiore sforzo di miglioramento in queste fasi potrebbe migliorare la sostenibilità del salmone biologico.

Nel caso della filiera delle mele biologiche, il processo di essiccamento ha aumentato il costo totale del 6% rispetto al caso di fornitura di prodotti freschi. Il costo alla fase di lavorazione post-raccolta è aumentato di circa il 33% mentre il costo del trasporto è stato ridotto del 36%. Ciò significa che, in caso di distanza di distribuzione più lunga, il vantaggio in termini di costi aumenta rispetto al caso della fornitura di mele fresche.

A livello di azienda agricola, il costo di produzione delle carni bovine è stimato essere superiore al prezzo di vendita degli animali da macello indicando che è necessario un aiuto alla produzione biologica per promuovere la produzione biologica di carni bovine nel caso della Svezia. I costi relativi alle fasi di lavorazione e trattamento delle carni bovine sono stati calcolati sulla base di un margine operativo medio del 4,4% a livello di lavorazione e di vendita al dettaglio che in alcuni casi potrebbe essere più elevato. I margini di profitto più elevati indicano che i costi operativi a livello di lavorazione e vendita al dettaglio potrebbero essere ridotti, il che a sua volta aumenta la sostenibilità economica complessiva della catena di valore della carne biologica. In generale, il processo di essiccamento aumenta i costi in fase di lavorazione, ma può essere svestito dalla diminuzione della domanda di trasporto e degli imballaggi.

8. Essiccamento degli alimenti e relativa logistica alimentare

SLU, Dipartimento di Energia e Tecnologia, Svezia
Gebresenbet, G. & Bosona, T.

8.1. Introduzione

Al fine di sostenere e migliorare le FVC, sono indispensabili cambiamenti più sistemici in tutte le filiere alimentari. Questi potrebbero includere l'introduzione di processi di produzione e trattamenti più efficienti (ad esempio essiccamento), conservazione, conservazione e trasporto a livello regionale o aziendale. Aumentare la produzione di cibo in aree più produttive, in modo che le fattorie nell'area possano nutrire la comunità all'interno della regione con costi ambientali ed economici inferiori, potrebbe ridurre la necessità di importare cibo da lunga distanza. Tale produzione alimentare locale dovrebbe essere integrata con la produzione di alimenti biologici per aumentare i benefici ambientali e sociali dei consumatori alimentari locali.

Dal punto di vista ambientale e della sostenibilità, sono necessarie ulteriori indagini incentrate sulle fasi post-raccolta degli alimenti. C'è un numero enorme di ricerche sul settore alimentare finora, tuttavia, l'attenzione si è concentrata principalmente sulla fase di produzione agricola. Le fasi successive alla raccolta come lo stoccaggio, il confezionamento, il trasporto e la perdita di cibo lungo le FVC hanno ricevuto meno attenzione (Hammond et al., 2015).

Non è solo la carenza di cibo che promuove il trasporto alimentare a lunga distanza con maggiori problemi di sostenibilità. La variazione del costo di produzione in diverse regioni porta al trasporto di cibo da una regione all'altra. Allo stesso modo la differenza climatica e la variazione stagionale della produzione sono le ragioni del trasporto alimentare a lunga distanza (Borg et al., 2016). La tabella 8.1 presenta il volume e il valore dell'Europa del commercio di prodotti alimentari nel 2012 e nel 2016. Indica in che modo il commercio di prodotti alimentari è aumentato sia in volume che in valori. I volumi delle importazioni e delle esportazioni sono aumentati rispettivamente del 6% e del 42% dal 2012 al 2016. Questa tendenza in aumento nel volume degli scambi alimentari significa un aumento del trasporto alimentare a lunga distanza con un aumento degli oneri ambientali e dei vincoli economici e sociali.

Tabella 8.1: Esempio di commercio internazionale di prodotti alimentari in Europa (Eurostat, 2017)

Anno	Importare in Europa		Esportare dall'Europa	
	Milioni di tonnellate	Bilioni di Euro	Milioni di tonnellate	Bilioni di Euro
2012	87.74	85,6	64	70
2016	93	101	91	84
Incremento (%)	6	18	42	20

Fonte: Eurostat (2017)

8.1.1. Processo di essiccamento e trasporto di alimenti

L'essiccamento degli alimenti potrebbe svolgere un ruolo importante in questa tendenza

crescente del trasporto di cibo sia in termini di volume di trasporto che di distanza (vedi Tabella 8.1). Ciò può essere attuato introducendo strutture di trattamento efficaci ed economiche a produttori di alimenti locali o regionali per ridurre il trasporto di alimenti freschi e ridurre l'importazione nella regione e anche mediante la trasformazione dei prodotti alimentari prima del trasporto a lunga distanza.

I processi di essiccamento degli alimenti influenzano non solo gli aspetti della qualità del cibo, ma anche i servizi e la gestione della logistica alimentare. In questo caso, il termine logistica alimentare considera il trasporto di cibo, l'imballaggio, le strutture di stoccaggio e le informazioni relative al movimento di prodotti alimentari lungo la catena di approvvigionamento. In una prospettiva più ampia, la gestione della logistica può essere definita come „la parte della gestione della catena di approvvigionamento che pianifica, implementa e controlla il flusso e lo stoccaggio efficiente ed efficace di merci, servizi e informazioni correlate tra il punto di origine e il punto di consumo per soddisfare le esigenze dei clienti „(CSCMP, 2011). Pertanto, qualsiasi miglioramento nei servizi di logistica alimentare e le prestazioni di gestione della logistica portano alla sostenibilità di FVC. A tale riguardo, la logistica alimentare svolge un ruolo importante nel migliorare la sostenibilità della produzione e dell'offerta di alimenti biologici. In questo documento, il ruolo del trasporto, dell'imballaggio e della conservazione degli alimenti e il modo in cui le pratiche di essiccamento appropriate potrebbero influenzare l'aspetto logistico, sono stati descritti con esempi del progetto SusOrganic. Nel caso del progetto SusOrganic, il caso della distribuzione locale del prodotto è stato assunto nella maggior parte dei casi (vedere la Tabella 8.2).

8.1.2. Essiccamento degli alimenti ed impatto sulla shelf-life e sulle perdite alimentari

L'aumento della distanza e del volume di trasporto di alimenti aumenta e la popolazione urbanizzata deve essere energeticamente efficiente. A questo proposito, le navi mercantili sono più efficienti per il trasporto su lunghe distanze rispetto a camion, treni o aeroplani (Harmond et al., 2015). Alcuni alimenti come pesce, carne, frutta e verdura fresca hanno una shelf-life breve e questi alimenti richiedono un trasporto ad alta velocità per evitare deterioramenti e soddisfare i consumatori, il che comporta costi di trasporto elevati. Pertanto, l'introduzione di processi di trasformazione di alimenti come l'essiccamento svolge un ruolo importante nel ridurre i costi di trasporto. Il processo di essiccamento aumenta la shelf life degli alimenti, il che a sua volta evita il bisogno di un trasporto alimentare veloce e costoso. Oltre a ridurre il volume di trasporto, l'essiccamento degli alimenti evita l'uso di energia aggiuntiva per la refrigerazione o il congelamento durante il trasporto di alimenti dalle aziende agricole fino ai consumatori. Introducendo tale tecnica, le aziende agricole produttrici su piccola scala di alimenti biologici prodotti e distribuiti localmente potrebbero ridurre i costi di trasporto, la perdita di cibo e creare maggiori opportunità di mercato.

La perdita di alimenti è uno dei problemi nel settore alimentare. In tutte le catene di approvvigionamento alimentare globali (compresi i settori degli alimenti biologici e convenzionali) si stima che circa 1,3 miliardi di tonnellate di cibo commestibile vengano perse ogni anno (Corrado et al., 2016). A causa delle sue preoccupazioni ambientali, economiche e sociali, la perdita di

cibo dovrebbe ricevere maggiore attenzione. Spreco di cibo significa spreco di risorse utilizzate come input durante la produzione, la lavorazione, l'imballaggio, lo stoccaggio e la distribuzione di cibo. Questi includono energia, risorse naturali (ad esempio acqua, terra) e risorse umane. La Tabella 8.2 presenta la perdita stimata di cibo e la relativa perdita di risorse.

Tabella 8.2: Perdita di cibo stimata e perdita di risorse associate nelle filiere alimentari globali

Descrizione dell'articolo	Unità	Quantità
Spreco alimentare annuale attraverso la filiera alimentare globale	Bilioni di tonnellate	1.3
Acqua usata per produrre il cibo perduto sopra indicato	Metri cubi	80 000
Terreno utilizzato per produrre il cibo perduto sopra indicato	Bilioni di ettari	1.4
Emissioni di GHG associate alla suddetta perdita di cibo	Giga tonnellate di CO2 equivalenti	3.3

Fonte: Corrado et al. (2016).

La perdita di cibo nelle fasi a valle della catena di approvvigionamento è associata a ulteriori perdite di risorse oltre alla perdita di cibo commestibile. È importante notare che il cibo perso dopo la fase di confezionamento aumenta il carico ambientale e la perdita economica. Prodotti alimentari trasformati, ad es. i prodotti essiccati devono essere in grado di resistere al trasporto e alla movimentazione e di arrivare in condizioni soddisfacenti nel luogo di destinazione (UN-ECE, 2007). In generale, se il prodotto alimentare trasformato viene sprecato in fasi di vendita al dettaglio o di consumo, è associato a una maggiore perdita di risorse rispetto ai rifiuti alimentari a livello di azienda agricola, perché, nelle fasi a valle delle filiere alimentari, vengono utilizzati più input di risorse per l'elaborazione, movimentazione e trasporto. Questo è stato spiegato con esempi dal progetto SusOrganic. Le Figure 8.1 illustrano come una perdita di cibo pari all'1% dell'unità funzionale (cioè equivalente a 10 kg di prodotto fresco alla porta della fattoria) può aumentare la domanda cumulativa di energia (CED) e le emissioni di GHG. La Figura 8.1 presenta un tipico esempio di come la domanda di energia sia aumentata a causa della perdita di cibo lungo la catena del valore. Si nota che la perdita di carne secca a livello dei consumatori ha aumentato la perdita di energia di circa il 160% rispetto alla perdita equivalente a livello di porta di campagna. Allo stesso modo, la perdita di pomodoro essiccato al consumatore ha aumentato la perdita di energia di oltre il 130% rispetto alla perdita di prodotto equivalente in fase di produzione agricola.

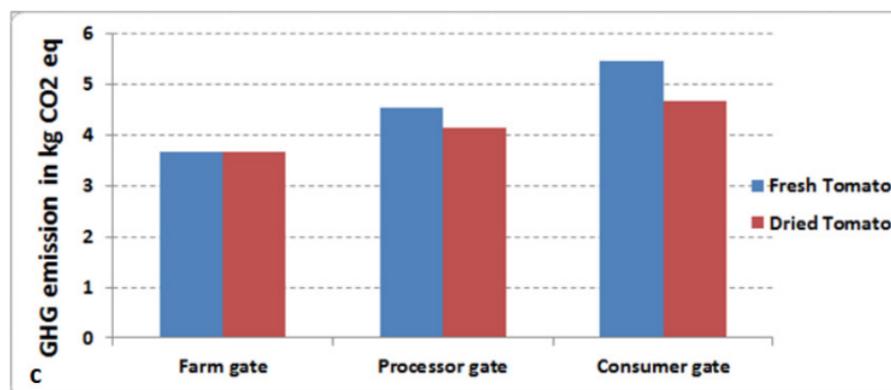
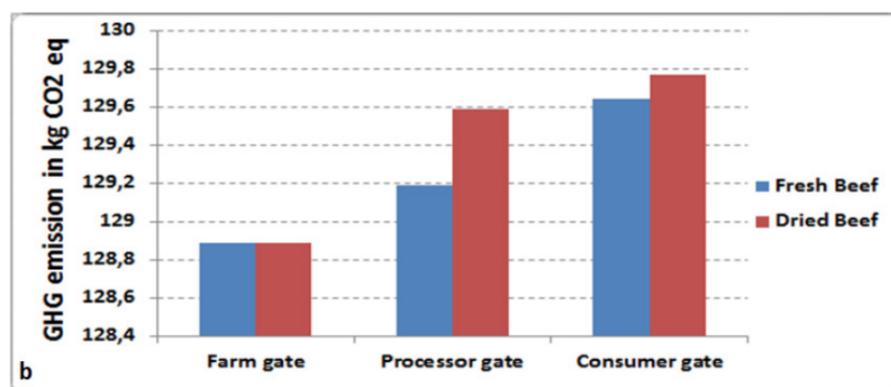
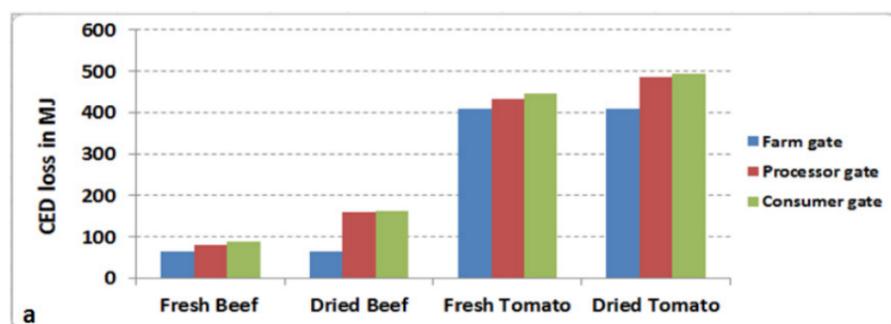


Figura 8.1: Illustrazione tipica di un ulteriore carico ambientale dovuto a una perdita di prodotto equivalente all'1% di FU, ovvero 10 kg di prodotto fresco a livello di azienda agricola. a) impatto della perdita di cibo sulla domanda cumulativa di energia della filiera biologica di carni bovine e pomodori; (b) impatto della perdita di prodotto sulle emissioni di GHG della catena del valore della carne bovina; (c) impatto della perdita di prodotto sulle emissioni di GHG dalla catena del valore del pomodoro biologico

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra, vi è un aumento di circa l'1% (sia per i casi di approvvigionamento di carne fresca che di carne secca) delle emissioni sostenute a causa della perdita di carne bovina a livello dei consumatori rispetto alla perdita a livello di azienda agricola. Tuttavia, le emissioni sostenute a causa della perdita di prodotto di carne bovina (equivalente

a 10 kg di carne fresca in allevamento) sono significative, vale a dire fino a 130 kg di CO₂ eq per unità funzionale (cfr. Figura 8.2 b).

Nel caso del pomodoro, l'emissione di GHG sostenuta a causa della perdita di prodotto è inferiore rispetto al caso di fornitura di carne bovina (cfr. Figura 8.2 c). Tuttavia, l'emissione dovuta alla perdita di pomodoro fresco a livello del consumatore è di circa 5,5 kg CO₂eq, che è superiore del 49% rispetto alla perdita equivalente nella fase agricola. Per i pomodori secchi, questi valori saranno rispettivamente di 4,7 kg di CO₂ eq e del 28%. Ciò indica che quando implementato in modo efficace, il processo di essiccazione presenta molteplici vantaggi dal punto di vista ambientale:

- i. Aumenta la shelf life del prodotto che a sua volta riduce la perdita del prodotto;
- ii. Riduce le emissioni complessive di gas serra della catena di produzione del pomodoro a causa della riduzione del volume degli imballaggi e dei trasporti (cfr. Tabella 8.3); e
- iii. La perdita di pomodoro essiccato al consumatore è associata ad una minore emissione di GHG in confronto alla perdita equivalente di pomodoro fresco a livello del consumatore.

Tuttavia, il processo di essiccamento dovrebbe essere integrato con un imballaggio alimentare più rispettoso dell'ambiente. L'imballaggio alimentare sostenibile consente di promuovere il settore degli alimenti biologici di produzione locale. L'imballaggio alimentare dovrebbe essere rispettoso dell'ambiente, di facile utilizzo per i consumatori e economicamente vantaggioso da parte dei produttori alimentari, in particolare dai produttori di alimenti biologici su piccola scala. Tale imballaggio alimentare sostenibile consente di preservare la freschezza del cibo, aumentarne la durata e ridurre la perdita di cibo. Ciò a sua volta riduce l'onere ambientale nella catena del valore alimentare, aumenta la soddisfazione dei consumatori e riduce il costo della produzione alimentare.

Ad esempio, l'uso di materiali di imballaggio in plastica causa meno emissioni di gas serra (GHG) rispetto all'uso di imballaggi in carta e cartone. Uno schema di contenitori di verdure biologiche nel Regno Unito ha indicato come potrebbe ridurre le emissioni di gas serra dovute agli imballaggi del 70% se utilizza scatole di plastica invece di scatole di cartone (The Guardian, 2010). Allo stesso modo, i risultati LCA del progetto SusOrganic indicavano che la scatola di cartone usata come imballaggio per il trasporto poteva aumentare l'emissione di gas serra e il consumo di energia. Ad esempio, l'uso della scatola di cartone per l'imballaggio (oltre agli imballaggi in plastica) potrebbe contribuire per circa il 94% e il 24% delle emissioni di GHG dalla fase post-raccolta della catena del valore della mela fresca (123 kg di CO₂ eq) e della catena del valore della mela essiccata (55 kg CO₂ eq), rispettivamente. Per quanto riguarda il CED, l'uso del cartone contribuirà all'incirca all'89% del valore totale del CED (3,3 GJ per unità funzionale) stimato per la fase di lavorazione e trattamento post-raccolto. Per quanto riguarda la mela essiccata, il contributo del cartone è pari al 4% di 7,5 GJ di energia assorbita in fase post-raccolta.

Allo stesso modo, l'uso di imballaggi di cartone per carni fresche di manzo contribuisce al 57% del valore di CED (4 GJ) e circa il 77% delle emissioni totali di gas serra (134 kg di CO₂ eq) dalla fase di lavorazione (incluso macellazione e confezionamento). Per il caso di carne secca, le cifre saranno il 6% del valore CED (10,32 GJ) e il 28% delle emissioni di GHG (97 kg di CO₂ eq) dalla

London, Moscow.

DDP-19: concerning the marketing and commercial quality control of DRIED TOMATOES. 2007 edition, United Nations. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/dry/dry_e/19DriedTomatoes_e.pdf. [Accessed on 2016-12-12].

UNECE (2007). UNECE STANDARD Giovannoni E. and Fabietti G. (2014). What Is Sustainability? A Review of the Concept and Its Applications. Integrated Reporting, DOI: 10.1007/978-3-319-02168-3_2.

UN (2017). The Sustainable Development Goals Report 2017 of United Nations. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017.pdf>.

Capitolo II Refrigerazione e congelamento

II. I SUPERCHILLING

1. Concetto di superchilling

SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway
Bantle, et al.

La sicurezza alimentare è una delle molte sfide che l'umanità deve affrontare in futuro e dipende strettamente dalla popolazione crescente, dalla superficie agricola disponibile e dalle risorse energetiche del pianeta. L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e la cultura agricola (FAO) stima che ogni anno circa un terzo di tutto il cibo prodotto per il consumo umano nel mondo sia perso o sprecato (FAO, 2013). Queste perdite rappresentano un'opportunità mancata per la sicurezza alimentare globale, soprattutto se si considerano le risorse agricole limitate e il fatto che ancora circa 1 miliardo di persone soffre la fame. La FAO identifica, tra le altre cose, l'industria della carne come un punto di riferimento ambientale globale legato allo spreco alimentare da prendere in considerazione dai decisori che desiderano impegnarsi nella riduzione dei rifiuti. Anche se i volumi di spreco di carne sono relativamente bassi, generano un impatto sostanziale sull'ambiente in termini di occupazione del suolo e impronta di carbonio, specialmente nelle regioni ad alto reddito dove circa il 67% della carne viene sprecata e in America Latina.

