



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E**  
**AMBIENTE**

**Laurea magistrale in Scienze e tecnologie alimentari**

**VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ E NUOVE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI**  
**POMODORI ESSICCATI**

Relatore

Prof. Carletti Paolo

Laureando

Lazzarini Tommaso

Matricola n. 1210550

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



## *A Chiara...*

*“In certe anime c'è un'aquila di Catskill che può egualmente precipitarsi nei burroni più oscuri e tornare a librarsi in alto e scomparire negli spazi solari. E anche ove essa voli per sempre nel burrone, questo burrone è dei monti, e così, nella sua più bassa discesa, l'aquila montana è sempre più in alto degli uccelli della pianura, anche quando questi salgono.”*



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>12</b>
<b>2. IL PROCESSO DI DISIDRATAZIONE</b>	<b>15</b>
<b>3. METODI DI ESSICCAZIONE TRADIZIONALI E INNOVATIVI</b>	<b>17</b>
3.1 ESSICCAZIONE AL SOLE	17
3.1.1 ESSICCAZIONE SOLARE A TUNNEL	20
3.1.2 ESSICCAZIONE SOLARE CON POMPA DEL VUOTO	21
3.1.3 ESSICCAZIONE SOLARE IBRIDA	22
3.1.4 ESSICCATORE SOLARE CON CONCENTRATORE	25
3.2 ESSICCATORI AD ARIA CALDA	28
3.2.1 INFLUENZA DELLA TEMPERATURA E DEL FLUSSO D'ARIA SULLE CINETICHE DI DISIDRATAZIONE E SULLA QUALITÀ DEI POMODORI ESSICCATI	30
3.3 ESSICCATORI CON POMPA DI CALORE	39
3.4 ESSICCATORE A LETTO FLUIDO	40
3.5 ESSICCATORE A LETTO FLUIDO A GETTO	42
3.6 ESSICCATORE A MICROONDE	44
3.7 ESSICCATORE A INFRAROSSI	46
3.8 LIOFILIZZAZIONE	48
3.9 ESSICCATORE AD OSMOSI	50
3.10 ALTRI METODI DI ESSICCAZIONE	51
<b>4. POLVERI ESSICcate DI POMODORO</b>	<b>53</b>
4.1 SPRAY DRYING	53
4.1.1 ESSICCAZIONE SPRAY DELLA PASTA DI POMODORO	55
4.2 ESSICCAZIONE SU NASTRO ADESIVO	56
4.3 ALTRI METODI	57
<b>5. PRINCIPALI PRETRATTAMENTI UTILIZZATI NELLA PREPARAZIONE DEI PRODOTTI DA ESSICcare</b>	<b>60</b>
5.1 IMMERSIONE IN SOLUZIONI: ZUCCHERO, CLORURO DI CALCIO, ACIDO ASCORBICO, BENZOATO DI SODIO E CLORURO DI SODIO	60
5.2 IMMERSIONE IN SOLUZIONE DI CLORURO DI SODIO	68
5.3 MACERAZIONE CARBONICA	73
5.4 ACIDI ORGANICI	75

5.5	BLANCHING	78
5.6	ULTRASUONI	80
<b>6.</b>	<b>VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ</b>	<b>82</b>
6.1	LICOPENE	82
6.2	B-CAROTENE	85
6.3	ACIDO ASCORBICO	86
6.4	CONTENUTO IN FENOLI TOTALE, FLAVONOIDI E ATTIVITÀ ANTI-OSSIDANTE	87
6.5	COLORE	88
6.6	TASSO DI REIDRATAZIONE	90
6.7	TEXTURE	91
6.8	GUSTO E SAPORE	92
6.9	ATTRIBUTI DI QUALITÀ DEGLI ESSICCATI IN POLVERE	93
6.10	EFFETTO SUGLI ALLERGENI E PROPRIETÀ ANTINUTRIZIONALI	94
<b>7.</b>	<b>SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE</b>	<b>96</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>97</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>100</b>



## RIASSUNTO

I pomodori sono un prodotto agricolo prezioso altamente deperibile che viene essiccato su larga scala per prolungarne la durata di conservazione. L'essiccazione sia dei pomodori che degli scarti di lavorazione dei pomodori può produrre prodotti di valore.

Le forme essiccate possono essere utilizzate o come materia prima per diversi prodotti commerciali o come ingrediente per alimenti funzionali. Vengono anche utilizzate in tutto il mondo per il consumo diretto. Tuttavia, la produzione di forme essiccate con elevati attributi di qualità, come il contenuto di nutrienti, l'aspetto, il sapore, la consistenza, le proprietà di ricostituzione, costituisce attualmente la sfida principale per questo settore.

Ciò ha dato il via negli ultimi anni ad un'ampia ricerca riguardo le tecniche di essiccazione innovative, agli effetti dei pretrattamenti per produrre pomodori secchi, polveri e vari sottoprodotti delle industrie di trasformazione del pomodoro.