Il mercato della carne biologica in Norvegia è piccolo e solo la metà della carne prodotta biologicamente è venduta con etichettatura biologica. Le ragioni di ciò non sono investigate in questo progetto, tuttavia, durante il contatto con i piccoli produttori è risultato chiaro che si perde tempo prezioso nella catena del freddo tra macellazione, lavorazione e imballaggio prima che il prodotto sia pronto per raggiungere il mercato. In alcuni casi, i piccoli produttori non hanno l'infrastruttura / possibilità di macellare e devono inviare i propri animali a macelli certificati. Dopo la macellazione, la carne grezza non trasformata viene rispedita ai produttori per un'ulteriore lavorazione e / o imballaggio ed etichettatura. Poi, la carne può essere spedita al rivenditore. La carne biologica è quindi conservata alcuni giorni prima che il consumatore abbia la possibilità di acquistarla a causa delle distanze, del luogo di produzione e del tempo necessario per il trasporto e la lavorazione. Di conseguenza, la carne biologica è già esposta a una riduzione della qualità rispetto alla carne prodotta tradizionalmente nel supermercato. Si può stimare che la durata di conservazione della carne biologica sia ridotta del 50% in alcuni casi rispetto alla carne convenzionale. Le possibilità di prolungare la durata di conservazione e migliorare la qualità della carne biologica aiuterebbero i produttori a essere più competitivi sul mercato. Permetterebbe inoltre ai produttori locali di raggiungere mercati lontani, che al momento non sono sfruttati a causa dei tempi di trasporto.

La carne e i prodotti a base di pesce sono per lo più preservati dai processi di refrigerazione tradizionali e devono essere sostenuti attraverso la catena del freddo dagli impianti di produzione fino a raggiungere il consumatore. La conservazione sotto forma di essiccamento, essiccamento

a secco o salatura viene applicata anche per carne e pesce. Rispetto alla produzione globale di carne e pesce, ciò rappresenta un volume non sostanziale. Oggi la maggior parte degli impianti di stoccaggio moderni ha installato sistemi di refrigerazione, impianti di refrigerazione / congelamento e celle frigorifere, che soddisfano anche determinate esigenze in materia di efficienza energetica e impatto ambientale. A livello mondiale, il trasferimento delle persone nelle aree urbane ha richiesto più conservazione del cibo, trasporti e una maggiore distribuzione di alimenti deperibili.

Il comportamento dei consumatori, in particolare nelle regioni ad alto reddito, richiede carne e prodotti ittici di alta qualità, che soddisfano i requisiti di salute e sicurezza nella catena di approvvigionamento. Soprattutto l'industria di produzione e trasformazione nella catena del freddo si trova ad affrontare sfide durante la conservazione e la distribuzione di prodotti freschi deperibili. I fattori più importanti per la qualità della carne e dei prodotti ittici sono la temperatura e il tempo di conservazione, che influiscono direttamente sulla durata e sulla qualità di conservazione. Per temperature di stoccaggio costanti, la durata di conservazione di un prodotto è una semplice funzione del tempo di conservazione (ad esempio figura 1.1.1). Per ciascun prodotto, si verificano determinate variazioni della durata di conservazione a seconda delle variazioni del prodotto nonché della lavorazione e dell'imballaggio.

I paesi industriali hanno normalmente una catena del freddo sufficiente in cui le diverse parti sono controllate durante la produzione, la lavorazione, il trasporto e lo stoccaggio. Diversi studi e misurazioni hanno evidenziato che i segmenti di trasporto e vendita hanno difficoltà a mantenere la temperatura massima richiesta della catena del freddo. Ciò include errori e mancanza di raffreddamento nelle operazioni di trasporto (Hemmingsen et al., 2004).

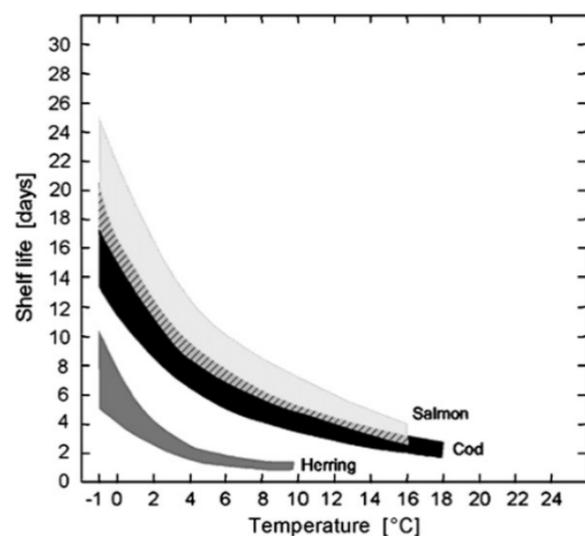


Figura 1.1.1: Durata di conservazione generalmente accettata per le specie di pesci norvegesi selezionate. L'area ombreggiata mostra gli effetti stimati dell'elaborazione del prodotto (Magnussen, 1993)

Il superchilling è principalmente un congelamento parziale di un prodotto con un contenuto di ghiaccio dal 5% al 20% (Kaale et al., 2011). Non esiste una definizione di superchilling comune-

mente concordata in letteratura e in alcune pubblicazioni un contenuto di ghiaccio fino al 30% era considerato superchilling. L'idea principale del su-perchilling è che il prodotto appare non congelato nonostante la presenza di ghiaccio. Quindi, la quantità accettabile di formazione di ghiaccio deve essere considerata per ciascun prodotto. In letteratura, il termine super-raffreddamento può essere trovato per i prodotti alimentari, che è diverso dal superchilling. I prodotti super raffreddati vengono anche conservati a temperature inferiori al punto di congelamento iniziale, ma senza la presenza di ghiaccio all'interno della matrice alimentare. Questo è raggiunto dalla speciale manipolazione del prodotto che evita la nucleazione iniziale del ghiaccio. I prodotti superchillati, al contrario, avranno una certa frazione di ghiaccio presente all'interno della matrice alimentare.

La sfida per la produzione di un prodotto eccellente è come controllare la quantità di formazione di ghiaccio. L'acqua presente nel cibo è incorporata all'interno del materiale solido del prodotto e la formazione di ghiaccio nei prodotti alimentari avviene in un determinato intervallo di temperatura. Ciò è in contrasto con la formazione di ghiaccio di acqua pura che si verifica esattamente a 0 °C e la temperatura di una miscela di acqua e ghiaccio puro può essere prima ridotta a 0 °C quando tutta l'acqua liquida viene congelata sul ghiaccio. Per i prodotti alimentari il punto di congelamento iniziale è normalmente uno o due Kelvin sotto il punto di congelamento dell'acqua e la temperatura del prodotto può essere ulteriormente ridotta (normalmente fino a circa 20 °C) nonostante il fatto che l'acqua liquida, non congelata, sia presente. Ciò è illustrato nella Figura 1.1.2 e nella Figura 1.1.3, dove la variazione nell'entalpia specifica per prodotti alimentari è una curva liscia che inizia dal punto di congelamento iniziale e si estende su un certo intervallo di congelamento; invece di una brusca caduta alla temperatura di congelamento. L'acqua nel prodotto è in parte presente come ghiaccio e in parte presente come acqua liquida anche a temperature fino a 20 °C (anche illustrato nella Figura 1.1.2). Di conseguenza, la quantità di ghiaccio presente per un determinato prodotto dipende dalla temperatura e se la temperatura di conservazione viene controllata a un certo livello di temperatura stabile, è possibile controllare anche la quantità di ghiaccio formatosi nel prodotto.

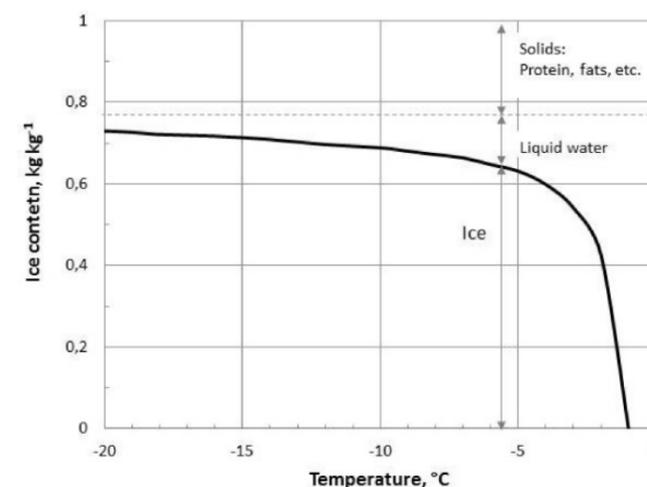


Figura 1.1.2: Energia nei prodotti alimentari sull'esempio dei filetti di merluzzo, secondo Valentas (1997)

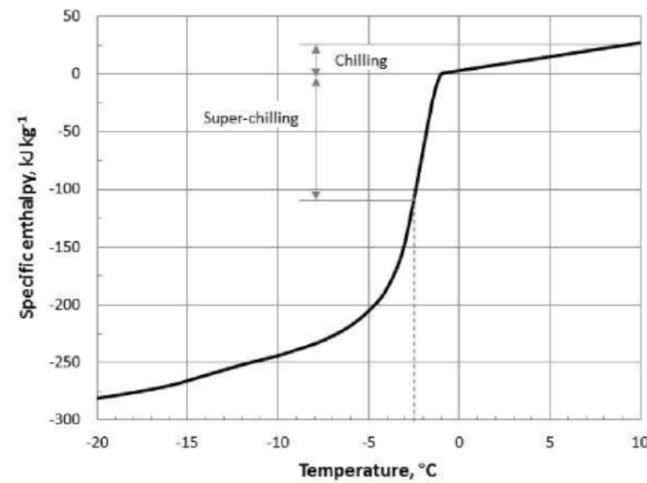


Figura 1.1.3: Contenuto di ghiaccio nei prodotti alimentari sull'esempio dei filetti di merluzzo, secondo Valentas (1997).

In letteratura sono descritti diversi metodi per ottenere condizioni di superchilling nei prodotti alimentari. Per raggiungere condizioni ottimali, è necessario identificare la temperatura alla quale il prodotto formerà / contenga la quantità di ghiaccio desiderata. Uno dei metodi più facili, ma non i migliori, è quando il prodotto viene collocato a questa temperatura in un magazzino. Il prodotto raggiungerà condizioni super-refrigerate dopo un certo periodo di tempo, a seconda del trasferimento di calore tra il prodotto e l'ambiente di conservazione. Tuttavia, le indagini sperimentali mostrano un controllo piuttosto scarso della frattura del ghiaccio, quando il prodotto viene semplicemente inserito in una certa temperatura eccessivamente elevata. La formazione di ghiaccio richiederà molto tempo (> 1-2 giorni) e varierà con l'effettiva resistenza al calore del prodotto e del sistema di stoccaggio. Quindi, collocando il prodotto in condizioni di conservazione superflue si ottengono due problemi pratici: in primo luogo, la struttura di stoccaggio funzionerà come un congelatore parziale, che fornisce chal-lenges per il dimensionamento, l'imballaggio, la distribuzione della temperatura e il controllo della frazione di ghiaccio. Secondo, il tempo di accumulare la quantità di ghiaccio parziale sarà molto lungo, poiché il trasferimento di calore è limitato dalla bassa differenza di temperatura tra il prodotto e le condizioni ambientali, oltre alla resistenza al trasferimento di calore e alle variazioni del prodotto SINTEF ha valutato e testato un concetto di superchilling che si basa sul congelamento iniziale rapido del guscio utilizzando un congelatore rapido convenzionale prima di immagazzinare il prodotto a temperature eccessive. Durante il congelamento, lo strato esterno del prodotto viene congelato. Il tempo di congelamento è relativamente breve, solo 1-3 minuti, a seconda del prodotto e delle dimensioni del prodotto. A causa dell'alto coefficiente di scambio termico e della temperatura dell'aria di congelamento di ca -40 °C, il tempo di congelamento è relativamente breve. Le condizioni devono essere valutate con precisione relativamente al tempo di congelamento, alle dimensioni del prodotto, al coefficiente di trasferimento del calore e alla differenza di temperatura (tra l'aria e il prodotto) al fine di determinare la corretta quantità di formazione di ghiaccio. Lo scopo della surgelazione è di produrre tutto il ghiaccio che è richiesto durante lo stoccaggio superchilled prima che il prodotto sia messo in magazzino. Con questa procedura è garantito che lo stoccaggio superchill deve solo sostenere una certa temperatura e che non viene creato alcun carico di calore per la formazione di ghiaccio.



Figura 1.4: Le diverse fasi del super riscaldamento degli alimenti: l'acqua presente nel prodotto è parzialmente congelata e dopo un certo periodo di tempo è presente una miscela di acqua e ghiaccio all'interno della struttura del prodotto.

Durante la conservazione di prodotti alimentari surriscaldati, il ghiaccio nella parte esterna del prodotto si distribuisce lentamente uniformemente nella matrice alimentare, quindi il ghiaccio congelato a guscio scomparirà e il prodotto apparirà fresco. Come risultato finale, il prodotto ad alta concentrazione avrà una certa quantità di ghiaccio uniformemente distribuita attraverso il prodotto e la temperatura del prodotto è inferiore al suo punto iniziale di congelamento. L'aspetto del prodotto è ancora come un normale prodotto refrigerato e non è possibile sentire o vedere l'attuale frazione di ghiaccio. La relazione tra la frazione di ghiaccio e la temperatura di conservazione è indicata per alcuni prodotti selezionati nella Tabella 1.1. Questo argomento è ampiamente discusso in letteratura (Valentas 1997, ASHRAE 2006), tuttavia, con particolare attenzione all'intero intervallo di temperature per il congelamento (fino a 25 °C). Si consiglia quindi di determinare questa relazione in più dettagli per prodotti specifici nell'intervallo di temperatura di superchilling.

Tabella 1.1.1: Relazione tra temperatura di conservazione e frazione di ghiaccio per alcuni prodotti selezionati (Tolstorebrov et al., 2014). Le variazioni del prodotto rendono necessario valutare singolarmente la frazione di ghiaccio.

Prodotto	Temperatura di stoccaggio (superchilled)	Quantità di ghiaccio	Punto iniziale di congelamento
Filetto di salmone	- 1.8 °C	6.3 %	-1.6 °C
	- 2.2 °C	18.2 %	
	- 2.6 °C	26.9 %	
Trota	- 2.2 °C	8.2 %	-2.0 °C
	- 2.6 °C	21.8 %	
	- 3.0 °C	27.0 %	
Sgombro	- 1.8 °C	6.3 %	-1.6 °C
	- 2.2 °C	18.2 %	
	- 2.6 °C	29.3 %	

Aringa	- 1.8 °C	4.0 %	-1.6 °C
	- 2.2 °C	11.6 %	
	- 2.6 °C	18.7 %	
Merluzzo (acquacultura)	- 1.2 °C	10.2 %	-1.0 °C
	- 1.6 °C	27.9 %	
	- 2.0 °C	38.6 %	
Manzo, magro (Valentas 1997)	- 1.0 °C	5 %	n.a.
	- 2.0 °C	45 %	

1.1. Stato dell'arte

La ragione principale per cui applicare il concetto di superchilling a un prodotto è la possibilità di estendere la durata di conservazione del prodotto fresco. La durata di conservazione di un prodotto dipende da diversi fattori tra questi la temperatura di stoccaggio ha un'influenza dominante. Altri fattori come l'igiene di lavorazione, lo stress meccanico, l'imballaggio e le variazioni del prodotto avranno anche un'influenza, il che rende difficili le valutazioni comparative di diversi studi. Tuttavia, la temperatura nella conservazione superchill è inferiore di circa 5 - 10 gradi Kelvin rispetto al deposito refrigerato tradizionale e questa riduzione della temperatura è raggiunta dal concetto di superchilling.

Duun e Rustad (2007) studiando il superchilling di filetti di merluzzo d'allevamento hanno mostrato una shelf life di circa 2 settimane maggiore rispetto allo stoccaggio sotto ghiaccio. La perdita per gocciolamento per il merluzzo refrigerato era inferiore, tuttavia, la perdita di liquido dovuta alla centrifugazione a bassa velocità era più alta nei filetti di merluzzo refrigerati. Ciò è può essere dovuto alla denaturazione delle proteine muscolari dovuto al congelamento. È stato delineato che il processo di superchilling deve essere ottimizzato rispetto alla velocità di congelamento e al grado di superchilling al fine di ridurre al minimo la denaturazione delle proteine pur mantenendo una temperatura sufficientemente bassa per garantire un aumento della durata di conservazione.

L'influenza dello stoccaggio su arrosto di maiale superchilled è stata studiata dallo stesso gruppo (Duun et al., 2008). Il tempo di conservazione superchilled era di 16 settimane per arrosto di maiale confezionato sottovuoto ad una temperatura di 2,0 ° C confrontato con la conservazione refrigerata a 3,5 ° C. La qualità sensoriale è stata valutata come buona e il conteggio microbiologico è stato basso durante l'intero periodo di conservazione. Ancora una volta, la perdita per gocciolamento era inferiore per i prodotti superchilled. Il gruppo di ricerca afferma che la durata può essere estesa da 2 a 16 settimane quando viene applicato il superchilling. Tuttavia, delineano anche l'importanza di mantenere una temperatura stabile con oscillazioni molto basse durante lo stoccaggio ad alta concentrazione.

Il superchilling del salmone atlantico allevato a temperature di stoccaggio di 1,4 ° C e -3,6 ° C è stata confrontata con di ghiaccio refrigerato (temperatura di stoccaggio di circa 0 ° C) in un altro lavoro (Duun e Rustad, 2008). Per il salmone superchilled, è stato determinato un tempo di con-

servazione di 17-21 giorni, mentre il tempo di conservazione per i salmoni superchilati è stato raddoppiato. Non è stata riportata alcuna shelf-life per salmone superchilico conservato a 1,4 ° C e -3,6 ° C. La perdita di gocciolamento è stata identificata come un problema importante per il salmone troppo cresciuto. La durezza strutturale era più alta nel salmone superchilled a -3,6 ° C e per i campioni a 1,4 ° C è stata trovata una maggiore denaturazione proteica. Sulla base di questi risultati, per il salmone è stata raccomandata una temperatura molto agghiacciante tra 1,4 ° C e -3,6 ° C e il salmone è stato considerato più adatto per il superchilling rispetto al merluzzo. Risultati analoghi sono stati ottenuti per il salmone atlantico riposato (Erikson et al., 2011). In un progetto nazionale norvegese (Norwegian Research Council, 2016) è stato studiato come applicare un agghiacciante agnello fresco (gamba di agnello). Una temperatura di congelamento di -1,6 ° C ha prolungato la durata di conservazione da 21 giorni a 40 giorni (aumento del 90%). Il progetto ha anche studiato come implementare il concetto di superchilling nella produzione e installato un sistema di congelamento rapido in una linea di produzione esistente riducendo così i tempi di elaborazione di 1 giorno. Ciò ha comportato una riduzione dei costi di produzione come effetto secondario. Il colore e il valore pH dell'agnello superchilled non variava rispetto all'agnello refrigerato tradizionale, ma la perdita di gocciolamento era più elevata. La lunga durata di conservazione ha reso possibile ridurre la richiesta di congelamento del prodotto. Ciò ha ridotto la domanda di congelamento dal 40% al 10% e la domanda di energia del 13%. Il congelamento e lo scongelamento causano la fuoriuscita di proteine e altre sostanze dalla cellula e per l'agnello l'attività della proteasi lisosomiale catepsina B è stata utilizzata per dimostrare che la carne superchilata ha meno danni da congelamento rispetto alla carne congelata (Fristad & Rustad, 2014). Tuttavia, rispetto alla carne fresca, si è verificata una certa maggiore quantità di danni nella carne superchilata. In generale, il lavoro ha dimostrato che il superchilling causa alcuni danni da congelamento / scongelamento rispetto alla carne refrigerata convenzionale, ma il danno è stato meno paragonato alla carne congelata. Claussen (2011) ha riportato per la carne di pollo superchillata un aumento della durata di conservazione da 15 a 30 giorni. Tuttavia, non è stato specificato ulteriormente a quale temperatura è stata conservata la carne e altri aspetti di qualità non sono stati esaminati in questo documento. In tutti gli esperimenti riportati, è stata impostata la temperatura di mantenimento dello stoccaggio per abbinare la frazione di ghiaccio ottenuta nel prodotto dal congelamento del guscio. Tuttavia, vi è stata una generale mancanza di informazioni sulla frazione di ghiaccio effettiva nelle indagini, a causa delle sfide con la misurazione della frazione di ghiaccio in linea (Stevik et al., 2010). Nella maggior parte dei casi, la frazione di ghiaccio viene determinata con un metodo dirompente nei test preliminari per determinati prodotti. La bassa temperatura e il contenuto parziale di ghiaccio in prodotti conservati a temperature eccessive, provocheranno una crescita ritardata di batteri e microrganismi. Il rapido raffreddamento dovuto al congelamento del guscio fermerà questa crescita e in parte distruggerà o danneggerà l'attività batterica superficiale, il che è benefico per il concetto di superchilling in generale (Magnussen et al., 2008). La Figura 1.1.5 mostra alcuni esempi di tassi di crescita ridotti raggiunti (CFU = Colony Forming Unit). La durata di conservazione degli alimenti si basa su un limite di qualità di 107 CFU. Oltre questo valore, il cibo è considerato inadatto al consumo umano.

Tabella 1.2: Estensione della durata di conservazione per carne e prodotti a base di pesce selezionati in studi comparativi con refrigerazione convenzionale

Prodotto	Superchilled Temperature di stoccaggio	Incremento della shelf life rispetto alla refrigerazione tradizionale
Filetti di merluzzo (allevamento)	-2.2 °C	+ 14 giorni
Arrosto di maiale	-2.0 °C	+ 14 settimane
Salmone Atlantico (allevamento)	1.4 °C e -3.6 °C	+ 17 – 21 giorni
Pollo	n.a.	+ 15 giorni
Coscia d'agnello fresca	-1.6 °C	+ 19 giorni

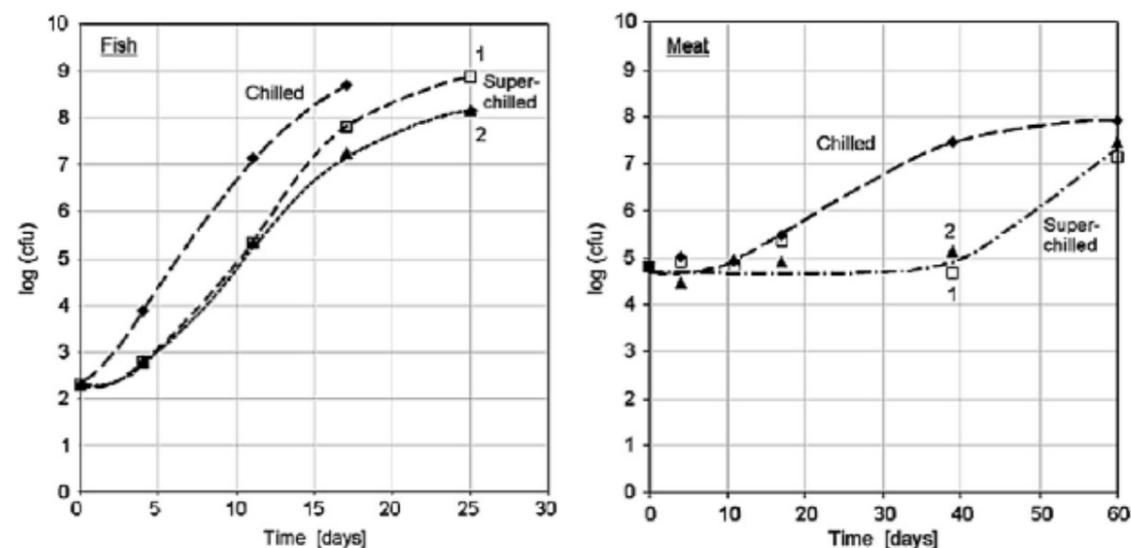


Figura 1.1.5: Crescita dei batteri aerobi nei pesci conservati e salati (salmone) e nei prodotti a base di carne (maiale); da Magnussen, Haugland et al. 2008. 1 e 2 si riferiscono rispettivamente a contenuto di ghiaccio basso e alto. CFU è un'unità formante colonia.

Il superchilling è principalmente studiato per carne e prodotti ittici, dove un processo di congelamento superficiale è stato applicato prima dello stoccaggio "superchilled". Sono riportati significativi aumenti della durata di conservazione, che sono generalmente correlati alla temperatura di conservazione inferiore rispetto alla refrigerazione convenzionale. Il processo di superchilling è accompagnato da alcune perdite di qualità o alterazioni come una maggiore perdita di gocciolamento, che può essere spiegata dalla presenza di ghiaccio nella matrice alimentare. I parametri di stoccaggio come la fluttuazione o l'imballaggio a temperatura possono influenzare e infine migliorare la durata di conservazione dei prodotti superchillati.

La tabella 1.2 fornisce una panoramica sull'estensione della durata di conservazione riportata in letteratura per alcuni prodotti. È importante notare che le estensioni stabilite per la durata di conservazione sono osservate negli studi comparativi. Le variazioni del prodotto e le diverse routine di elaborazione influenzeranno il risultato, tuttavia non renderanno conto degli aumenti della shelf life raggiunti.

1.2. Il potenziale del superchilling per prodotti biologici

La catena del freddo nel settore oggi comprende refrigerazione (da +4 °C a 8 °C) e congelamento (da -20 °C a 25 °C) di prodotti alimentari. Questo è vero sia per le catene del freddo convenzionali che per quelle organiche. L'implementazione di un nuovo processo richiederà attrezzature in grado di fornire una temperatura stabile intorno ai 2 °C e, inoltre, un processo di congelamento dei gusci. Non vi è alcuna sfida tecnologica per fornire la refrigerazione a questa temperatura, ma richiede attrezzature di refrigerazione modificate dal settore delle forniture e la volontà di implementare un nuovo concetto nelle catene del freddo. L'attrezzatura aggiuntiva per la processazione e le condizioni di stoccaggio modificate per i prodotti superchill possono rappresentare una barriera per l'implementazione per i piccoli produttori. Tuttavia, nuove soluzioni innovative sono spesso implementate in impianti di produzione di piccole o medie dimensioni, poiché la produzione è più flessibile e il potenziale di mercato è più promettente per questi produttori.

Finora sono state implementate nell'industria alimentare norvegese due linee di lavorazione per la supercentricità di pesce e prodotti a base di carne, ma fino ad ora il concetto non è stato utilizzato in misura significativa in euro o in altri mercati. Il superchilling può essere utilizzato in diversi modi e sotto diversi aspetti nella catena del freddo per i prodotti biologici: Extended shelf life:

- 1. Aumento della shelf-life:** il vantaggio più ovvio è la durata di conservazione estesa per i prodotti superchilled rispetto ai prodotti refrigerati convenzionali. Apparentemente, i prodotti con trasporti lunghi o variazioni stagionali elevate possono beneficiare di questa estensione. Inoltre, i prodotti che vengono prodotti solo in quantità limitate possono estendere la loro disponibilità ai mercati marcati o raggiungere mercati lontani. La durata di conservazione estesa è forse il potenziale più importante per i produttori di carne e pesce biologici. Con questa tecnologia, sarà possibile raggiungere mercati lontani che è un aspetto importante per superare le lunghe distanze geografiche, specialmente in Norvegia. Di conseguenza, i prodotti biologici possono competere per quanto riguarda la shelf life e la qualità nei supermercati, poiché i produttori tradizionali su larga scala hanno una rete di distribuzione meglio sviluppata (e più veloce).
- 2. Sostituzione del congelamento degli alimenti:** la sovrapproduzione di carne e prodotti a base di pesce viene spesso congelata per conservarla per le vendite future. Tuttavia, è normalmente possibile ottenere un prezzo più alto per i prodotti freschi nonostante il fatto che il congelamento e il congelamento siano costosi. Il concetto di superchilling offre la possibilità di immagazzinare almeno una certa quantità di sovrapproduzione senza congelamento e di venderlo in tempi ragionevoli freschi. Un prezzo di mercato più elevato può essere raggiunto mentre allo stesso tempo viene ridotta la domanda di energia (per il congelamento) nella produzione. Nel caso sopra citato per l'agnello norvegese, il fabbisogno energetico della produzione è stato ridotto del 13% sostituendo parzialmente il congelamento con il superchilling.
- 3. Trasporto:** i prodotti ittici di alta qualità, come il salmone atlantico, vengono spesso trasportati su ghiaccio refrigerato, sia su strada che tramite trasporto aereo. Circa il 25-30% del peso

trasportato è ghiaccio, mentre il restante 70-75% del peso trasportato è il prodotto valido. Il trasporto di ghiaccio è piuttosto costoso e allo stesso tempo produce un impatto ambientale (carbon footprint). Usando un prodotto superchill, la necessità di ghiaccio durante il trasporto può essere ridotta o evitata. Il ghiaccio presente all'interno del prodotto funziona come inerzia termica e fornisce il necessario raffreddamento durante il trasporto. Applicando questo concetto sarebbe possibile ridurre il peso e il volume trasportati del 25-30%. O in altre parole: 4 camion carichi con ghiacciaie refrigerate possono essere ridotti a 3 camion carichi con prodotto superchill mentre viene trasportata la stessa quantità di prodotto vendibile. Si deve notare che con ciò si riduce la durata a magazzino estesa del prodotto superconsolato trasportato poiché la frazione parziale di ghiaccio viene ridotta durante il trasporto. Tuttavia, verrà raggiunta anche una durata maggiore rispetto ai prodotti trasportati tradizionalmente.

- 4. Tempi di processo più brevi** il raffreddamento convenzionale è un'operazione che richiede molto tempo e che deve essere implementata nella linea di produzione. Il superchilling, con surgelazione iniziale, può ridurre il tempo di processo e abbassare la temperatura del prodotto prima di conservarlo. Con la presente è possibile aumentare la capacità delle linee di produzione esistenti o compensare le diverse capacità di produzione.
- 5. Altri effetti:** il superchilling è una delle prime operazioni di unità in una linea di produzione e può aumentare le rese dei prodotti, ad es. a causa di una maggiore fermezza prima della scuoiatura (Stevik & Claussen, 2011) o disossamento. La rigidità del prodotto è generalmente più elevata per i prodotti superchill. Questo può essere utile per la gestione del prodotto, ad es. durante la filettatura, l'affettatura o l'imballaggio automatico.

Il concetto di superchilling può essere implementato in impianti di produzione esistenti, mediante l'implementazione di un congelatore, che può essere utilizzato in modo continuo. La velocità di raffreddamento specifica viene accelerata dal trasferimento di calore e la differenza di temperatura nel congelamento rapido è elevata. Pertanto, è relativamente facile produrre prodotti superchill. Tuttavia, lo stoccaggio superchill richiede una riprogettazione dei sistemi di conservazione e di refrigerazione esistenti. La temperatura delle apparecchiature di refrigerazione deve essere ridotta, ma ancora più importante, occorre garantire che le variazioni di temperatura e la distribuzione nei locali di stoccaggio siano ridotte. Una fluttuazione della temperatura di ± 1 Kelvin è di norma nella conservazione refrigerata convenzionale. Se un prodotto surriscaldato è esposto a tali fluttuazioni, può provocare lo scongelamento continuo e il congelamento del ghiaccio all'interno della matrice alimentare. Ciò avrà una scarsa influenza sulla qualità e stabilità del prodotto. Le indagini eseguite in laboratorio hanno normalmente una stabilità di temperatura di $\pm 0,2$ Kelvin. Per i sistemi di superchilling industriale è necessario valutare attentamente quali variazioni di temperatura sono accettabili. Gli autori raccomandano una fluttuazione della temperatura il più piccola possibile e di indagare ulteriormente sull'influenza della fluttuazione della temperatura.

1.3. Sfide nel Superchilling

Per il dimensionamento e il controllo del processo di superchilling è importante calcolare il tem-

po di raffreddamento e la distribuzione della temperatura corretti (ad esempio per il congelatore), poiché la quantità di ghiaccio formatasi durante il superchilling è di grande importanza per l'intero processo. Il calore latente del congelamento determina una forte diminuzione dell'entalpia nell'intervallo di temperatura comunemente applicato per il processo e, di conseguenza, anche piccole variazioni di temperatura possono comportare un cambiamento significativo della frazione di ghiaccio. I prodotti alimentari consistono normalmente in una complessa matrice di acqua, proteine, carboidrati e grassi, e l'acqua è legata a meccanismi diversi. Le equazioni generali per il calcolo quindi hanno sempre alcune incertezze. Il lavoro futuro dovrebbe trovare migliori metodi di calcolo e strumenti di simulazione adatti al superchilling. Questo è particolarmente importante per i prodotti che variano per forma e dimensioni.

Un'altra sfida è la determinazione ottimizzata del grado di superchilling richiesto per un miglioramento sufficiente della durata di conservazione pur ottenendo attributi di qualità accettabili. La maggior parte delle indagini si è concentrata su una frazione di ghiaccio tra il 10% e il 20%, poiché la riduzione della qualità ottenuta (rispetto ai prodotti refrigerati) era minore, mentre per le frazioni di ghiaccio più elevate rispetto ad es. 30%, si verificherà una significativa perdita di gocciolamento. La temperatura di stoccaggio superchill è stata impostata per dimostrare il potenziale del concetto rispetto allo stoccaggio refrigerato. Per un prodotto specifico, deve essere decodificato quale frazione di ghiaccio o temperatura di conservazione è ottimale rispetto alla crescita ridotta di batteri e microrganismi e cambiamenti di qualità accettabili.

L'industria richiede in generale attrezzature per l'elaborazione efficaci e flessibili, che mantengano un prodotto di alta qualità. Il superchilling offre alcune possibilità per l'industria, ma la domanda è se sono abbastanza promettenti da rendere il concetto commercialmente interessante. L'interesse commerciale sarà molto probabilmente la principale forza trainante per l'implementazione industriale e il passaggio dal congelamento e refrigerazione convenzionale all'ecedenza richiede una certa prontezza a correre un certo rischio. Il superchilling richiederà anche informazioni più accurate sulla variazione e il flusso del prodotto, che è particolarmente difficile per i produttori di piccole dimensioni. Inoltre, i fornitori di attrezzature soddisfano requisiti più elevati in materia di energia e competenza termodinamica. Può essere asserito che, soprattutto all'inizio, la maggior parte della tecnologia verrà sviluppata sperimentalmente.

La consapevolezza del consumatore per i prodotti superchilled è attualmente bassa (o non esistente) e potrebbe essere una sfida generale ottenere l'accettazione da parte dei consumatori di un terzo prodotto della catena del freddo. Questo aspetto non è attualmente in fase di valutazione.

1.4. Conclusioni

La produzione biologica in Norvegia è un mercato di nicchia e solo l'1,6% dei prodotti venduti nei supermercati è biologico. Per i prodotti a base di carne, solo l'1% della carne è biologico e circa il 50% della carne biologica prodotta viene venduto con etichette convenzionali non-organiche. Le ragioni di questo sviluppo non sono state analizzate. Il lungo e dispendioso trasporto nella catena del freddo dai produttori di piccole o medie dimensioni al consumatore finale potrebbe essere uno dei motivi. L'estensione della durata di conservazione dovuta alla sovrappo-

duzione di carne e prodotti ittici biologici potrebbe contribuire a fornire al mercato prodotti biologici di alta qualità e freschi. La maggiore disponibilità di carne e prodotti ittici biologici sul mercato può far scattare la domanda futura dei consumatori e contribuire ad aumentare la quota di mercato dei prodotti biologici.

Il congelamento parziale controllato o il superincrostazione di prodotti alimentari possono determinare prolungate significative di shelf life durante la catena del freddo. Tra il 10% e il 20% del contenuto di acqua del cibo è congelato e il ghiaccio funge da inerzia termica durante lo stoccaggio e il trasporto. I prodotti superchill in genere hanno una durata prolungata e la tecnologia mostra un buon potenziale per l'implementazione nella catena del freddo, poiché la qualità del prodotto è paragonabile a quella dei prodotti refrigerati. Il raffreddamento eccessivo nell'industria può anche ridurre l'uso del congelamento / scongelamento per i buffer di produzione e quindi ridurre la manodopera, i costi energetici e le perdite di peso del prodotto.

I prodotti superchilled sostengono i parametri di qualità comunemente associati ai prodotti freschi / congelati. Tuttavia, durante la conservazione potrebbe verificarsi un aumento della perdita di gocciolamento del prodotto. L'implementazione del superchilling in impianti e routine di processo industriali richiede un rigoroso controllo della temperatura nella catena del freddo. La comprensione e la quantificazione dei processi termofisici all'interno e all'interno della superficie del cibo sono importanti per la progettazione ottimale delle attrezzature di superchilling e dei sistemi di imballaggio per i prodotti alimentari.

Il concetto di superchilling è un processo di catena del freddo nuovo e migliorato, che mira ad aumentare la durata di conservazione dei prodotti refrigerati e a sostenere un aspetto simile a quello fresco applicando il congelamento parziale. Ciò richiede l'implementazione di un nuovo livello di temperatura (a circa 2 ° C) per la conservazione dei prodotti nella catena del freddo.

Per ottenere un controllo di processo sufficiente, si consiglia di implementare un congelamento parziale rapido nei primi segmenti della linea di produzione. Risultati promettenti sono stati raggiunti con il congelamento di esplosione o impingement. Estensioni significative della durata di conservazione sono dimostrate in letteratura per alcuni prodotti a base di carne e pesce superchillati. Il concetto può essere utilizzato per sostituire il trasporto di ghiaccio refrigerato, che avrà un impatto diretto sull'impronta di carbonio nel settore dei trasporti. Il superchilling ha il potenziale per ridurre un impatto sostanziale dai volumi di carne e pesce attualmente spreca- ti; in particolare nelle regioni ad alto reddito con catene del freddo già esistenti, contribuendo così in modo significativo alla sicurezza alimentare globale. Per l'implementazione industriale, è possibile utilizzare apparecchiature esistenti o modificate dell'attuale catena del freddo, ma il superchilling richiede un migliore controllo del processo.