Tali lavori hanno prodotto un'importante letteratura scientifica non solo riguardo la qualità dei pomodori essiccati ottenuti con diverse tecniche di essiccazione, ma anche riguardo l'efficienza dei processi produttivi.



## **ABSTRACT**

Tomatoes are a valuable, highly perishable agricultural product that are dried on a large scale to extend their shelf life. Drying both tomatoes and tomato processing waste can produce valuable products.

The dried forms can be used either as a raw material for various commercial products or as an ingredient in functional foods. They are also used worldwide for direct consumption. However, the production of dried forms with high quality attributes, such as nutrient content, appearance, flavor, texture, reconstitution properties, is currently the main challenge for this industry.

This has triggered extensive research in recent years regarding existing and innovative drying techniques, the effects of pretreatments to produce dried tomatoes, powders, and various by-products of tomato processing industries.

These works have produced an important scientific literature not only about the quality of dried tomatoes obtained with different drying techniques, but also about the efficiency of production processes.



# 1. INTRODUZIONE

Il pomodoro (*Solanum lycopersium*), è la seconda verdura più coltivata al mondo dopo la patata con 4.8 milioni di ettari di terra coltivati, i quali producono 182 milioni di tonnellate di prodotto fresco ogni anno [1].

Il pomodoro è una pianta perenne coltivata in tutto il mondo. È una delle verdure più popolari grazie al largo numero di impieghi possibili per ricette e prodotti. Il suo consumo è stato associato ad una riduzione del rischio di tumore, malattie croniche e cardiovascolari. È stato recentemente dimostrato in recenti studi, una correlazione tra l'assunzione di pomodori e un aumento della salute di ossa, pelle e cervello [2].

Il contenuto di umidità in questa verdura è molto elevato, con una media del 90% o più (varietà Davis) [3], questo elevato contenuto di umidità lo rende molto suscettibile al deperimento post-raccolta. Proprio per tale motivo l'essiccazione è stata uno dei metodi più antichi scoperti per ridurre tale fenomeno di deperimento e aumentare di gran lunga la shelf-life del pomodoro.

Un altro aspetto positivo dell'essiccazione è che tale operazione riduce il peso ed il volume del prodotto, aspetto importante nelle operazioni di spedizione della merce riducendo i costi di distribuzione rispetto al prodotto fresco.

Il pomodoro essiccato serve poi come ingrediente per altri cibi elaborati come ketchup, salse, mix per zuppe, prodotti in scatola, bevande, ecc.

L'estratto di pomodoro trova applicazione per le sue proprietà nutraceutiche.

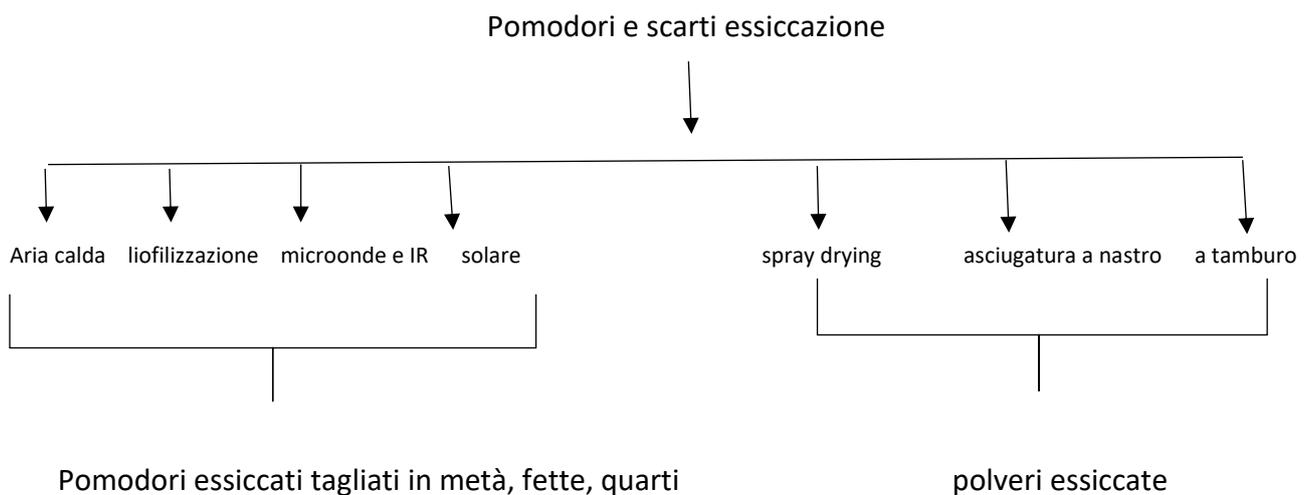
È stimato che il mercato del pomodoro essiccato crescerà nei prossimi anni. La disidratazione degli scarti provenienti dall'industria dei prodotti del pomodoro fornisce prodotti altrettanto interessanti quanto i pomodori ponendo un punto importante nella valorizzazione degli scarti. Questi scarti sono pezzi di vinacce come semi, bucce, fibre o residui di polpa. Questi sottoprodotti contengono importanti composti bioattivi come licopene e composti fenolici [4]. Il loro contenuto in licopene è 510.6 mg/kg, 95.6 mg/kg di  $\beta$ -carotene e 1229.5 mg di acido gallico equivalenti/kg (GAE/kg). Ciò suggerisce che tali sottoprodotti della lavorazione dell'industria dei pomodori possano essere utilizzati per l'estrazione di tali composti bioattivi [4].