La R & S ha chiaramente identificato il potenziale di questa tecnologia, in particolare per i prodotti a base di carne (pollo, agnello, maiale) e pesce (salmone, merluzzo). Tuttavia, l'industria ha in qualche modo trascurato questa tecnologia, nonostante i chiari vantaggi, la relativa semplice implementazione anche nelle linee di produzione esistenti e l'alto livello di prontezza tecnologica. Le prime implementazioni industriali hanno dimostrato effetti positivi sulla shelf life, sulla qualità del prodotto, sulla resa produttiva, sulla domanda di energia e sui costi di produzione.

1.5 Bibliografia

Claussen, I. C. (2011). Superchilling concepts enabling safe, high quality and long term storage of foods 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF11) *Procedia Food Science* 1 (2011) 1907-1909.

Duun, A. S. and T. Rustad (2007). „Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets.“ *Food Chemistry* 105(3): 1067-1075.

Duun, A. S., et al. (2008). „Quality changes during superchilled storage of pork roast.“ *LWT - Food Science and Technology* 41(10): 2136-2143.

Duun, A. S. and T. Rustad (2008). „Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6 °C.“ *Food Chemistry* 106(1): 122-131.

Erikson, U., et al. (2011). „Superchilling of rested Atlantic salmon: Different chilling strategies and effects on fish and fillet quality.“ *Food Chemistry* 127(4): 1427-1437.

FAO (2013). *Food wastage footprint: Impacts on natural resources, Summary Report Food and Agricultural Organization of the United Nations.*

Friestad, E. and T. Rustad (2014). *Superkjølt lam: Studier av proteolytiske enzymer. Superchilled Lamb: Studies of Proteolytic Enzymes, Institutt for bioteknologi.*

Hemmingsen, A. K. T., et al. (2004). „Challenges in distribution of fresh food.“ *Scandinavian Refrigeration* 5: 40-45.

Magnussen, O. M., et al. (2008). „Advances in superchilling of food - Process characteristics and product quality.“ *Trends in Food Science & Technology* 19(8): 418-424.

Magnussen, O. M. (1993). *Energy consumption in the cold chain . Proceedings IIR - Commissions B1, B2, D1, D273. Palerston North, New Zealand*

Kaale, L. D., et al. (2011). „Superchilling of food: A review.“ *Journal of Food Engineering* 107(2): 141-146.

Norwegian Research Council (2016). „Optimal verdikjede for ferskt lam (project 210643) <https://www.forskingsradet.no/prosjektbanken/#1/project/210643/no>.“

Stevik, A. M., et al. (2010). „Ice fraction assessment by near-infrared spectroscopy enhancing automated superchilling process lines.“ *Journal of Food Engineering* 100(1): 169-177.

Stevik, A. M. and I. C. Claussen (2011). „Industrial superchilling, a practical approach.“ *Procedia Food Science* 1: 1265-1271.

Tolstorebrov, I., et al. (2014). „A DSC study of phase transition in muscle and oil of the main commercial fish species from the North-Atlantic.“ Food Research International 55(0): 303-310.

Valentas, K. J. (1997) Handbook of food engineering practice / edited by Kenneth J. Valentas, Enrique Rotstein, R. Paul Singh.

2. Superchilling su maiale e salmone biologici

SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway
Bantle et al.

2.1. Introduzione

La produzione biologica in Norvegia è un mercato di nicchia e solo l'1,6% dei prodotti venduti nei supermercati è biologico. Per i prodotti a base di carne, solo l'1% della carne è biologico e circa il 50% della carne biologica prodotta viene venduto con etichette convenzionali non-organiche. Il lungo e dispendioso trasporto nella catena del freddo dai produttori di piccole o medie dimensioni al consumatore finale potrebbe essere uno dei motivi. L'estensione della durata di conservazione a causa dell'eccessiva produzione di carne e prodotti ittici biologici potrebbe contribuire a fornire al mercato prodotti di qualità organica freschi e di alta qualità. La maggiore disponibilità di carne e prodotti a base di pesce biologico sul mercato può far scattare la domanda futura dei consumatori e contribuire ad aumentare la quota di mercato dei prodotti biologici.

Il congelamento parziale controllato o il superincrostazione di prodotti alimentari possono determinare prolungate significative di shelf life durante la catena del freddo. Tra il 10% e il 20% del contenuto di acqua del cibo è congelato e il ghiaccio funziona come inerzia termica durante lo stoccaggio e il trasporto. I prodotti superchill hanno in genere una durata prolungata e la tecnologia mostra un buon potenziale per l'implementazione nella catena del freddo, poiché la qualità del prodotto è paragonabile ai prodotti refrigerati. Anche il super-raffreddamento in industria può ridurre l'uso del congelamento / scongelamento per i buffer di produzione e quindi ridurre la quantità di metallo, i costi energetici e le perdite di peso del prodotto.

Il concetto di superchilling è un processo di catena del freddo nuovo e migliorato, che mira ad aumentare la durata di conservazione dei prodotti refrigerati e a sostenere un aspetto simile a quello fresco applicando il congelamento parziale. Ciò richiede l'implementazione di un nuovo livello di temperatura (a circa 2 ° C) per la conservazione dei prodotti nella catena del freddo. Per raggiungere un controllo di processo sufficiente, si consiglia di implementare un congelamento parziale rapido nei primi segmenti della linea di produzione. Risultati promettenti sono stati raggiunti con il congelamento di esplosione o impingement. Le estensioni significative della durata di conservazione sono dimostrate in letteratura per alcuni prodotti a base di carne e pesce superchillati. Il concetto può essere utilizzato per sostituire il trasporto di ghiaccio refrigerato, che avrà un impatto diretto sull'impronta di carbonio nel settore dei trasporti. Il superchilling ha il potenziale per ridurre un impatto sostanziale dai volumi di carne e pesce attualmente sprecati; specialmente nelle regioni ad alto reddito con catene del freddo già esistenti, contribuendo in modo significativo alla sicurezza alimentare globale. Per l'implementazione industriale possono essere utilizzate attrezzature esistenti o modificate dalla catena del freddo di oggi, ma il superchilling richiede un migliore controllo del processo.

La R & S ha chiaramente identificato il potenziale di questa tecnologia, in particolare per i prodotti a base di carne (pollo, agnello, maiale) e pesce (salmone, merluzzo). Tuttavia, l'industria ha in qualche modo trascurato questa tecnologia, nonostante i chiari vantaggi, la relativa semplice

implementazione anche nelle linee di produzione esistenti e l'elevato livello di prontezza tecnologica. Le prime implementazioni industriali hanno dimostrato effetti positivi sulla shelf life, sulla qualità del prodotto, sul rendimento di produzione, sulla domanda di energia e sui costi di produzione.

Lo scopo del progetto SusOrganic è quello di indagare il concetto di superchilling per carne e prodotti ittici biologici e di delineare il potenziale del concetto per i produttori biologici. Il presente studio riassume le indagini sperimentali effettuate con particolare attenzione alle prolungate shelf life possibili. Sono stati studiati due diversi prodotti: braciola di maiale biologica e filetti di salmone. I prodotti sono stati forniti da produttori biologici locali dalla Norvegia.

2.2. Materiali e Metodi

2.2.1. Superchilling di filetti di salmone biologici

Gli esperimenti sono stati condotti su filetti di salmone da 1-2 Kg consegnati da SALMAR, Frøya, Norvegia. Il pesce usato negli attuali esperimenti fu macellato e pre-rigettato sfilettato. Nel test di conservazione sono stati utilizzati filetti di salmone biologico con pelle. Diretto dopo la macellazione e la sfilettatura del pesce refrigerato è stato inviato su ghiaccio al laboratorio di SINTEF Energy Research / NTNU, dove è arrivato nello stato di pre-rigore dopo 24 ore. I filetti di salmone sono stati lavorati immediatamente dopo l'arrivo e il superchilling è stato applicato entro 24 ore dalla macellazione in stato pre-rigore.

I filetti sono stati tagliati in pezzi da 300 g e poi dato un numero di prova. Il campione è stato quindi diviso in un pezzo di 100 g (nr1m) per la microanalisi e il resto 200 g (nr1p) per misurare le proprietà fisiche. Tutti i pezzi sono stati confezionati sottovuoto prima della conservazione. I campioni per analisi microbiologiche sono stati tagliati in pezzi da 100 g sottovuoto e numerati con temperatura di conservazione e numero di campione. Le procedure di taglio sono state eseguite utilizzando guanti sterili e coltelli disinfettati. I campioni per la microanalisi sono stati inviati sottovuoto all'istituto indipendente per le analisi e l'analisi è stata eseguita entro 3 ore dalla consegna. Un numero di 3 paralleli è stato estratto per la microanalisi e per le proprietà fisiche dal giorno 0. Il giorno 0 si riferisce al giorno in cui i filetti di salmone freschi sono stati collocati negli armadietti.

Sono stati eseguiti due diversi metodi di elaborazione del superchilling:

Metodo 1: i campioni sono stati tagliati in pezzi da 200 g, superchillati senza il sacchetto di plastica sottovuoto, quindi confezionati sottovuoto con un pezzo di cotone assorbente l'umidità sul lato della pelle e conservati nelle rispettive condizioni di conservazione.

Method 2: the samples were cut into 200 g pieces, vacuum packed with a moisture absorbing cotton piece on the skin side, then superchilled and stored at the respective storage conditions. Both methods were compared in initial trials and for the present investigation the second method was used due to sanitation reasons.

Entrambi i metodi sono stati confrontati nelle prove iniziali e per la presente indagine è stato utilizzato il secondo metodo a causa di motivi di igiene. Per il superchilling è stato utilizzato un congelatore ad impatto (Frigoscandia, modello Laboratory) a -37°C con un tempo di ritenzio-

ne di 2 minuti, ottenendo ca. Contenuto di ghiaccio del 15% in base alla precedente ricerca sul superchilling di salmone. La frazione di ghiaccio nel salmone superchill e fu misurata usando un metodo calorimetrico (Haugland, Aune & Hemmingsen, 2005). Le misure calorimetriche sono state eseguite in termos in acciaio (Finemech Inc., Cylindrical Dewar Container, Portola Valley, USA) riempite con 1,5-2,5 litri di acqua temperata ($\sim 35^{\circ}\text{C}$). Circa 0,25-0,30 kg di prodotto (salmone o maiale) sono stati pesati direttamente dopo il superchilling. Quindi una termocoppia (Agilent Technologies Inc., Agilent 34970A, Santa Clara, USA) è stata collocata nel nucleo del raccordo / raccordo e una è stata collocata vicino alla superficie del raccordo, prima di abbassare il raccordo nel termos. Le termos sono state sigillate ermeticamente e i sistemi sono stati lasciati per l'equalizzazione della temperatura sotto registrazione in continuo per circa 24 ore. L'analisi è stata eseguita su tre paralleli per ciascun livello di ghiaccio. Sulla base dei dati di temperatura del processo di equalizzazione, la frazione di ghiaccio iniziale dopo il superchilling è stata calcolata mediante i saldi di entalpia.

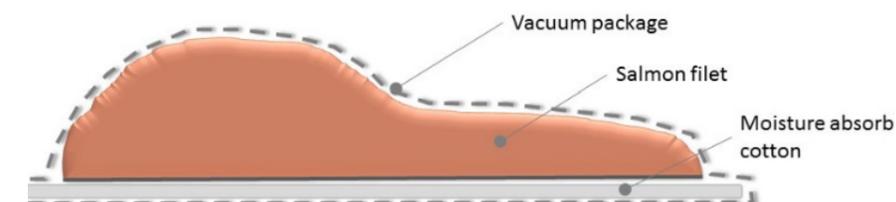


Figura 2.2.1: Confezionamento di filetti di salmone negli esperimenti eseguiti.

Tutti i campioni sono stati conservati in due diversi armadi (Termaks KB 8182) a rispettivamente $1,5^{\circ}\text{C}$ per i campioni superchillati ea $+3^{\circ}\text{C}$ per i filetti di salmone refrigerati standard. Durante lo stoccaggio, i campioni conservati a entrambe le temperature sono stati estratti il lunedì e il giovedì per l'analisi microbiologica (conteggio totale) e le proprietà fisiche (colore, capacità di ritenzione idrica, perdita di gocce e contenuto di acqua). 3 analisi parallele da ciascuna temperatura ($n = 3$) sono state perfromate. Le analisi microbiologiche sono state eseguite da un laboratorio esterno certificato (Analysesenteret, Trondheim / Norvegia).

Tabella 2.2.1: Impostazione sperimentale per il superchilling di salmone biologico.

Parametri	Campione 200 g					Microrg.	
		Giorno	Temp.	Colore	WHC		Perdita per gocciolamento
0	0	X	X	X	X	X	X
4	$-1,5^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X
	$+3^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X
8	$-1,5^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X
	$+3^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X
12	$-1,5^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X
	$+3^{\circ}\text{C}$	X	X	X	X	X	X

15	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C	X	X	X	X	X
18	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C					
21	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C					

2.3. Superchilling di braciola di maiale biologica

Gli esperimenti sono stati eseguiti su 300 - 400 g bracirole di maiale consegnate da GRØSTAD-GRIS AS, Un-drumdal, Norvegia. La carne dei maiali biologici usati negli attuali esperimenti fu macellata e preparata in un macellaio vicino alla fattoria. Le carni sono state ricevute nel laboratorio di SINTEF Energy Research / NTNU 7 giorni dopo la macellazione con una durata di conservazione raccomandata per 10 giorni conservati a +4 °C.

A SINTEF i campioni di carne di maiale sono stati confezionati singolarmente in buste sottovuoto con un foglio assorbente, quindi vuotati, superchillati nel congelatore ad impatto e quindi forniti un numero di test (Metodo 2). Un numero di 3 paralleli sono stati estratti per la microanalisi e per le proprietà fisiche dal giorno 0. Il giorno 0 si riferisce al giorno in cui le botteghe di maiale sono state collocate negli armadietti.

Tabella 2.2.2: Impostazione sperimentale per il superchilling della braciola di maiale biologica.

Parametri		campione 200 g				Microrg.
Giorno	Temp.	Colore	WHC	Perdita per gocciolamento	WC	Batteri
0	0	X	X	X	X	X
3	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C	X	X	X	X	X
6	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C	X	X	X	X	X
10	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C	X	X	X	X	X
17	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C	X	X	X	X	X
20	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C					
24	-1,5 °C	X	X	X	X	X
	+3 °C					

Prima della conservazione, metà dei campioni sono stati super-raffreddati in un congelatore ad

urto (modello di laboratorio) a 37 °C per 2,5 minuti, ottenendo ca. Contenuto di ghiaccio del 15% in base alla precedente ricerca sulla superchilling di negozi di carne suina, come descritto sopra.

Dopo il superchilling i campioni sono stati conservati in due diversi armadi (Termaks KB 8182) a circa -1,5 °C per i campioni super-refrigerati ea +3 °C per il resto. Durante lo stoccaggio, i campioni archiviati a entrambe le temperature sono stati eliminati il lunedì e il giovedì per l'analisi microbiologica (conteggio totale) e le proprietà fisiche (colore, WHC, perdita goccia), 3 analisi parallele per ciascuna temperatura (n = 3). Le analisi microbiologiche sono state eseguite da un laboratorio esterno certificato (Analysesenteret, Trondheim).

2.4. Analisi microbiologica

La crescita microbiologica durante lo stoccaggio è stata misurata con il metodo NMKL96 per CFU (unità formante colonia). Le diluizioni del campione di materia prima sono state stampate in piastre di ferro-agar e incubate a 20 °C per 72 ore. Il numero di unità formanti colonie viene contato su piastre contenenti da 25 a 250 colonie. (n = 3 per ciascun campione)

2.5. Proprietà fisiche

2.5.1. Contenuto di acqua iniziale

Il contenuto iniziale di acqua è stato determinato asciugando circa 10 g di prodotto macinato in un forno di convezione a peso costante a 105 °C per 24 ore. La differenza in peso, prima e dopo l'essiccazione è stata presa come il contenuto totale di acqua del campione. I valori medi sono stati calcolati da sei repliche.

2.5.2. Capacità di ritenzione idrica

Per misurare la capacità di ritenzione di acqua, la quantità di pesce da 3 paralleli è stata schiacciata insieme in un robot da cucina e quindi suddivisa in 3 campioni con 1 g di prodotto sulla carta da filtro. Quindi un contenitore da 1 kg è stato premuto sul prodotto per 10 minuti. Quindi i fogli filtranti umidi erano pesati prima e dopo la procedura di pressatura, e quindi veniva calcolata la quantità di acqua.

2.5.3. Colore

La superficie del prodotto è stata rimossa prima di prelevare un campione per l'analisi del colore. Il colore (L, a*, b*) è stato misurato usando un Hunter Lab. Il colore dei campioni è stato definito misurando la velocità di luminosità (L), l'indice di rosso (a*) ed il giallo (b*). I campioni sono stati scansionati ed effettuate in media di 3 repliche. Lo strumento è stato calibrato prima di ogni prova. Le variazioni cromatiche complessive sono state espresse dalla relazione ΔE secondo la seguente equazione:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

2.5.4. Analisi di calo pesos

Durante il confezionamento dei campioni, il peso del pesce, del sacco a vuoto e dell'assorbitore è stato pesato. Quando i campioni sono stati aperti per il test, il nuovo peso del pesce, della borsa e dell'assorbitore è stato notato di nuovo. Quindi la perdita di gocciolamento è stata calcolata in base alla differenza di peso.

2.6. Risultati del superchilling dei filetti di salmone

La temperatura di conservazione ha un'influenza maggiore sulla durata di conservazione dei filetti di salmone freschi, e per studiarlo sono state valutate la crescita microbologica, la perdita di gocciolamento, il cambiamento di colore e la water holding capacity (WHC) durante la conservazione a temperature diverse. Le prove con salmone organico refrigerato normale si sono concluse sempre prima a causa del deterioramento comune durante il periodo di conservazione.

2.6.1. Analisi microbiologica

I risultati dell'analisi microbiologica (CFU) durante la conservazione sono presentati nella Figura 2.2.2. Il limite di qualità di 107 CFU / g rappresenta una misura di qualità microbiologica al di sopra della quale il cibo è considerato inadatto al consumo umano.

I risultati in Figura 2.2 mostrano un aumento atteso dello sviluppo di conteggi microbiologici per entrambe le condizioni di conservazione. Come previsto, i livelli di CFU per i campioni di salmone conservati superchillati sono considerevolmente inferiori rispetto alle alte temperature di raffreddamento. Il livello di CFU per i campioni conservati a + 3 °C ha superato il livello di qualità già il giorno 14. Questa è la durata di conservazione comunemente accettata per i filetti di salmone refrigerati in normali condizioni di refrigerazione.

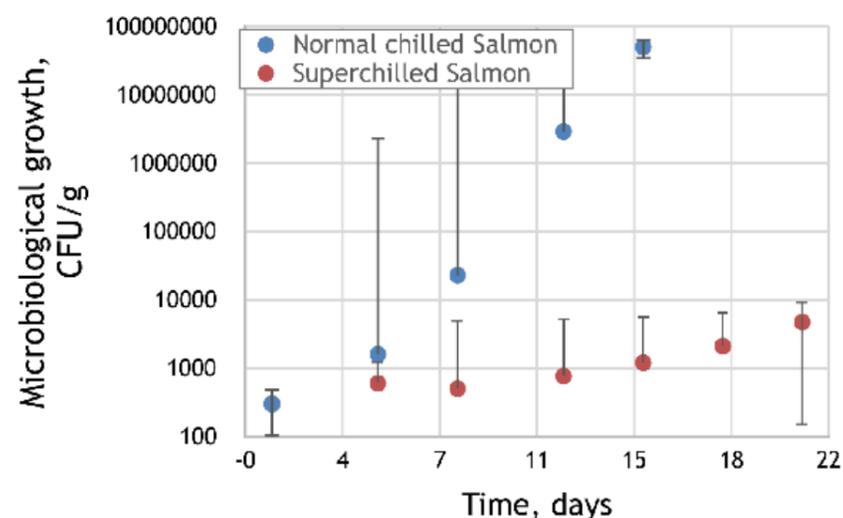


Figura 2.2.2: Numero di unità formante colonie (CFU) nei filetti di salmone durante lo stoccaggio di filetti di salmone freschi, refrigerati e super-elaborati elaborati dopo il Metodo 1, con livello di ghiaccio del 15% (rosso) conservato a -1,5 °C e refrigerati campioni di riferimento archiviati a + 3°C (blu)

2.7. Proprietà fisiche

2.7.1. Contenuto di acqua iniziale

Il contenuto di acqua iniziale per il salmone biologico è stato calcolato al 69,5% sul fresco (n = 6). La media del contenuto di acqua iniziale per il salmone biologico è pari al 69,5%.

2.7.2. Calo peso

I risultati di calo peso durante la conservazione sono presentati nella Figura 2.3. Le curve mostrano che il peso si riduce in% dal giorno zero (100%). I valori sono la media di tre ripetizioni, per ogni temperatura. Le tendenze di perdita di gocciolamento sono quasi uguali da entrambe le temperature di conservazione. Il salmone superchill ha mostrato un leggero aumento della perdita di gocciolamento all'inizio del periodo di conservazione, tuttavia verso la fine le differenze nella perdita di gocciolamento sono equalizzate.

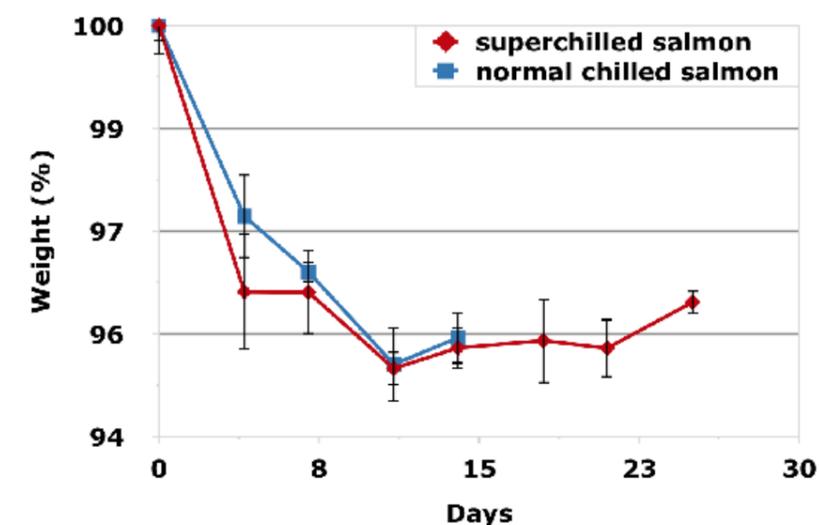


Figura 2.2.3: Perdita di peso percentuale in filetti di salmone organico super-refrigerati con livello di ghiaccio del 15% (rosso) conservato a -1,5 °C e campioni di riferimento refrigerati conservati a + 3 °C (blu).

2.7.3. Capacità di ritenzione idrica

I risultati della WHC (capacità di ritenzione idrica) durante lo stoccaggio sono presentati nella figura 2.4. Poi le carte da filtro bagnate sono state pesate e si è calcolata la quantità d'acqua. Le curve mostrano che il peso si riduce in % dal peso iniziale.

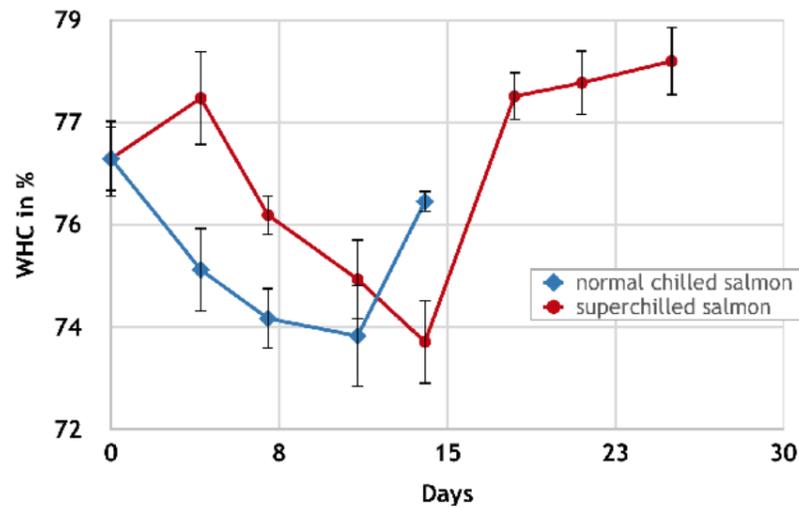


Figura 2.4: WHC percentuale dei filetti di salmone biologico superchilati con livello di ghiaccio del 15% (rosso) conservato a -1,5 °C e campioni di riferimento refrigerati conservati a + 3 °C (blu).

2.7.4. Colore di salmone biologico

I risultati delle misurazioni del colore durante la conservazione sono presentati in Figura 2.5 e 2.6. Le curve sono la media di 3 campioni paralleli. La superficie del filetto di pesce è stata portata via e quindi una nuova fetta del campione è stata usata nello strumento a colori (Hunter Lab). I valori sono dalla scala L (luce contro buio), dalla scala a (rosso contro verde) e dalla scala b (giallo vs blu). Da questi valori il delta E è stato calcolato utilizzando l'equazione 1. Le differenze sono più elevate all'inizio del periodo di stoccaggio, ma si avvicinano a vicenda durante il periodo di memorizzazione.

La differenza di colore tra il salmone organico refrigerato normale e quello superchilato era solo minima e non mostrava una tendenza generale.

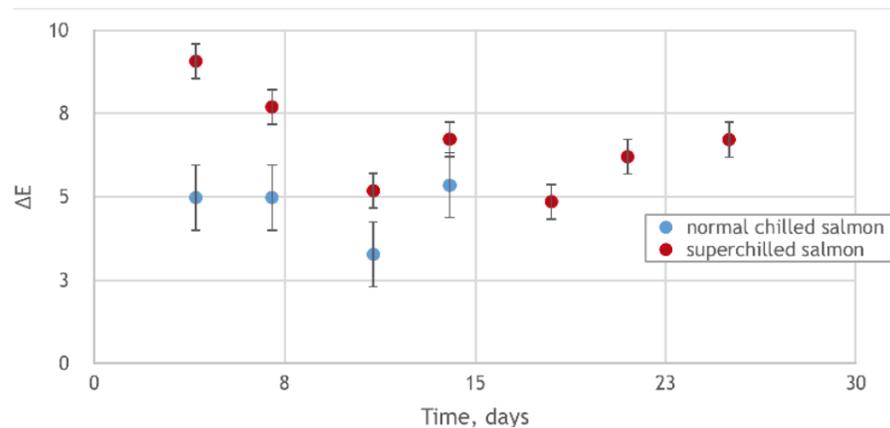


Figura 2.2.5: Cambiamenti di colore $L^* a^* b$ (espresso come ΔE) per i filetti di salmone refrigerati e super-refrigerati normali con livello di ghiaccio del 15% (rosso) conservato a -1,5°C e campioni di riferimento refrigerati conservati a + 3°C (blu).

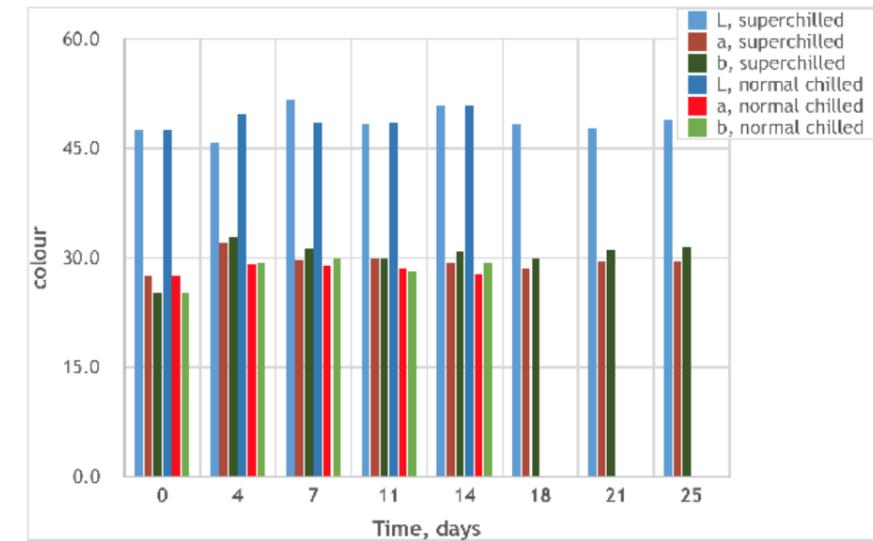


Figura 2.2.6: Cambiamenti di colore nelle coordinate Hunter $L^* a^* b$ per i normali filetti di salmone organici refrigerati e superchilati con livello di ghiaccio del 15% (rosso) conservato a -1,5 °C e campioni di riferimento refrigerati conservati a + 3°C (blu)

2.8. Risultati di braciola di maiale refrigerata tradizionalmente e "superchilled"

2.8.1. Analisi microbiologiche

I risultati dell'analisi microbiologica (CFU) durante la conservazione sono presentati nella Figura 2.2.7. Il limite di qualità di 107 CFU / g rappresenta una misura di qualità microbiologica al di sopra della quale il cibo è considerato inadatto al consumo umano. La normale braciola di maiale refrigerata ha superato il conteggio delle bacche dopo circa 8-9 giorni. Questo è stato più breve del previsto, dal momento che la durata di conservazione comunemente accettata è di 14 giorni. Il fornitore ha tuttavia specificato che ha bisogno di inviare i maiali a un macello e che gli animali disossati vengono quindi restituiti a lui dopo circa 3 giorni in condizioni di freddo. Questo perché la PMI non possiede alcuna infrastruttura (e licenza) per la macellazione. Prima dopo 3 giorni la carne viene poi lavorata / tritata ulteriormente e inviata al cliente. Ciò significa che il prodotto ha già 7 giorni quando raggiunge il mercato e il tempo di vendita del prodotto è ridotto di conseguenza. Questo periodo dovrebbe essere aggiunto ai grafici (Figura 10.7-10.11). Questo spiega la durata di conservazione più breve documentata. Tuttavia, la Figura 2.7 mostra che la durata di conservazione della carne suina superchillata è stata estesa di circa 14 giorni, nonostante il prodotto avesse già 7 giorni.

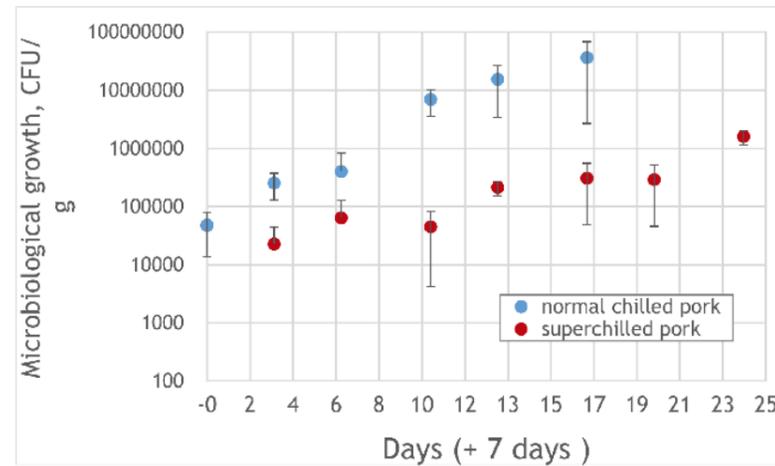


Figura 2.2.7: Numero di unità formanti colonie in maiale con livello di ghiaccio di x (rosso) e campione di riferimento refrigerato a + 3°C durante la conservazione

2.9. Proprietà fisiche

2.9.1. Contenuto in acqua

Il contenuto di acqua iniziale per il maiale biologico è stato calcolato su umido (n = 3). La media del contenuto di acqua iniziale per il salmone biologico è stata calcolata al 63,4%.

2.9.2. Calo peso

I risultati della perdita di peso durante la conservazione sono presentati nella Figura 2.8. Le curve mostrano che il peso si riduce in percentuale dal giorno zero (100%). I valori sono la media da 3 paralleli, da ciascuna temperatura. Le tendenze di perdita di gocciolamento sono quasi uguali da entrambe le temperature di conservazione. La braciola di maiale troppo cotta ha mostrato tuttavia una maggiore perdita di gocciolamento rispetto al normale maiale raffreddato. Questo può essere spiegato dal congelamento dei danni al prodotto durante il congelamento parziale.

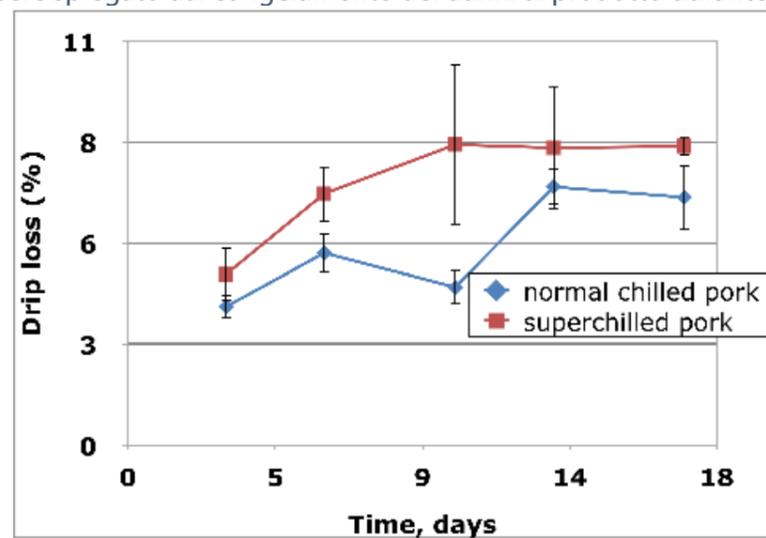


Figura 2.2.8: Perdita di gocciolamento per braciola di maiale biologica e normale durante 17 giorni di conservazione a + 3 °C per campione normale refrigerato ea -1,7 °C per campioni organici super-refrigerati

2.9.3. Capacità di ritenzione idrica

Risultati di WHC (water holding capacity) durante lo stoccaggio sono presentati in Figura 2.9. Le curve mostrano che il peso si riduce in% rispetto al peso iniziale. Dalle curve può vedere che il risultato della conservazione del prodotto a + 3 °C è un WHC leggermente ridotto rispetto al prodotto a partire da una conservazione a -1,5 °C. Questa tendenza corrisponde alla perdita di gocciolamento inferiore documentata della carne di maiale refrigerata normale.

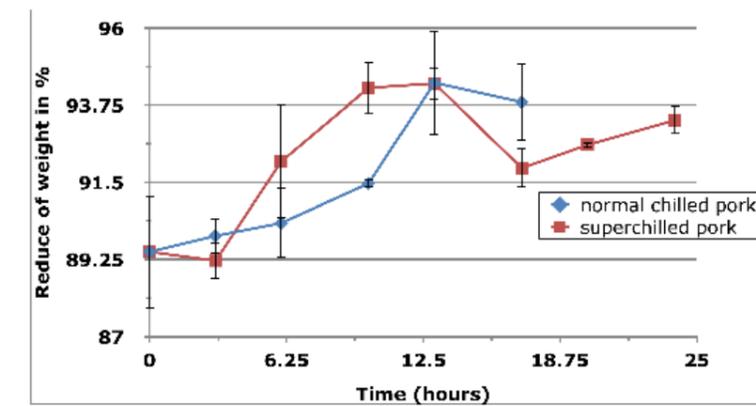


Figura 2.2.9: Capacità di ritenzione idrica percentuale delle braciola di maiale biologico superchilate con livello di ghiaccio del x% (rosso) conservato a -1,5 °C e campioni di riferimento refrigerati conservati a + 3°C (blu)

2.9.4. Colore

I risultati delle misurazioni del colore durante la conservazione sono presentati nelle Figure 2.10 e 2.11. Le curve sono la media di 3 campioni paralleli. I valori sono dalla scala L (luce contro buio), dalla scala a (rosso contro verde) e dalla scala b (giallo vs blu). Da questi valori il delta E è stato calcolato usando l'equazione 1.

Le differenze sono più elevate all'inizio del periodo di conservazione, ma si avvicinano a vicenda durante il periodo di archiviazione.

I cambiamenti di colore documentati per la cotoletta di maiale biologica erano solo lievi e non era possibile documentare una tendenza chiara. Le differenze di colore possono probabilmente essere meglio spiegate da fattori esterni, ad es. come il livello di stress alla macellazione e non dall'applicazione di superchilling.

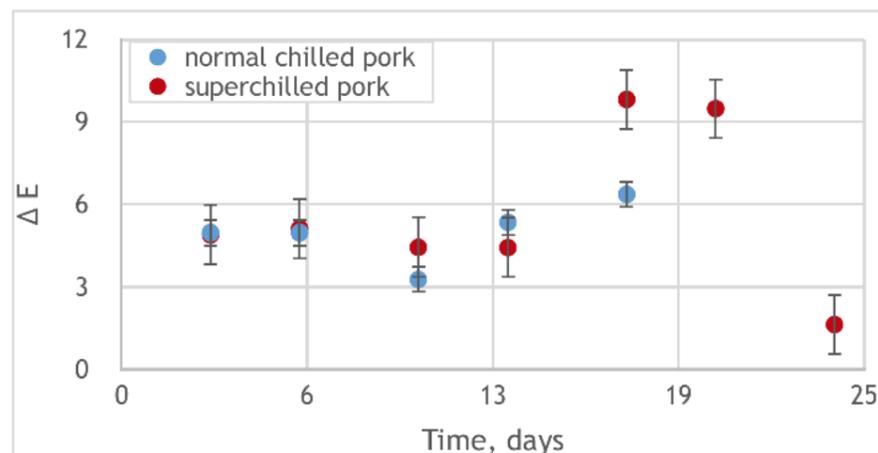


Figura 2.2.10: Cambiamenti di colore L^*a^*b (espresso come delta E) per la normale carne di maiale refrigerata e super-refrigerata.