Tali sottoprodotti hanno un'umidità iniziale di circa 66-67% su peso secco e una volta essiccati potrebbero essere impiegati nella produzione di cibo funzionale [5].

Paulino et al.[6] suggeriscono l'uso di farina ottenuta dalle vinacce come ingrediente funzionale. Previtiera et al. [7] hanno utilizzato una polvere ottenuta da vinacce essiccate per arricchire una purea di pomodori. Grassino et al. [8] suggeriscono che l'uso degli scarti provenienti dall'industria dei pomodori per prodotti in scatola possano essere utilizzati per produrre una nuova generazione di inibitori del fenomeno della corrosione.

I prodotti ottenuti dall'essiccazione dei pomodori e suoi sottoprodotti includono: pomodori tagliati (tagliati a fette, quarti, julienne o metà), concentrati, polveri. Tali prodotti sono destinati non solo all'industria alimentare ma anche a quella farmaceutica, dei mangimi per animali, per estrarre olio, per cosmetici.

Tabella 1. Schema delle forme di pomodori essiccati e le comuni tecniche di disidratazione impiegate.



La ritenzione dei componenti termolabili come il licopene, la riduzione del cambio di colore, il mantenimento delle proprietà ricostituenti, della stabilità ossidativa, e dell'attività antiossidante, nonché gli aspetti sensoriali, dei prodotti essiccati, rappresentano una importante sfida nell'ambito delle tecnologie alimentari.

Recentemente è stato scoperto che i trattamenti in pre-raccolta influenzano i contenuti nutrizionali come ad esempio di  $\beta$ -carotene, proteine e vitamina c. I risultati suggeriscono che spruzzare sulle piante di pomodoro una soluzione di Arginina (150 mg/L) a Calcio Cloruro (20

g/L) ha un effetto positivo sul contenuto di  $\beta$ -carotene, proteine e contenuto azotato, delle polveri ottenute tramite essiccazione solare e al forno. Il numero di studi in cui è stato dimostrato che i fattori pre-raccolta influenzano il contenuto nutrizionale dei pomodori secchi sono limitati. Aiuterebbe a migliorare la qualità del prodotto finito il fatto di considerare il concetto "dal campo alla tavola". La maggior parte degli studi si concentra su tecniche innovative di disidratazione e metodi all'avanguardia per migliorare la qualità.

## 2. IL PROCESSO DI DISIDRATAZIONE

I pomodori dato l'alto contenuto in umidità, sono una materia prima altamente deperibile: l'essiccazione offre la possibilità di estenderne la shelf-life. Numerose tecniche sono state impiegate per l'essiccazione.

Tabella 2. L'effetto dei diversi pretrattamenti sul tasso di disidratazione, e le caratteristiche del prodotto essiccato [188].

Pretreatments to various drying processes and their respective effects.				
Form of tomato	Pretreatment	Dryer	Effect	Reference
Halves	Dipping in NaCl (0, 10, 15, & 20%) & sodium metabisulfite (0, 4, 5, & 8%) for 0, 2.5, 5, & 7.5 min.	Sun drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>The use of salt &amp; sodium metabisulfite good to control yeast, sodium metabisulfite gave superior quality.</li> </ul>	[13]
Halves & quarters	10% NaCl solution for 3 min	Solar tunnel drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>No effect of pretreatment on drying time.</li> <li>Non-pretreated samples were better in terms of quality</li> </ul>	[11]
Tomato pomace	0.01, 0.1, 0.5 M NaCl solution at 25 °C for 4 h followed by drying	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increase in drying rate with an increase in the concentration of NaCl.</li> </ul>	[14]
Quarters	2% Calcium chloride for 24 h at 20 °C	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcium chloride treatment resulted in faster drying than untreated ones.</li> </ul>	[15]
Pieces (2 × 2 × 0.6-0.8 cm)	Soaking in 1% Calcium chloride	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>The drying rate was 30% faster.</li> </ul>	[16]
Slices (7 mm)	Ultrasound pretreatment: 25 kHz ultrasound bath, 300 W, 40 min.	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decrease in drying time by 7.38% at 120 W of microwave power</li> </ul>	[17]
Halves	0.3 g of salt was added to each of the tomato halves.	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salting reduced the drying time by 20%</li> </ul>	[18]
Halves	20% brine, ternary solution (27.5% sucrose, 10% salt) at 30 °C, 70 rpm for 3 h, addition of calcium lactate	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Addition of lactate increased the uptake of osmotic agents.</li> <li>Ternary solution resulted in faster drying rate.</li> </ul>	[19]
Quarters	Blanching in boiling water steam for 5 min	Oven, hot air, & freeze-drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevented losses in carotene fractions and better stability of dried form</li> </ul>	[20]
Quarters	Carbonic maceration: 40 °C, 40 h, 0.15 MPa carbondioide pressure	Hot air drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shorter drying time</li> <li>Higher retention of lycopene, <i>b</i>-carotene and antioxidant during drying</li> </ul>	[21]