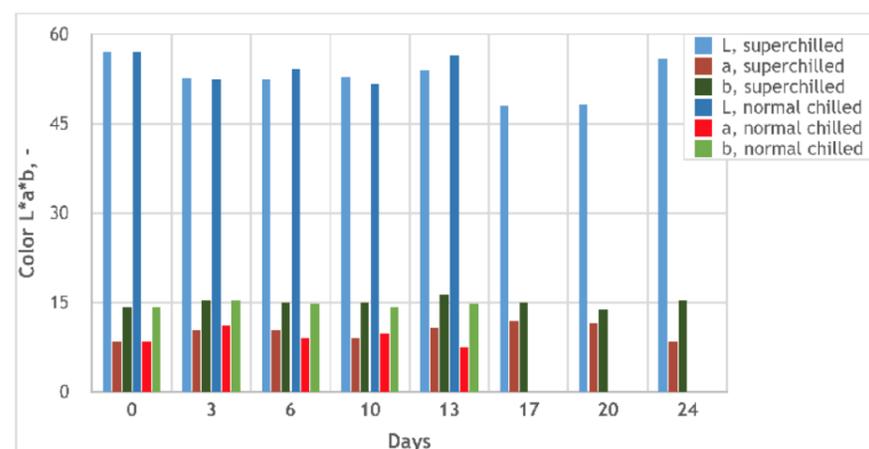


Figura 2.2.11: Variazioni di colore nelle coordinate Hunter L^*a^*b per la cotoletta di maiale normale e superchilata

2.10. Conclusioni

I prodotti biologici hanno in genere la stessa durata di conservazione rispetto ai prodotti non biologici e sono anche conservati nelle stesse condizioni della catena del freddo. Il concetto di superchilling è stato applicato per un prodotto di salmone biologico e un prodotto di maiale biologico che sono comunemente disponibili sul mercato norvegese ed europeo. Per entrambi i prodotti è stato possibile prolungare la durata di conservazione di 14 giorni, in relazione alla durata di conservazione del prodotto nella normale catena del freddo. Estensioni di durata simile sono documentate con pesce e prodotti a base di carne e sembra sicuro concludere che i risultati sono trasferibili ai prodotti biologici. In altre parole, la durata di conservazione del prodotto dipenderà principalmente dalle condizioni igienico-sanitarie, dalla lavorazione e dalle condizioni della catena del freddo, quindi dall'origine organica del prodotto. È necessario

sottolineare che l'estensione della vita commerciale documentata dipenderà dalle condizioni di lavorazione e dalle condizioni igieniche dei singoli siti di produzione. Test individuali devono essere eseguiti sul posto per documentare la durata di conservazione assoluta di una determinata linea di produzione superchillata. Tuttavia, il potenziale del superchillato è chiaramente che la durata di conservazione del prodotto può essere aumentata di 14 giorni ed è quindi doppia. La tecnologia può quindi essere di particolare interesse per le PMI al fine di aumentare la disponibilità sul mercato dei loro prodotti biologici.

È stato anche possibile estendere la durata di un prodotto che aveva già 7 giorni. Questo aspetto del superchilling non è stato finora studiato da altri ricercatori. Questo approccio potrebbe essere di interesse estendere l'esposizione al mercato per i prodotti biologici quando non è possibile venderlo nei primi giorni dopo la macellazione.

Table 2.2.1: Documented shelf life for organic salmon and organic pork products.

Prodotto	Shelf life (+3°C)	Shelf life superchilled (-1.5°C, 15% ice)
Salmone	14 giorni	28 giorni (+14 giorni)
Maiale	14 giorni	28 giorni (+14 giorni)

La qualità dei prodotti alimentari è difficile da definire e diversi produttori definiranno i singoli parametri di qualità. Nella presente inchiesta il colore del prodotto è stato valutato come parametro di qualità. Non c'era alcuna differenza significativa o significativa tra il colore del salmone e del maiale normali refrigerati e superchillati.

Un altro aspetto di qualità investigato è stato la perdita di gocciolamento e la capacità di ritenzione idrica, che forniscono un'indicazione dei cambiamenti strutturali. La perdita di gocciolamento e la capacità di ritenzione idrica sono aspetti correlati e dovrebbero essere valutati insieme. I prodotti biologici superchill mostrano una maggiore perdita di gocciolamento e una ridotta capacità di ritenzione idrica. La ragione di ciò è il danno da congelamento del prodotto durante il congelamento parziale in condizioni di sovraeccitazione. L'effetto è documentato in letteratura per i prodotti surgelati in generale non è correlato all'origine organica.

Le indagini eseguite hanno dimostrato il potenziale del concetto di superchilling per i prodotti biologici. La tecnologia necessaria è disponibile sul mercato e può essere implementata nella produzione biologica.

2.11. Bibliografia

Bantle, Michael; Claussen, Ingrid Camilla; Tolstorebrov, Ignat. Superchilling of organic Food : part 1: Concept, State-of-the-Art and Potential for small scale implementation. Trondheim: SINTEF Energi 2016 (ISBN 978-82-594-3671-9) SINTEF Energi. Rapport(TR A7583)

Haugland, A., Aune, E. J., & Hemmingsen, A. K. T. (2005). Superchilling - innovative processing of fresh food. In Eurofreeze 2005: Individual Quick Freezing of Foods, Sofia, Bulgaria.

II. II CONGELAMENTO

3. Effetto del congelamento e della velocità di congelamento sulla qualità di mele biologiche

University of Teramo, Faculty of Bioscience and Agro-Food and Environmental Technology
Pittia, P.

3.1. Introduzione

È in crescente aumento l'attenzione data dai consumatori al valore nutrizionale e salutistico degli alimenti. L'interesse principale è mostrato verso i frutti con una più ricca fonte di micronutrienti essenziali (ad esempio vitamina C e acido folico) e altri composti bioattivi, compresi i composti fenolici; alcuni studi hanno evidenziato ruoli chemioprotettivi sulla salute umana, come dimostrato in studi epidemiologici (Van Duyn e Pivonka, 2000).

La senescenza, la maturazione e la contaminazione microbica e la crescita compromettono rapidamente il valore nutrizionale della frutta fresca e sono ora disponibili varie azioni di conservazione per mantenere la qualità e la sicurezza dei prodotti freschi. Tra le varie tecniche, il congelamento è riconosciuto come uno dei principali processi utilizzati per la conservazione e lo stoccaggio a lungo termine dei prodotti a base di frutta (Silva et al., 2009). La temperatura di congelamento causa la transizione di fase dell'acqua libera e congelabili a cristalli di ghiaccio, in tal modo diventa immobilizzato e modifiche chimiche, biochimiche sono notevolmente rallentate, e la crescita microbica è limitata, in tal modo il valore nutrizionale e la salute potrebbe essere preservato.

Frutta e verdura cruda presentano grandi quantità di acqua in proporzione al loro peso (85-90%) e, quindi, il cambio di fase dell'acqua dovuto al congelamento rende questi prodotti più suscettibile alla formazione di cristalli di ghiaccio e allo scongelamento rispetto ad altri tipi di alimenti. La qualità degli alimenti cellulari dopo lo scongelamento è altamente correlata all'integrità e alla vitalità delle cellule dei tessuti. La formazione di cristalli di ghiaccio, la migrazione dell'acqua e le caratteristiche intrinseche della struttura cellulare sono considerati i principali fattori che influenzano la struttura cellulare durante il congelamento (Li et al., 2018). In realtà a causa delle loro caratteristiche strutturali cellulari, i frutti sono meno resistenti al processo di congelamento rispetto alle verdure.

Il congelamento dovuto alla formazione di ghiaccio, all'espansione del volume durante il congelamento e alla ricristallizzazione, potrebbe quindi compromettere l'integrità delle pareti cellulari, danneggiare la struttura vegetale e determinare la mancanza di integrità del prodotto e dopo lo scongelamento potrebbero verificarsi drenaggio eccessivo o perdita di forma. Nel complesso questo può influenzare da un lato la consistenza e le proprietà sensoriali e, dall'altro, le proprietà nutrizionali e salutistiche di frutta e verdura congelate e scongelate, come parte dei loro micro-nutrienti, possono essere persi nell'acqua rilasciata e nelle reazioni enzimatiche può essere favorito a causa del danneggiamento della struttura vegetale che facilita l'attività. Per migliorare la qualità dei prodotti surgelati inattivando o inibire gli enzimi che possono

influenzare la qualità del prodotto durante il congelamento, lo stoccaggio congelati e dopo lo scongelamento, pre-trattamenti di frutta e verdura fresca sono raccomandate e le più usate sono Bianchitore (per le verdure) e immersione in soluzioni contenenti acidi e / o zuccheri come agenti protettivi per ridurre il pH e / o ridurre l'acqua congelabile.

I prodotti biologici, rispetto a quelli integrati o convenzionali, sono riconosciuti per l'assenza e / o la bassa presenza di sostanze fitochimiche e contaminanti ambientali. Il congelamento potrebbe essere un'interessante tecnologia di conservazione applicabile in modo più esteso anche nella produzione di alimenti biologici e attualmente solo pochi sono i prodotti disponibili sul mercato. Diverse possono essere le ragioni che hanno limitato l'applicazione di questa tecnologia ai prodotti biologici grezzi, incluse le informazioni limitate sulla loro idoneità a essere elaborate.

Tuttavia, l'effetto di procedure organici su altri attributi di qualità dei prodotti biologici tra cui la qualità nutrizionale in termini di macronutrienti, vitamine e minerali, così come le proprietà fisiche, funzionali e sensoriali sono ancora in discussione (Roussos e Gasparatos, 2009; Stracke et al., 2010; Brandt et al., 2011; Lima and Vianello, 2011).

Nel progetto Susorganic è stato così sviluppato uno studio volto a valutare:

- Effetto dei pre-trattamenti ed in particolare di immersione e impregnazione sotto vuoto utilizzando soluzioni a base di succo di limone. L'impregnazione sottovuoto è una nuova tecnologia che grazie a una rapida riduzione della pressione potrebbe accelerare la penetrazione di soluti e composti di interesse.
- Effetto di diverse percentuali di congelamento

3.2. Disegno sperimentale

3.2.1. Esperimento 1: Effetto di pre-trattamenti di immersione e impregnazione sotto vuoto utilizzati per migliorare la stabilità nel tempo

La tecnologia delle mele biologiche allo stoccaggio congelato e congelato e l'effetto dei pre-trattamenti di impregnazione a immersione e sottovuoto sulle mele (c.a Golden delicious) sono stati valutati valutando i cambiamenti delle principali proprietà di qualità compositive e fisiche (colore, trama) sono stati valutati. Cv organico (ORG) e convenzionale (CONV) cv. Golden Delicious della categoria „extra“ con la stessa origine (Trentino-Alto-Adige, Italia) sono stati acquistati in un mercato locale.

Entrambe le mele ORG e CONV sono state sottoposte ai due diversi pre-trattamenti, ossia immersione e impregnazione sottovuoto (738 mbar, 10 s) in acqua (controllo) o soluzione di succo di limone biologico allo 0,5% v / v (20 ° C).

Dopo i pre-trattamenti, i cubetti di mele sono stati vuotati e confezionati in un unico strato in sacchetti BOPP (spessore del film: 30 mm) e congelati in un congelatore (Forma, Thermo Scientific, Milano, Italia) impostati a - 40 ° C per riprodurre l'elevato congelamento condizioni di tasso. Le analisi sono state eseguite dopo 15 e 30 e 300 giorni di conservazione congelata. Prima dell'analisi, congelare i campioni dove sono stati scongelati in monostrato a 4 ° C per 15 ore.

Sono state effettuate le seguenti analisi: umidità, pH, ° Bx, consistenza, indice di amido, colore, acidi organici, attività enzimatica (polifenolossidasi, PPO), contenuto fenolico totale (Neri et al., 2019).

3.2.2. Esperimento 2: Effetto della velocità di congelamento

Nel progetto SusOrganic è stato studiato l'effetto del congelamento e della varietà di mele biologiche sui principali attributi di qualità. In particolare, le mele ORG di due diverse varietà (Golden Delicious e Royal Gala) sono state sottoposte al congelamento a due diverse temperature (-18 °C e -40 °C) e ai loro principali attributi di qualità (perdita d'acqua, umidità, consistenza, colore) così come è stata valutata la ritenzione di composti fenolici. L'effetto di immersione con una soluzione di succo di limone (Neri et al., 2019) è stato testato. Sono state prese in considerazione due diverse varietà di mele (Golden delicious e Royal Gala cv.) A fini comparativi, lo studio è stato condotto anche su mele della stessa varietà ma prodotte da pratiche agricole convenzionali.

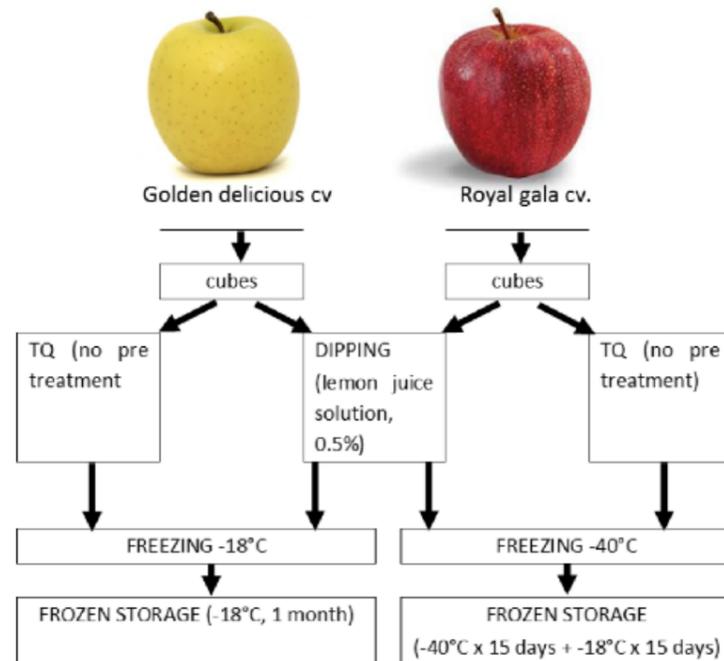


Figura 3.3.1: Experimental design per l'effetto della velocità di congelamento

Le mele convenzionali (CONV) e quelle organiche (ORG) di due cultivar (c.a Golden delicious e Royal gala) sono state acquistate contemporaneamente in un supermercato locale (dicembre 2017). Per questi campioni non è stato possibile avere ulteriori informazioni sull'area di coltivazione e sul tempo di raccolta che potrebbero quindi essere differenti anche per la stessa cultivar tra CONV e ORG.

Entrambe le mele ORG e CONV sono state sbucciate e tagliate a cubetti (1 cm di lato) e metà del campione è stato sottoposto a immersione in soluzione di succo di limone organico allo 0,5% v

/v (20 °C) e la parte rimanente è stata lasciata senza pretrattamenti.

Mele ORG e CONV, immerse o meno sono state confezionate in sacchetti di plastica e poi congelate in congelatori (Forma, Thermo Scientific, Milano, Italia) impostate a -18 °C e -40 °C per riprodurre condizioni di bassa e alta velocità di congelamento. Mele congelate a -18 °C sono state conservate alla stessa temperatura per 30 giorni mentre quelle congelate a -40 °C sono state conservate inizialmente per 15 giorni alla stessa temperatura e poi a -18 °C per i restanti 15 giorni (in totale: 30 giorni di conservazione).

Le seguenti analisi analitiche e strumentali sono state condotte sui cubetti di mele fresche e dopo immersione e congelamento (30 giorni): umidità, pH, ° Bx, consistenza, colore, contenuto fenolico totale con metodi riportati in Neri et al., 2018 (submitted).

3.3. Risultati (Esperimento 1):

3.3.1. Caratterizzazione dei frutti freschi: ORG vs. CONV

Nella Tabella 11.1 sono stati riportati i risultati delle analisi chimiche e fisiche condotte sulle mele Golden Delicious ottenute con agricoltura biologica e convenzionale. Le mele fresche biologiche e convenzionali hanno mostrato valori simili di pH, solidi solubili, indice di maturazione e indice di amido, che indicano complessivamente un grado di maturità uguale. Inoltre, questi risultati sono in accordo con quelli riportati in letteratura, a parità di cultivar di mele, di Salvatori et al. (1998) e Mújica Paz et al. (2003) per le mele convenzionali.

Confrontando il contenuto di zuccheri delle mele organiche e convenzionali, sono state rilevate quantità più elevate ($p < 0,01$) nelle mele coltivate convenzionalmente. D'altra parte, le mele biologiche hanno mostrato un contenuto più alto e più basso di acido tartarico e acido ascorbico rispetto alle mele convenzionali, rispettivamente. Nessuna differenza tra le mele ORG e CONV nell'attività polifenolossidasi mentre un contenuto polifenolico più alto è stato trovato in ORG rispetto a quelle CONV in accordo con i dati sulle mele Golden Delicious di altri autori (Weibel et al., 2000; Stracke et al., 2010).

Per quanto riguarda il colore e le proprietà meccaniche, non sono state evidenziate differenze tra le mele ORG e CONV. Una maggiore fermezza nelle mele biologiche rispetto a quelle convenzionali è stata segnalata per le mele „Golden Delicious“ da Reganold et al. (2001), e Reig et al. (2007)

3.3.2. Effetti dei pre-trattamenti su frutti freschi

Il pre-trattamento di immersione e di impregnazione sottovuoto (VI) ha influito sulla composizione dei cubetti di mele determinando un guadagno idrico significativo ($p < 0,05$) e la perdita di solidi solubili. Durante l'immersione, i trasferimenti di massa sono dovuti a fenomeni osmotici e di diffusione indotti dalle differenze nei solidi solubili tra le mele e la soluzione impregnante (13,25 vs 6,25 ° Brix). Al contrario, durante il trattamento VI, questi fenomeni sono combinati con meccanismi idrodinamici (HDM) e fenomeni di deforzione-rilassamento (DRP) indotti dalla pressione negativa applicata, e questo spiega il più alto assorbimento di acqua evidenziato in entrambi i campioni impregnati sottovuoto in confronto a quelli immersi.

Per quanto riguarda la variazione dei solidi solubili, non sono state evidenziate differenze signifi-

ficative ($p < 0,05$) tra i campioni impregnati di succo di limone diluito. Nel campione trattato con VI, l'aggiunta di soluti al tessuto della frutta avrebbe potuto contrastare la perdita solida solubile che in questo caso è ascrivibile alla perdita della fase acquosa interna nativa che fuoriesce dai pori del tessuto di mela in funzione dell'espansione e del deflusso del gas interno.

Confrontando, a parità di condizioni di pre-trattamento, i dati di trasferimento di massa dei campioni di ORG e CONV, è stata osservata una variazione minima sia del contenuto solido solubile che di acqua in tutti quelli CONV e questi risultati sono spiegati dalla minore porosità della mela fresca convenzionale che ha limitato gli scambi.

Confrontando i risultati relativi all'arricchimento dell'acido citrico dei cubetti di mela dovuto all'impregnazione con succo di limone diluito, si può osservare che sia i campioni trattati con ORG che CONV hanno mostrato un contenuto di questo acido significativamente ($p < 0,001$) superiore al controllo, frutta senza pre-trattamento e, in particolare, i valori più alti sono stati trovati nei frutti organici a causa della loro più alta porosità.

Tabella 3.3.1: Caratteristiche chimiche e fisiche dei frutti di mela Golden Delicious biologici e convenzionali.