Su scala industriale, la preparazione dei pomodori destinati alla produzione poi di pomodori secchi è stata descritta da Gould [10]. All'inizio si fa una cernita in cui si separano i pomodori da materiale diverso dai pomodori, pomodori verdi o danneggiati. Poi si classificano per taglia e pezzatura. Successivamente si risciacquano per eliminare residui di pesticidi, microbi sulla

superficie e sporco. Prima del lavaggio i pomodori sono messi in ammollo a 54 °C per 3 minuti allo scopo allentare il materiale estraneo adeso sulla superficie. L'ammollo viene eseguito in delle canalette e vengono inoltre aggiunti agenti umettanti, detergenti ed una soluzione di soda caustica. Tali agenti hanno lo scopo di aumentare l'efficacia del trattamento di ammollo prima del risciacquo. Prima della disidratazione i pomodori vengono tagliati nella forma desiderata che può essere a metà, a fette o in quarti.

Numerosi studi indagano sulle applicazioni di diversi pretrattamenti e i loro effetti sul tasso di disidratazione e sulle caratteristiche del prodotto finale (vedi capitolo 5).

Le cinetiche di disidratazione per i pomodori sono state ampiamente studiate in letteratura attraverso l'applicazione di diversi modelli cinetici a dati sperimentali (vedi capitolo 3.2.1).

Tali cinetiche e la qualità dei pomodori essiccati sono influenzate da molti fattori come ad esempio: condizioni ambientali, metodo di disidratazione, pretrattamenti, proprietà dei campioni come varietà, maturità e forma. La forma dei campioni sottoposti a essiccazione è inoltre importante, influisce sul tempo di disidratazione e la qualità del prodotto finito. Il campione tagliato in quarti si è disidratato l'8.3% più velocemente dei campioni tagliati a metà, inoltre il taglio in quarti resta pressoché simile al prodotto fresco in termini di dimensioni del prodotto finale, rispetto alle metà [11].

Il tasso di disidratazione della polpa di pomodoro è influenzato dal contenuto solido iniziale presente oltre che dalle condizioni ambientali [12].

Il processo di essiccazione più utilizzato per produrre le polveri è lo spray drying che offre un prodotto stabile ed è anche relativamente economico. Il pomodoro viene prima concentrato in evaporatori e poi indirizzato allo spray drying. Il tasso di reidratazione, il colore, la stabilità della polvere ottenuta, sono parametri importanti per la qualità della polvere.

## 3. METODI DI ESSICCAZIONE TRADIZIONALI E INNOVATIVI

### 3.1 ESSICCAZIONE AL SOLE

La disidratazione al sole è la tecnica più antica per quanto riguarda i pomodori. Il metodo tradizionale consiste nel tagliare i pomodori e porli direttamente sotto il sole. A seconda delle zone la temperatura può variare dai 25 °C ai 60 °C e l'umidità relativa tra 24-65 %. Il tempo necessario al contenuto di umidità dei pomodori per raggiungere una soglia sotto il 15% (peso secco) varia da 3-4 giorni [22], fino a 20 [23], ciò dipende dalle condizioni ambientali, dalla varietà e dal contenuto di umidità iniziale.

Un tempo di esposizione al sole troppo prolungato causa una perdita di acido ascorbico, licopene, contenuto di fenoli e perdita di colore [24].

Gumusay et al [25] riportano che il 60.33% e il 92.14%, rispettivamente di fenoli e acido ascorbico, venga perso. Vi è anche una drastica riduzione dell'attività antiossidante nei campioni disidratati, 99.3% e 99.8% di perdita riscontrata rispettivamente per il glutatione e la cisteina.

D'altra parte, Eze et al. [26] riportano invece che questa tecnica sia utile per la ritenzione delle vitamine liposolubili A e E. Ai fini di diminuire l'eliminazione dei vari nutrienti in maniera consistente, nonché di diminuire il tempo di disidratazione necessario a raggiungere lo stesso livello di umidità finale nel prodotto, sono state utilizzate delle varianti rispetto alla tecnica tradizionale di disidratazione.

Tali tecniche alternative comprendono: l'essiccazione solare a tunnel [22], essiccatore solare ad armadio [27], l'uso di concentratori [3], essiccatori solari con pompa a vuoto [22], essiccatori solari ibridi [28,29], essiccatori solari appositamente disegnati e fabbricati [30].

Le nuove tecniche hanno ridotto il tempo necessario alla disidratazione in maniera considerevole, Sacilik et al. [22] hanno scoperto che la disidratazione condotta nei tunnel riduce il tempo di un giorno rispetto al metodo tradizionale. L'uso di essiccatori ibridi riduce il tempo di 162 giorni [28], l'uso di concentratori combinati con essiccatori riduce il tempo del 21% rispetto alla norma [3].

Seppure il metodo di disidratazione risulti importante per la riduzione del tempo di essiccazione, in questi tipi di metodi le condizioni ambientali sono determinanti e quindi i vari parametri sono

soggetti a variazioni. Anche con l'applicazione delle tecniche più innovative, gli essiccatori basati sull'energia solare risultano produrre una qualità di campioni disidratati inferiore rispetto ad altri metodi. Gaware et al. [27] ha riportato che il tasso di reidratazione nei campioni ottenuti tramite essiccazione solare in camera a vuoto sono inferiori dei campioni ottenuti tramite essiccatori con pompa di calore o essiccatori a microonde.

D'altra parte le polveri ottenute dall'essiccazione condotta con energia solare rispetto a quella ottenuta tramite forno, hanno una maggior ritenzione in termini di contenuto di vitamine [33]. L'essiccazione solare è il metodo meno costoso di tutti per quanto riguarda l'essiccazione dei pomodori freschi e degli scarti di produzione.

Allison et al. [34] hanno usato la disidratazione solare per essiccare le vinacce al fine di ottenere materiale di partenza per la produzione di biocarburante.

Si possono ottenere varie combinazioni costo – effetto per quanto riguarda le metodologie da usare per l'essiccazione solare [36]. Alcune tecniche recenti offrono prodotti di qualità elevata usando l'innovativa metodologia dell'essiccazione solare a conduzione [37].

Tabella 3. I parametri operativi utilizzati per l'essiccazione dei pomodori nei diversi metodi [188].

Form of tomato	Pretreatment	Dryer	Effect	Reference
Halves	Dipping in NaCl (0, 10, 15, & 20%) & sodium metabisulfite (0, 4, 5, & 8%) for 0, 2.5, 5, & 7.5 min.	Sun drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>The use of salt &amp; sodium metabisulfite good to control yeast, sodium metabisulfite gave superior quality.</li> </ul>	[13]
Halves & quarters	10% NaCl solution for 3 min	Solar tunnel drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>No effect of pretreatment on drying time.</li> <li>Non-pretreated samples were better in terms of quality</li> </ul>	[11]
Tomato pomace	0.01, 0.1, 0.5 M NaCl solution at 25 °C for 4 h followed by drying	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increase in drying rate with an increase in the concentration of NaCl.</li> </ul>	[14]
Quarters	2% Calcium chloride for 24 h at 20 °C	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcium chloride treatment resulted in faster drying than untreated ones.</li> </ul>	[15]
Pieces (2 × 2 × 0.6-0.8 cm)	Soaking in 1% Calcium chloride	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>The drying rate was 30% faster.</li> </ul>	[16]
Slices (7 mm)	Ultrasound pretreatment: 25 kHz ultrasound bath, 300 W, 40 min.	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decrease in drying time by 7.38% at 120 W of microwave power</li> </ul>	[17]
Halves	0.3 g of salt was added to each of the tomato halves.	Convective drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salting reduced the drying time by 20%</li> </ul>	[18]
Halves	20% brine, ternary solution (27.5% sucrose, 10% salt) at 30 °C, 70 rpm for 3 h, addition of calcium lactate	Microwave drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Addition of lactate increased the uptake of osmotic agents.</li> <li>Ternary solution resulted in faster drying rate.</li> </ul>	[19]
Quarters	Blanching in boiling water steam for 5 min	Oven, hot air, & freeze-drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevented losses in carotene fractions and better stability of dried form</li> </ul>	[20]
Quarters	Carbonic maceration: 40 °C, 40 h, 0.15 MPa carbondioide pressure	Hot air drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Shorter drying time</li> <li>Higher retention of lycopene, <i>b</i>-carotene and antioxidant during drying</li> </ul>	[21]

### 3.1.1 ESSICCAZIONE SOLARE A TUNNEL

In questa tipologia di essiccatori i pomodori sono disposti in banchi, tagliati a metà, all'interno di un tunnel ottenuto da una copertura in poliestere. Il risultato è quello di ottenere una specie di serra. Normalmente i pomodori, con l'utilizzo della tecnica tradizionale sono sottoposti a fluttuazioni della temperatura ambientale e dell'umidità che determinano un allungamento del tempo di disidratazione. Nell'essiccatore a tunnel invece è stato riscontrato che nonostante le condizioni ambientali fluttuino lo stesso durante il giorno, la temperatura resta più alta all'interno del tunnel che all'esterno e l'umidità più bassa. Queste differenze sono consistenti con una differenza di 12.6 °C per la temperatura e di 8.7% per l'umidità. I dati si riferiscono ad un esperimento condotto in Turchia nel mese di settembre [23]. Facendo un confronto fra i dati ottenuti dai pomodori nel tunnel e quelli disidratati col metodo tradizionale, all'aperto, emerge che, per raggiungere il valore finale di umidità del prodotto (11.50% su base secca) ci sono volute circa 82-96 ore per i pomodori nel tunnel e circa 120 ore per i pomodori ottenuti col metodo tradizionale. Il tempo di riduzione della disidratazione è stato di 26.9%.