Proprietà/parameteri	Biologico (ORG)	Convenzionale (CONV)	Significatività
Solidi solubili (°Brix)	13.2 ± 0.3	13.5 ± 0.3	ns
Acidità titolabile (Kg acido malico/ 100 Kg di campione)	0.33 ± 0.01	0.31 ± 0.01	ns
Grado di maturazione (solidi solubili/acidità)	40.8	43.3	ns
Umidità (%)	85.6 ± 0.3	86.2 ± 0.4	ns
Starch index	9	9	ns
densità solido/liquido (Kg /m ³)	10.2	10.3	*
Densità del frutto (Kg / m ³)	0.804	0.810	*
Porosità (ε %)	25.3	24.5	*
Attività dell'acqua (aw)	0.994 ± 0.002	0.991 ± 0.001	ns
pH	3.73 ± 0.02	3.77 ± 0.02	ns
Luminosità (L*)	76.6 ± 1.9	76.3 ± 1.9	ns
Hue angle (h°)	91.5 ± 2.0	91.4 ± 2.1	ns
Durezza (N)	243 ± 13	249 ± 20	ns
Contenuto di polifenoli totali (mg GAE g ⁻¹ dm)	5.61 ± 0.52	4.31 ± 0.22	*
Polifenolossidasi (U g ⁻¹ dm)	10.6 ± 1.1	10.7 ± 0.3	ns

Ns Non-significativo. *, livello di probabilità 0.05.

3.3.3. Effetto dei pre-trattamenti sul colore dei frutti

Dopo l'immersione, i campioni hanno evidenziato una variazione positiva ($p < 0,5$) di entrambi i parametri L* (leggerezza) e h° (angolo di tonalità, indice della cromaticità) rispetto alle mele non trasformate.

Secondo quanto osservato in altri studi (Neri et al., 2016; Fito and Chiralt, 2000), i trattamenti VI hanno indotto una riduzione del parametro L* riconducibile alla diminuzione della riflettività della matrice vegetale come effetto dell'aria sostituzione dell'acqua che avviene durante il trattamento VI. Il trattamento con VI non ha determinato alcun cambiamento dei valori di h° quando l'acqua è stata usata come agente di impregnazione e questo in accordo con altri studi (Neri et al., 2016; Perez-Cabrera et al., 2011). Tuttavia, quando è stata utilizzata la soluzione di succo di limone, è stato osservato un aumento del parametro h° probabilmente a causa del contributo di alcuni composti cromatici del succo di limone alla mela e / o variazioni cromatiche dovute al cambiamento del pH dovuto agli acidi arricchimento della matrice di mele.

3.3.4. Effetto dei pre-trattamenti sulla texture dei frutti

Nella figura 3.2, viene riportato l'effetto dell'impregnazione sottovuoto e sottovuoto sulla consistenza dei cubetti di mele. Dopo il trattamento VI con succo di limone diluito, i campioni di ORG hanno mostrato valori di solidità paragonabili a quelli dei frutti freschi, mentre i valori massimi sono stati misurati sul campione impregnato di acqua (VI_C). Questo risultato potrebbe essere ascrivito alla sostituzione dell'acqua nell'aria che il trattamento VI_C ha innescato in misura maggiore rispetto a quelli semplicemente immersi. Al contrario, la fermezza delle mele CONV, indipendentemente dal pre-trattamento applicato, è stata negativamente influenzata dai pre-trattamenti. Dal momento che i frutti freschi di ORG e CONV avevano gli stessi valori di fermezza iniziale, i diversi effetti alterati dalla lavorazione potevano essere spiegati dalla diversa porosità dei frutti e / o dalle differenze nella composizione della parete cellulare. Questi fenomeni potrebbero essere responsabili della massima fermezza dimostrata sui campioni di ORG dopo il trattamento; questi campioni sono in effetti notevolmente più sotto-sottoposti a stress ambientali rispetto a quelli coltivati con metodi convenzionali (Asami et al 2003).

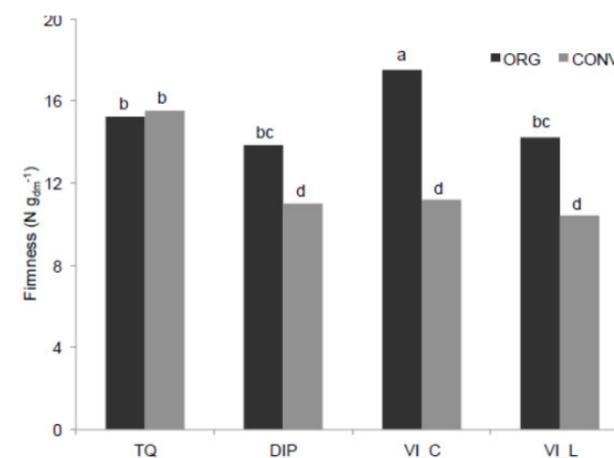


Figura 3.3.2: Durezza delle mele organiche (ORG) e convenzionali (CONV). TQ: non trattato; TUFFO; immerso nel succo di limone diluito; VI_C: vuoto impregnato in acqua; VI_L: sottovuoto impregnato di succo di limone diluito. Diverse lettere indicano differenze statisticamente significative a $p < 0,05$

3.3.5. Effetto dei pre-trattamenti sui composti bioattivi

Le mele ORG mostravano una tendenza di maggiori concentrazioni fitochimiche rispetto alle mele prodotte intenzionalmente. Inoltre, prima del congelamento, è stato trovato un più alto contenuto di com-libbre fenoliche totali in ORG e CONV pre-trattato, ma solo per le mele ORG queste differenze erano statisticamente significative ($p < 0,05$). Questi risultati possono essere dovuti alla maggiore presenza in questo campione di polifenoli e altri composti bioattivi derivanti dal succo di limone, penetrati nella matrice vegetale durante il pre-trattamento di impregnazione. Questo prodotto si è formato a seguito di reazioni enzimatiche e ossidative che portano alla formazione di composti marroni con attività di rottura ad alta catena.

Questa ipotesi è stata confermata da valori più alti dell'attività anti-ossidante in vitro del vuoto im-pregnato con campioni di succo di limone di entrambi i tipi di mele.

3.3.6. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sul colore

Overall, Complessivamente, il colore delle mele congelate dopo lo scongelamento è stato influenzato negativamente dal congelamento e dal tempo di conservazione congelato a causa del verificarsi della reazione di doratura. Inoltre, i dati L^* e h° delle mele congelate sono stati significativamente influenzati ($p < 0,001$ livello) dal metodo di coltivazione, dal pretrattamento e dal tempo di conservazione. I pre-trattamenti fatti con l'aggiunta di succo di limone hanno influenzato positivamente il colore delle mele congelate e scongelate ottenute dall'effetto sia sulla diminuzione del pH sia sull'attività antiossidante degli acidi ascorbico e citrico sull'attività enzimatica.

3.3.7. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sulla durezza

Entrambi i campioni di ORG e CONV al momento dello scongelamento hanno evidenziato una drastica perdita di consistenza nel primo mese di stoccaggio congelato, mentre sono stati osservati solo un addolcimento limitato a 10 mesi di stoccaggio congelato. Questo risultato è in accordo con altri studi su altri vegetali (Neri et al., 2014) ed è un indice del raggiungimento di uno stato di equilibrio nella matrice congelata che non influisce ulteriormente sulla cellula domanis e sulle strutture. L'effetto negativo compromesso dal congelamento e dall'accumulo congelato sulle proprietà meccaniche del tessuto delle mele è principalmente causato dal danno meccanico indotto dalla formazione di ghiaccio, dalla crescita dei cristalli e dai relativi stress potenziali che danneggiano le membrane delle pareti cellulari e la pectina mediata connessioni cellulari (Neri et al., 2014). Confrontando i risultati ottenuti con le mele ORG e CONV, si può notare che il primo ha mostrato una ritenzione di fermezza superiore a ($p < 0,05$) i secondi. L'analisi statistica ha evidenziato un effetto positivo dei pre-trattamenti di impregnazione sottovuoto sulle proprietà meccaniche delle mele congelate ORG mentre nessun effetto è stato notato sui campioni CONV

3.3.8. Effetto del congelamento e dello stoccaggio in stato congelato sui composti bioattivi

Dopo 300 giorni di conservazione congelata (10 mesi) i risultati hanno mostrato una diminuzio-

ne del contenuto totale di polifenoli e attività antiossidante di entrambi i tipi di mele e per tutti i pre-trattamenti.

A parità di pretrattamento e tempo di congelamento, le mele ORG, che partivano da un più alto contenuto di polifenoli, mostravano una simile perdita di questi bioattivi rispetto al CONV e, dopo 10 mesi, quindi, un contenuto complessivo più alto di ($p < 0,05$) è stato trovato in i campioni corrispondenti.

3.4. Risultati (Esperimento 2):

3.4.1. Caratterizzazione dei frutti freschi: ORG vs. CONV

Nella Tabella 3.2 sono riportati i risultati delle analisi chimiche e fisiche effettuate sui due diversi tipi di mele (GD e RG), sia CONV che ORG.

All'interno di ciascuna cultivar è possibile osservare una differenza significativa tra le proprietà della mela CONV e ORG e in particolare nel caso della durezza. Nelle mele RG si potrebbe anche notare una differenza significativa nel caso del contenuto di solidi solubili ($^\circ$ Bx). Per le mele GD, i lotti utilizzati per questo studio risultano significativamente diversi rispetto a quelli utilizzati nella precedente serie di esperimenti, come evidenziato da un contenuto inferiore significativo di polifenoli e, nel caso degli ORG, anche di durezza.

Mentre erano attese differenze tra GD e RG, caratterizzate naturalmente da diverse proprietà compositive, fisiche e sensoriali, le differenze osservate tra CONV e ORG nella stessa cultivar indicano che le mele erano probabilmente prodotte e raccolte dai campi in tempi diversi e quindi non hanno lo stesso tempo di conservazione e / o sono state stoccate in condizioni ambientali diverse. Durante lo stoccaggio, diversi percorsi metabolici legati alla modificazione della maturazione, le proprietà strutturali e qualitative delle mele e le loro percentuali sono influenzate da vari fattori come la temperatura, l'umidità relativa e la composizione dell'atmosfera. Inoltre, è noto che RG è una mela che durante la stagionatura tende a essere farinosa, perdendo la sua caratteristica freschezza (Piazza e Gio-venzana 2015, Saei et al., 2011).

Tabella 3.3.2: Caratteristiche chimiche e fisiche dei frutti di mela Golden Delicious (GD) e Royal gala (RG) biologiche e convenzionali.

Proprietà/parametri	Golden delicious cv.		Royal Gala cv.	
	Organic (ORG)	Conventional (CONV)	Organic (ORG)	Conventional (CONV)
Soludi solubili ($^\circ$ Brix)	13.0 \pm 0.2	13.1 \pm 0.1	11.3 \pm 0.1	13.0 \pm 0.2
Umidità (%)	87.4 \pm 0.1	86.4 \pm 0.1	89.5 \pm 0.1	87.9 \pm 0.1
pH	3.79 \pm 0.03	3.41 \pm 0.01	3.67 \pm 0.03	3.89 \pm 0.04
Luminosità (L*)	54.02 \pm 1.1	55.1 \pm 1.9	53.9 \pm 1.3	52.9 \pm 3.1
Hue angle (h $^\circ$)	85.9 \pm 1.6	87.9 \pm 1.8	88.6 \pm 2.3	85.2 \pm 1.2
Maximum force (N)	159.7 \pm 13.6	284.2 \pm 9.6	368.4 \pm 18.6	151.1 \pm 9.9

Contenuto in polifenoli totali (mg GAE g ⁻¹ dm)	3.34 ± 0.01	1.57 ± 0.29	2.03 ± 0.06	9. ± 0.05
------------------------------------------------------------	-------------	-------------	-------------	-----------

3.4.2. Effetto della velocità di congelamento sulla qualità delle mele CONV e ORG

I risultati + stati significativamente influenzati dalle caratteristiche iniziali dei frutti freschi e l'effetto della diversa velocità di congelamento ottenuta dal congelamento a -18 °C e -40 °C era difficile da evidenziare.

Le mele complessive congelate a -40 °C hanno mostrato un rilascio di acqua leggermente inferiore allo scongelamento, senza tendenze dovute al tipo di allevamento e alla cultivar. Per quanto riguarda la fermezza, è stato ottenuto un risultato diverso a seconda della cultivar di mele (Figura 3.3). Nel caso del Golden delicious, i campioni conservati a -40 °C hanno evidenziato un effetto ammorbidente leggermente superiore rispetto a quelli trattati a -18 °C, mentre un risultato opposto è stato osservato nel caso del Royal gala con differenze limitate tra Prodotti ORG e CONV. Il congelamento rapido, mentre applicato per favorire la nucleazione con piccoli cristalli e ridurre il tasso di crescita dei cristalli di ghiaccio, in alcuni casi è stato dimostrato che altera le proprietà strutturali causando screpolature e le corrispondenti proprietà strutturali.

Per quanto riguarda il contenuto di polifenoli dopo 30 giorni di conservazione delle mele lavorate diversamente, la ritenzione (% , calcolata rispetto al valore del corrispondente prodotto fresco) è riportata nella figura 3.4. In questo caso, è stato osservato un effetto positivo del congelamento rapido, ma l'entità era diversa entità a seconda della varietà di mele e del tipo di coltivazione (CONV vs. ORG). Nel caso della GD, l'effetto era della stessa entità tra CONV e ORG mentre per Rg il positivo e, in questo caso, l'effetto significativo (p <0,05) era evidenziato solo nel caso del prodotto CONV.

Le differenze nel grado di maturazione e nelle proprietà strutturali delle due varietà di mele, indipendentemente dal loro tipo di coltivazione, possono influire in misura diversa sull'effetto della velocità di congelamento e sulla ritenzione e protezione durante lo stoccaggio di questi metaboliti secondari.

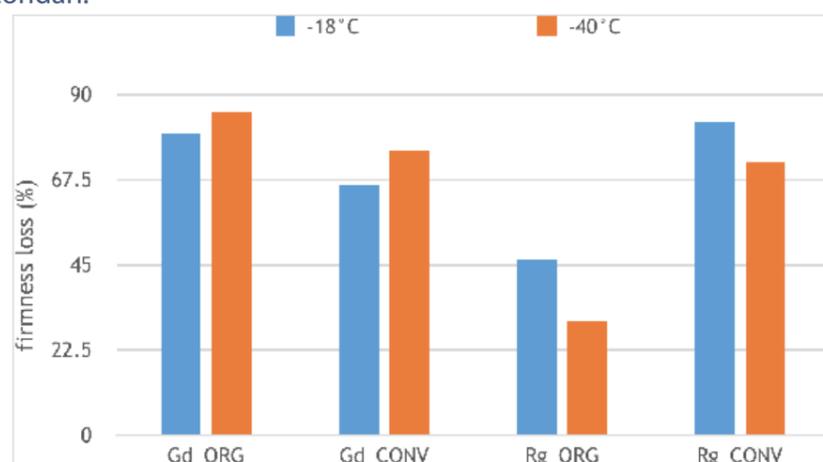


Figura 3.3.3: Perdita di durezza (% rispetto al valore del corrispondente prodotto fresco) di mele Golden delicious (Gd) e Royal gala (Rg), mele organiche (ORG) e convenzionali (CONV) non immerse dopo il congelamento a -18 °C e -40 °C e conservato per 30 giorni a -18 °C o -40 °C.

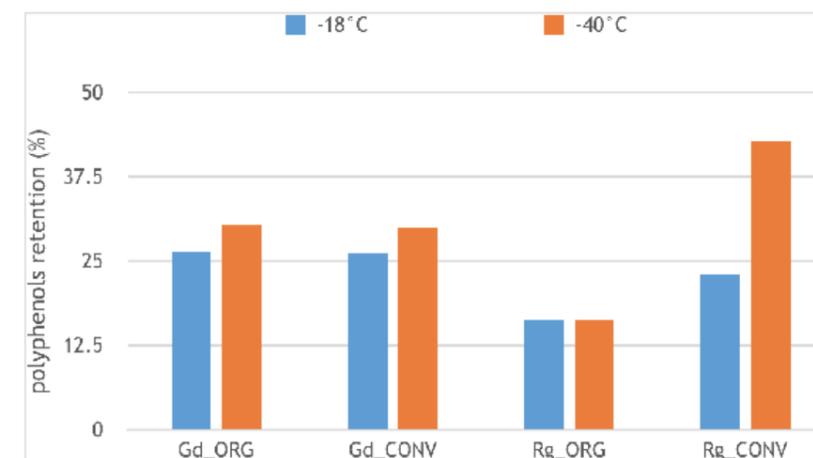


Figura 3.3.4: polifenoli (% rispetto al valore del corrispondente prodotto fresco) di mela golden delicious (Gd) e Royal gala (Rg), mele organiche (ORG) e convenzionali (CONV) non immerse dopo il congelamento a -18 °C e -40 °C e conservato per 30 giorni a -18 °C o -40 °C.

L'effetto di immersione nella soluzione di succo di limone combinato con il diverso tasso di congelamento è stato evidenziato principalmente sul colore dei cubetti di mela diversamente congelati e conservati limitando leggermente la doratura (L* e l'angolo di tinta). Nessun altro effetto significativo è stato osservato in altri parametri di qualità (contenuto di polifenoli, consistenza).

3.5. Conclusioni

3.5.1. Esperimento 1

Questo studio è stato condotto su mele ottenute con metodi di coltivazione biologici e convenzionali della stessa cultivar e con un indice di maturazione uguale. Complessivamente inizialmente hanno mostrato solo differenze limitate negli acidi organici e nel contenuto di zucchero che potrebbero essere correlati con una diversa velocità dei percorsi metabolici durante la maturazione. Il contenuto totale di polifenoli dell'ORG era più alto nelle mele biologiche a causa della risposta della pianta agli stress biotici e abiotici, mentre non si osservavano differenze nelle proprietà fisiche dei frutti a parte la porosità che era maggiore nelle mele ORG.

L'elaborazione ha interessato le mele sia organiche che convenzionali ma, dopo la lavorazione, le mele biologiche hanno mostrato un contenuto di polifenoli più elevato e una resistenza meccanica rispetto alle mele convenzionali.

D'altra parte, le mele convenzionali hanno mostrato variazioni più basse del colore a causa della lavorazione, ma le differenze dei valori di tonalità di CONV e ORG erano limitate e non si osservavano differenze di leggerezza.

Nel complesso questa parte dello studio consente di confermare l'adeguatezza tecnologica delle mele ORG da sottoporre a congelamento e congelamento in grado di preservare il contenuto e le proprietà qualitative della frutta fresca iniziale.

3.5.2. Esperimento 2

The effect on the freezing rate on quality properties of apples was investigated on two different apple cultivar (Golden delicious and Royal gala) both ORG and CONV.

The results highlighted that this process parameter, under the experimental conditions applied in this study, could affect some quality attributes of interest (e.g. colour, firmness, polyphenol content) of an extent that greatly depends on the initial quality attributes of the fresh product. Ripeness degree, storage time and storage conditions, independently on the farming procedures (CONV vs. ORG) affect the technological performances and suitability of the raw materials to freezing.

3.6. Bibliografia

Andrews, P.K., Fellman, J.K., Glover, J.D., & Reganold, J.P. (2001). Soil and plant mineral nutrition and fruit quality under organic, conventional, and integrated apple production systems in Washington State, USA. *Acta Horticulture*, 564, 291-298.

Arlai, A., Nakkong, R., Samjain, N., & Sitthipaisarnkun, B. (2012). The Effects of Heating on Physical and Chemical Constitutes of Organic and Conventional Okra. *Procedia Engineering*, 32, 38-44.