Poiché i pomodori erano provenienti dallo stesso raccolto, coltivati a parità di condizioni e sottoposti alle medesime condizioni ambientali è stato considerato che la temperatura più elevata e l'umidità più bassa presenti nel tunnel influiscono il tasso di disidratazione.

Inoltre, tale metodo permette di evitare che insetti, uccelli o delle piogge interferiscano con il processo.

La qualità dei pomodori è stata monitorata durante l'esperimento con un colorimetro Hunterlab, il quale ha dimostrato come i pomodori nel tunnel alla fine dell'essiccazione siano rimasti con un punto di rosso maggiore e maggiore luminosità, due proprietà desiderate per il prodotto finito [23].

### 3.1.2 ESSICCAZIONE SOLARE CON POMPA DEL VUOTO

Questo tipo di essiccazione consiste nel porre i campioni di pomodoro tagliati a fette in una camera del vuoto mantenuta alla pressione costante di 84.7 kPa tramite una pompa a vuoto. La camera è in materiale plastico che permette il passaggio della radiazione solare direttamente sul campione (polietilene).

In uno studio condotto da Bashir et al. [24] vengono esaminate le differenze fra delle fette, di vario spessore, di pomodoro essiccate nella camera a vuoto, e un gruppo di controllo essiccato al sole tramite metodo tradizionale.

Lo studio ha permesso di esaminare le differenze in termini di colore ottenuto, tempo di disidratazione, tempo di reidratazione, attività dell'acqua.

Diverse misurazioni hanno evidenziato come all'interno della camera del vuoto le temperature registrate fossero più alte di quelle esterne così come pure la temperatura delle fette di pomodoro all'interno della camera.

Il tempo necessario a disidratare le fette di pomodoro dello spessore di 4, 6 e 8 mm di spessore è stato rispettivamente 360, 480 e 600 minuti. Per gli stessi spessori, con la tecnica tradizionale, ci sono voluti rispettivamente 450, 600 e 750 minuti. Il minore tempo di disidratazione che avviene nella camera del vuoto è dovuto proprio al maggior gradiente di pressione creato dalla pompa, essendo la pressione interna mantenuta costante e ad un valore più basso di quella atmosferica si è osservato che ciò determina una maggior diffusività dell'umidità.

I modelli matematici utilizzati per studiare la diffusione dell'umidità, basati sulla legge di Fick e i modelli per la disidratazione su strato sottile, mostrano il tempo di disidratazione è molto influenzato dalle condizioni ambientali, dal tempo di durata di esposizione al sole e dallo spessore dei campioni sottoposti a disidratazione.

I pomodori ottenuti nella camera permettono di ottenere un miglior tasso di reidratazione e una miglior ritenzione di colore.

### 3.1.3 ESSICAZIONE SOLARE IBRIDA

La disidratazione solare è un metodo economico per essiccare il cibo nei paesi in via di sviluppo. Ma il tasso di disidratazione è veramente basso e dipende dalle condizioni ambientali. Una inferiore di qualità dei prodotti ottenibili è dovuta al fatto che durante il processo, tramite metodo tradizionale, polvere, sporco, microorganismi e insetti possono contaminare il prodotto. Talvolta pure le condizioni meteo avverse possono danneggiare l'alimento esposto.

I maggiori produttori di pomodori freschi sono paesi in via di sviluppo e proprio in tali paesi la disidratazione di tale prodotto può risultare un processo fondamentale per ridurre le perdite post raccolta e aumentare gli introiti, aiutando l'economia del paese nelle esportazioni [3].

Nei paesi industrializzati, prevale la disidratazione con metodo meccanico ma in questi paesi l'essiccazione al sole rappresenta il metodo principale poiché:

- è un metodo economico e sostenibile a livello ambientale
- le piccole fattorie e imprese nei paesi in via di sviluppo non riescono a reperire grossi investimenti e sostenere i costi di produzione più alti che si avrebbero con altri metodi

Negli impianti solari ibridi di disidratazione, l'asciugatura continua anche nelle ore in cui non vi è il sole, grazie all'immagazzinamento di energia durante le ore di sole tramite pannelli solari.

Grazie a ciò, a differenza del metodo tradizionale e dei metodi descritti in precedenza, la disidratazione non è interrotta dall'assenza di sole, proteggendo anche il prodotto da una contaminazione da insetti e microbiologica.

A causa dei cambiamenti nello stile di vita dei paesi in via di sviluppo, vi è un incremento della domanda per un'ampia varietà di prodotti disidratati con particolare attenzione alla qualità [27].

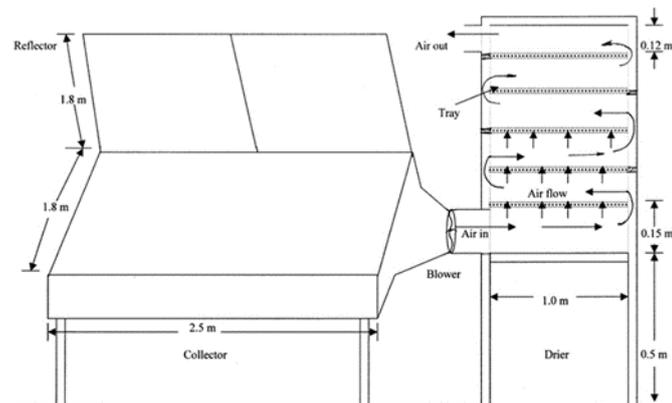
Inoltre anche la domanda di prodotti pronti al consumo, con aspetti nutrizionali simili al prodotto fresco, è cresciuta negli ultimi anni [28]. Nel mercato internazionale c'è un maggior interesse nei pomodori essiccati e alla loro qualità. A livello nutrizionale i pomodori sono ricchi soprattutto di acido ascorbico e licopene. Le condizioni che sussistono durante il processo di disidratazione, come la temperatura alta, presenza di luce o ossigeno, possono causare una degradazione del licopene e quindi avere di conseguenza negativa poi sul colore e gli aspetti nutrizionali del prodotto [27]. Con il metodo tradizionale le perdite di qualità che si possono verificare riguardano prevalentemente: la degradazione del colore (imbrunimento causato da

reazioni enzimatiche e non enzimatiche), crescita microbica (soprattutto muffe e lieviti), scarsa reidratazione (causata da un indurimento delle pareti del pomodoro durante il processo), perdita di acido ascorbico, di licopene e colore.

Un efficiente disidratatore a energia solare deve essere messo a punto in modo da produrre pomodoro disidratato di qualità.

Un disidratatore solare ibrido è stato messo a punto da Hossain et al. [28] al fine di condurre un esperimento per valutare la differenza di qualità nella produzione di pomodori secchi con differenti metodi. Questo macchinario presenta dei pannelli solari per raccogliere energia, immagazzinata in un'unità di immagazzinamento attraverso uno scambiatore di calore.

Fig.1 Schema di un disidratatore ibrido solare [28].



A differenza degli altri metodi basati sul sole, nel disidratatore ibrido è possibile modulare il flusso d'aria. Questa convezione forzata è generata da una ventola attivata da energia elettrica ottenuta e accumulata tramite il pannello solare. Ciò serve alla fine per ottenere un flusso d'aria ad una temperatura più costante durante il giorno. La media della temperatura in uscita dall'unità di immagazzinamento era circa 30 °C più alta della media della temperatura durante dei normali giorni soleggianti [28]. Il macchinario ha la capacità di disidratare 20 kg di prodotto fresco ogni ciclo, che permettono di ottenere 2 kg di prodotto finito.

Il processo alla fine ha comunque ridotto significativamente il colore, l'acido ascorbico, il licopene e i flavonoidi totali presenti nei pomodori (rispetto al prodotto fresco iniziale). L'acido ascorbico, il licopene e i flavonoidi totali del pomodoro diminuiscono durante il processo a causa di un danno ossidativo causato dal calore. L'ossidazione, avviene per via della temperatura

dell'aria unitamente alle altre condizioni operative di disidratazione [28]. Le perdite nutrizionali e di colore sono state comunque minori rispetto ai prodotti commercialmente disponibili nel mercato Europeo.

I campioni pretrattati presentavano caratteristiche di qualità migliori rispetto a quelli non pretrattati [28].

La disidratazione solare ibrida ha ridotto i tempi di essiccazione di oltre la metà, 96 ore invece delle 240 necessarie col metodo tradizionale [28].

### 3.1.4 ESSICCATORE SOLARE CON CONCENTRATORE

Come riportato nei precedenti paragrafi, ad oggi i metodi più utilizzati per produrre un alimento disidratato su larga scala sono i metodi meccanizzati [3]. Queste macchine forzano una corrente di aria riscaldata attraverso il prodotto per disidratarlo velocemente. Questi metodi di solito, per via degli alti investimenti necessari, sono proibitivi per i piccoli coltivatori o i coltivatori di paesi in via di sviluppo. Questo ha spinto Ringeisen et al. [3] nel mettere a punto un disidratatore solare con concentratore che funzioni senza l'ausilio di elettricità.

Questo tipo di concentratore può essere utilizzato anche nei paesi in via di sviluppo per via del costo (30 dollari americani a concentratore) e del fatto che non richiede conoscenze tecniche per essere costruito.

L'unità consiste in un telaio leggero di legno coperto da un sottile telo di plastica sorretto da 4 gambe di legno. C'è un pezzo ondulato di alluminio dipinto di nero posto alla base dell'unità di disidratazione (per assorbire la radiazione solare).

Vi sono poi quattro scaffali rimovibili dove riporre il prodotto da disidratare. Oltre a ciò, vi sono due finestre presenti: una dal basso, vicino all'unità di assorbimento della radiazione solare, fa entrare aria più fresca dall'esterno ed una finestra posta in cima fa uscire l'aria più calda. Si crea una corrente d'aria che entra, investe il prodotto sugli scaffali ed esce.