Asami, D.K., Hong Y., Barrett, D.M., & Mitchell, A.E. (2003). Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237-1241

Brandt, K., Leifert, C., Sanderson, R., & Seal, C.J. (2011). Agroecosystem Management and Nutritional Quality of Plant Foods: The Case of Organic Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30, 177-197.

Fito, P., & Chiralt, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. In S. M. Alzamora, M. S. Tapia, & A. Lopez-Malo (Eds.), *Minimally processed fruits and vegetables: Fundamental aspects and applications* (pp. 189-204). Gaithersburg: Aspen Publication.

Li D., Zhu Z., Da-Wen S. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science & Technology* 75 (2018) 46–55

Lima, G.P.P., & Vianello, F., (2011). Review on the main differences between organic and conventional plant-based foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 46, 1–13.

Mùjica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E., & Welti-Chanes, J. (2003). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57, 305-314.

Neri, L., Di Biase, L., Sacchetti, G., Di Mattia, C., Santarelli, V., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2016). Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. *Journal of Food Engineering*, 179, 98-108.

Neri, L., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Sacchetti G., Mastrocola D., & Pittia, P. (2014). Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. *Food Chemistry*, 144, 65-73.

Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A., & Gonzalez-Martinez, C. (2011). Effectiveness of anti-browning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 2273-2280.

Piazza L., Giovenzana V. Instrumental acoustic-mechanical measures of crispness in apples. *Food Research International*, 69, 209-215, 2015.

Reganold, J.P., Glover J.D., Andrews, P.K., & Hinman H.R. (2001). Sustainability of three apple production system. *Nature*, 410, 926-930.

Reig, G., Larrigaudi ere, C. & Soria, Y. (2007). Effects of organic and conventional growth management on apple fruit quality at harvest. *Acta Horticulturae*, 737, 61-65.

Roussos, P.A., & Gasparatos, D. (2009). Apple tree growth and overall fruit quality under organic and conventional orchard management. *Scientia Horticulturae*, 123, 247-252
Stracke et al., 2010; Saei A., Tustin D.S., Zamani Z., Talaie A., Hall A.J. Cropping effects on the loss of apple fruit firmness during storage: The relationship between texture retention and fruit dry matter concentration. *Scientia Horticulturae* 130 (2011) 256–265.

Salvatori, D., Andres, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 59-73.

Silva C.L.M., Goncalves E.M., Brandao T.R.S. Freezing of Fruits and Vegetables. Ch 8, In *Frozen food science and technology* (Evans J.A. ed.) 2008 Blackwell Publishing Ltd, pp. 165-183.

Stracke, B.A., Rufer, C.E., Bub, A., Seifert, S., Weibel, F.P., Kunz, C., & Watzl, B. (2010). No effect of the farming system (organic/conventional) on the bioavailability of apple (*Malus domestica* Bork., cultivar Golden Delicious) polyphenols in healthy men: a comparative study. *European Journal of Nutrition*, 49, 301-310.

Van Duyn, M.A.; Pivonka, E. Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional: Selected literature. *J. Am. Diet. Assoc.* 2000, 100, 1511–1521.

Weibel, F.P., Bickel, R., Leuthold, S., & Alfoldi, T. (2000). Are Organically Grown Apples Tastier and Healthier? A Comparative Field Study Using Conventional and Alternative Methods to Measure Fruit Quality. *Acta Horticulturae*, 517, 417-426.

II IV RACCOMANDAZIONI PER IL CONGELAMENTO E LA REFRIGERAZIONE

University of Kassel, Department for Agricultural and Biosystems Engineering, Germany
Sturm, B.

4. Motivi principali per trattare gli alimenti a basse temperature

La conservazione a freddo riduce contemporaneamente l'attività dei microrganismi e la velocità delle reazioni chimiche all'interno di un prodotto. Pertanto, la durata di conservazione e la relativa sicurezza alimentare possono essere significativamente aumentate. Tuttavia, è importante capire che le reazioni chimiche non sono completamente inibite, cioè ulteriori cambiamenti nella composizione del prodotto avvengono anche nello stato congelato.

L'effetto del raffreddamento e del congelamento sull'estensione della durata di conservazione e sulla qualità del prodotto risultante dipendono fortemente dalla temperatura di conservazione (in caso di raffreddamento) e dalla temperatura di conservazione della velocità di congelamento e dalle condizioni di scongelamento in caso di congelamento.

Inoltre, le temperature fredde sono necessarie per la produzione di determinati prodotti come il gelato.

- Maggiore stabilità durante lo stoccaggio (dipendente dalla temperatura)
 - Refrigeration
 - Stoccaggio a breve termine per es. frutta, verdura, latte, carne, bevande
 - Combinazione con atmosfera controllata possibile; Per esempio. deposito di mele o patate per diversi mesi
 - Freezing
 - Stoccaggio a lungo termine
 - Il più importante trattamento a bassa temperatura, poiché durante la conservazione si verifica una perdita di qualità molto ridotta
- Beneficial temperatures for manufacturing foods
 - Chilling/cooling
 - Industria del latte, delle bevande, del grasso e della carne, industria della panificazione
 - Congelamento
 - Conservazione mediante surgelazione e liofilizzazione
 - Fabbricazione di gelato

4.1. Congelamento

L'acqua è il componente principale degli alimenti. Agisce come un mezzo di dissoluzione e contiene sale, poli-sac-caridi e altre sostanze solubili (ad esempio proteine, carboidrati). Pertanto, è necessario notare che:

- Il congelamento negli alimenti differisce da quello dell'acqua pura
- Il congelamento è prodotto-dipendente
 - Composizione

- Dimensione delle particelle
- Metodo e velocità di congelamento (tecnologie e parametri)

La figura 4.1 offre una panoramica del contenuto iniziale di acqua per diversi prodotti a base animale e vegetale.

Prodotto	Contenuto in acqua (%)
Lattuga	95
Pomodoro	94
Cocomero	92
Funghi	91
Fragole	89
Broccoli	89
Pesche	89
Mele	86
Banane	75
Uova	75
Manzo	75
Maiale	75
Pollo	75

Figura 4.1: Contenuto in acqua di prodotti vegetali e animali (adattato da BerkelyWellness, 2001 e FAO, 2018)

4.1.1. Velocità di congelamento

In generale, si possono distinguere due tipi di meccanismi di congelamento, congelamento lento e veloce. Di seguito, un confronto diretto degli impatti di questi due metodi sulla qualità del prodotto è given. La figura 4.2 mostra un confronto della crescita dei cristalli durante il congelamento lento e veloce, mostrando l'effetto molto negativo del congelamento lento rispetto al congelamento rapido.

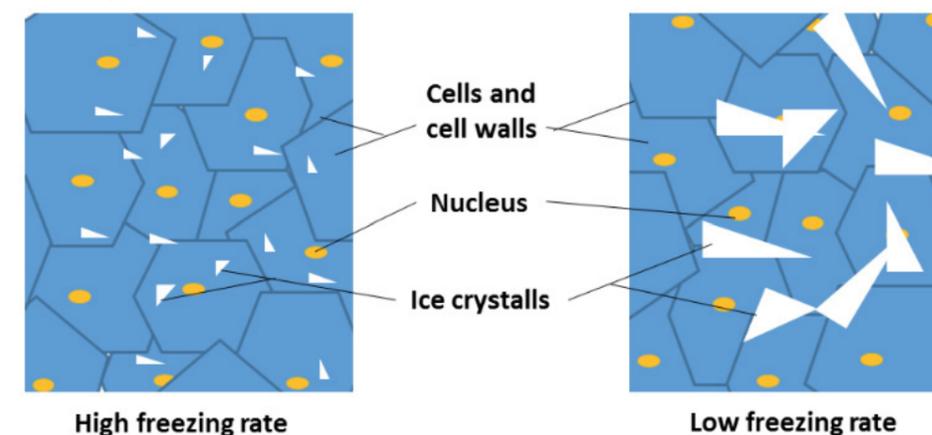


Figura 4.2: Crescita dei cristalli a seconda della velocità di congelamento

4.1.1.1. Congelamento lento

- Basso gradiente di temperature tra alimento e congelatore
 - Piccolo numero di cristalli di ghiaccio
 - Possibile crescita lenta dei cristalli
- Durante il congelamento
 - Grande Perdita di peso (up to 7%), in particolare nel range (-0.5° C to -5/-7° C)
 - L'alta concentrazione di sostanze nel liquido residuo determina un'elevata attività enzimatica
 - Rapida velocità di degradazione!
- Dopo scongelamento
 - Perdita significativa di liquidi e cambio di tessuto a causa del collasso cellulare

4.1.1.2. Congelamento veloce

- Large temperature gradient between food and freezer • Formation of large number of ice crystals
 - Formazione di un elevato numero di cristalli
 - Crescita rapida di tanti piccoli cristalli
 - L'intervallo critico di cristallizzazione viene attraversato rapidamente
 - Distruzione minima o nulla dei tessuti e delle strutture cellulari
- Durante il congelamento
 - Ridotta Perdita di peso (1%)
- Dopo scongelamento
 - Minore Perdita di liquido e cambiamento di texture dovuta a collasso cellulare.

4.2. Qualità che influenza gli aspetti durante il congelamento

Come accennato in precedenza, il congelamento riduce la velocità dei cambiamenti chimici e riduce e/o inibisce l'attività dei microrganismi. Tuttavia, la maggior parte dei microrganismi sono inattivi solo allo stato congelato e saranno di nuovo attivi dopo lo scongelamento.

4.2.1. Microrganismi

- L'acqua è essenziale per l'attività e la crescita dei microrganismi
 - Ma: i microrganismi criofili possono vivere in cibi surgelati!
- Arresto della crescita dei microrganismi
 - 7° C per i batteri (il 90% dell'acqua è congelata)
 - da -10 a -15° C per lieviti e muffe
- Il numero totale di microrganismi si riduce per congelamento.
 - Temperatura decrescente
 - Formazione di cristalli di ghiaccio
 - Diminuzione dell'umidità all'equilibrio: $a_w = f(T)$

- Il danno ai microrganismi dipende da
 - Tipo di microrganismo
 - Tipo di alimento
 - Processo di congelamento
 - Tasso di sopravvivenza 50 - 90%.
 - Dopo lo scongelamento, la riproduzione e la metabolizzazione sono normalmente continuate.

4.2.2. Attività enzimatica

Gli enzimi sono relativamente insensibili al gelo, ma molto sensibili al calore. Pertanto, nei prodotti surgelati, l'attività enzimatica è solo ridotta, non del tutto interrotta. Questo può portare a quanto segue:

- Reazioni enzimatiche possibili
 - Contatto con l'ossigeno
 - Liquido residuo concentrato durante il congelamento
- Queste reazioni possono portare a
 - Rosolatura (pesche)
 - Degradazione dell'acido ascorbico
 - Cambiamenti di sapore
 - Degradazione dei grassi
- Contromisure
 - Sbollentazione
 - Congelamento molto profondo per ridurre al minimo l'attività enzimatica
 - Imballaggio ermetico (impermeabile per ossigeno, aria) Practical storage life (PSL) depends on the nature of the food stuffs in question. An overview for selected foods (in months for various storage temperatures) is given in Table 4.2:

La durata di conservazione pratica (PSL) dipende dalla natura degli alimenti in questione. La tabella 4.2 fornisce una panoramica degli alimenti in sospensione (in mesi per diverse temperature di conservazione):

Tabella 4.2: PSL per vari prodotti e temperature in mesi (modificato da WFLO, 2008)

Prodotto	Temp.		
	-10°C	-15°C	-20°C
Carne magra	5-21	10-37	13-49
Carne grassa	6-17	10-27	13-40
Pesce magro	2-6	4-12	6-20
Frutta e bacche	3-17	17-70	over 70
Ortaggi	3-10	8-20	21-70

4.3. Bruciature da freddo

Le bruciature da freddo sono un problema di qualità alimentare, non di sicurezza alimentare. Appaiono come macchie grigiastre-marrone coriacee sui cibi surgelati. Si verificano quando l'aria raggiunge la superficie del cibo e asciuga il prodotto. Possono verificarsi quando il cibo non è avvolto in modo sicuro in un imballaggio a tenuta d'aria. Questo può accadere anche se l'aria non viene rimossa dalla confezione e/o se la temperatura effettiva nel congelatore è molto fluttuante. Conseguenze potenziali:

- Agglomerazione di elementi strutturali e interazione di macro molecole
- Denaturazione delle proteine muscolari
- Cristallizzazione di poli saccaridi
- Essiccazione irreversibile del prodotto, nessuna ricostituzione completa possibile

Pertanto, per garantire il mantenimento della qualità, è necessario adottare le seguenti misure:

- Utilizzare materiale d'imballaggio a tenuta d'aria.
- Rimuovere tutta l'aria residua dalla confezione prima del congelamento.
- Assicurarsi che la temperatura nel congelatore non si discosti dalla temperatura impostata di oltre ± 2 °C per evitare l'evaporazione e la condensazione dell'acqua dal prodotto.

4.4. Scongelamento

Come mostrato nel capitolo precedente, è di grande importanza garantire un congelamento rapido per ottenere il massimo mantenimento della qualità del prodotto. Lo scongelamento dipende direttamente dall'ulteriore utilizzo dei prodotti. In generale si può affermare che il tempo tra lo scongelamento e il consumo dovrebbe essere minimo. Devono essere presi in considerazione i seguenti aspetti

- Effetto del lento congelamento sulla degradazione durante e dopo lo scongelamento
 - A causa di rotture cellulari, attività enzimatica in tutto il prodotto
 - Aumento del tasso di degradazione
 - La scottatura prima del congelamento inattiva gli enzimi
 - Il degrado è ridotto

L'influenza del congelamento e dello scongelamento sono difficili da separare.

4.4.1. Scongelamento rapido

Lo scongelamento rapido è appropriato per i prodotti destinati all'uso immediato e in cui le dimensioni delle particelle sono sufficientemente piccole da far sì che il centro del prodotto raggiunga la temperatura nominale con sufficiente rapidità:

- Verdure
 - Iniziare a cucinare dallo stato congelato

- Piccole porzioni di carne, pesce, pollame fritto direttamente in padella
 - Pezzi spessi: l'anima è ancora congelata mentre la superficie è già troppo cotta.

4.5. Prodotti di origine animale

Per le carni e i pesci, occorre considerare diversi aspetti per garantire la migliore conservazione della qualità dopo lo scongelamento, come descritto di seguito.

4.5.1. Carne

- Il rapido scongelamento dopo il congelamento della carne bovina prima del rigor mortis si traduce in un „rigore di scongelamento“.
 - Carne dura a causa di contrazioni estreme
 - Insufficienti proprietà leganti dell'acqua
 - Alta perdita di liquido (30 - 40%)
- Lo scongelamento lento a 0 -5° C riduce significativamente la perdita di gocciolamento.
 - Tasso rapido di glicolisi
- Sensibilità alla perdita di gocciolamento
 - La carne bovina è molto sensibile
 - Vitello e agnello significativamente meno sensibili
 - Il maiale è molto robusto

4.5.2. Pesce

- Congelamento rapido di pesci interi prima del rigor mortis
 - Ridotto „gaping“ (gaping)
- È necessario uno scongelamento lento
 - Tempo sufficiente per lo sviluppo di rigor mortis
- Altrimenti
 - Forte restringimento
 - Perdita di liquido
 - „gaping“
- Effetto fortemente dipendente dal tipo di pesce

4.6. Tecnologie di congelamento

Le tecnologie di congelamento possono generalmente essere classificate in base alla modalità di funzionamento e al tipo di trasferimento di calore. La scelta della tecnologia appropriata è di grande importanza per garantire sia l'alta qualità che la fattibilità economica del processo:

- Modalità di operazione:
 - Batch processes
 - Processi discontinui
 - Processi continui

- Trasferimento di calore
 - Convezione (ad es. aria fredda)
 - Conduzione (contatto)
 - Vaporizzazione (ad es. azoto liquido, L-N₂, LIN)
- L'idoneità dipende da
 - Tipo di prodotto: solido, liquido, semisolido, semisolido, in pasta
 - Dimensioni (geometriche)
 - Tasso di congelamento richiesto

4.6.1. Conduzione

- Piccola differenza di temperatura tra il flusso d'aria e il prodotto
- Tecnologie e funzionamento
- Discontinuo (processo discontinuo)
 - Congelatore a piastre (costruzione più antica); pressione idraulica
 - È necessario un buon contatto tra la piastra e il prodotto
 - Adatto solo per prodotti con superficie piana
- Continuo
 - Congelatore a rulli
 - Nastro trasportatore, raffreddato dal basso

4.6.2. Convezione

- Elevata differenza di temperatura tra flusso d'aria fredda e prodotto (coefficiente di scambio a basso trasferimento di calore)
- Tecnologie e funzionamento
- Discontinuo (processo batch)
 - liofilizzatori, congelatori con apertura superiore, porta frontale, camere
- Continuo
 - Tunnel di congelamento, prodotto movimentato su vassoi o cinghie
- Congelatori a letto fluido
 - Prodotti a flusso libero in aria fredda
 - Es. piselli, mais, fagioli, fagioli, piccoli prodotti solidi

4.6.3. Congelamento nei fluidi di evaporazione

- Coefficiente di trasmissione del calore molto elevato
- Grandi volumi, processo veloce
- Principalmente azoto liquido
 - TB a 1 bar: -196° C

- Ghiaccio secco (CO₂ solida)
 - T_{subl.}: -78 °C
- Attrezzatura
- Basso investimento di capitale, spese operative significative
 - N₂ o CO₂ = accidentali

4.7. Riassunto

Il mantenimento della qualità dei prodotti congelati dipende da una moltitudine di fattori che influenzano le diverse fasi del processo. Per alcuni prodotti come i piselli o i fagioli è necessario inibire l'attività enzimatica dopo lo scongelamento con l'uso della scottatura.

La fase di congelamento, indipendentemente dal prodotto, deve essere condotta il più rapidamente possibile per evitare la crescita di grandi particelle di ghiaccio che distruggono la struttura cellulare. In caso contrario, le cellule si rompono, aumentano le reazioni di degradazione e le perdite di gocciolamento dopo lo scongelamento.

Evitare di sovraccaricare l'unità di congelamento:

- Il sovraccarico porta ad una diminuzione della velocità di congelamento (congelamento lento).
- Se il prodotto è già presente nel congelatore

→ La temperatura del congelatore aumenta temporaneamente (fino a quando il prodotto fresco raggiunge la temperatura desiderata), con un effetto negativo sui prodotti già immagazzinati.

L'imballaggio deve essere a tenuta d'aria e tutta l'aria deve essere rimossa dall'imballaggio prima del congelamento per evitare bruciature da freddo. La fluttuazione della temperatura dell'unità di congelamento deve essere ridotta il più possibile per evitare l'evaporazione e la conseguente condensazione dell'acqua sulla superficie del prodotto.

La strategia di scongelamento applicata dipende direttamente dalla natura del prodotto, dall'uso previsto dopo lo scongelamento e dalla dimensione delle particelle.

Links utili:

<https://www.gcca.org/>

<http://www.fao.org/docrep/008/y5979e/y5979e00.htm#Contents>

4.8. Bibliografia

Berkely Wellness, University of California (2001): How much water is in your food? <http://www.berkeleywellness.com/healthy-eating/food/article/how-much-water-your-food>.

FAO, 2018. Composition of Meat. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_composition.html

WFLO, 2008. Frozen foods handling and Storage. WFLO Commodity Storage Manual. <http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/FrozenFoodsHandling.pdf>