Fig.2 Foto dell'essiccatore solare con concentratore [3].

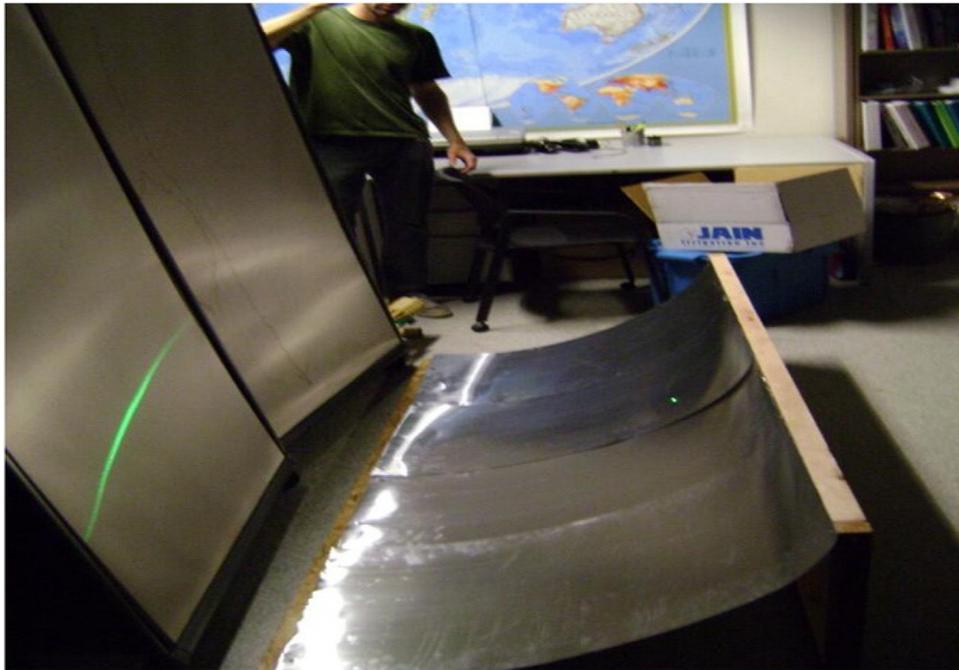


Fig.3 Foto dell'essiccatore solare con concentratore [3].



Il concentratore è composto da un telaio ad L di legno con fissato un foglio pulito di alluminio concavo con riflettanza 0.8. La superficie di riflessione in questo caso era  $1.71 \text{ m}^2$  ( $1.88 \text{ m} \times 0.91 \text{ m}$ ) [3].

Fig.4 Prova sul concentratore concavo tramite laser per testare il punto in cui viene concentrata la radiazione [3].



Nell'esperimento viene usato come gruppo di controllo un disidratatore solare senza concentratore [3]. In un giorno di pieno sole il concentratore porta ad una grande percentuale di riduzione del tempo di essiccazione. I pomodori ottenuti nel disidratatore con l'ausilio del concentratore raggiungono il 10 % di umidità in 1.54 ore, il 22.3% più veloce di quelli nel disidratatore senza concentratore. Altre prove condotte in altre date, in periodi diversi dell'anno con differente intensità della radiazione solare mostrano che la media della riduzione del tasso di disidratazione è del 20% rispetto al gruppo di controllo.

In tutti i casi si è verificato che nel disidratatore dotato di concentratore la temperatura media interna era sempre maggiore. Tuttavia, dalle prove si è visto che la differenza di temperatura all'interno dei due disidratatori non gioca un ruolo importante nel ridurre il tempo di disidratazione, si è visto invece confrontando i dati dei vari trial che il ruolo più importante è svolto dall'umidità relativa all'interno di tali disidratatori.

I risultati di diverse misurazioni mostrano come in tutti i casi, il pH è aumentato nei pomodori disidratati rispetto al pH che possedevano da freschi [3]. L'acidità titolabile invece diminuisce. A livello di colore invece non ci sono effetti diversi per il disidratatore con e senza concentratore. Il contenuto in zuccheri solubili è sempre più basso nel prodotto disidratato.

Per quanto riguarda licopene e acido ascorbico anch'essi sono sempre inferiori nel prodotto disidratato rispetto al fresco: Il licopene nelle diverse prove ha mostrato una riduzione nel prodotto finito che oscilla tra il 61% e 93%, l'acido ascorbico tra 49% e il 93% [3].

Questi parametri non trovano invece differenze tra la disidratazione avvenuta con e quella senza concentratore [3].

A parità di parametri, l'utilizzo del concentratore si è mostrato utile per ridurre il tempo di asciugatura del 21% circa, ma non ha mostrato efficacia su un aumento della qualità del prodotto finito.

### **3.2 ESSICCATORI AD ARIA CALDA**

I disidratatori ad aria calda sono la tipologia più diffusa per quanto riguarda la disidratazione di frutta e verdura a livello commerciale. L'asciugatura dei pomodori con questi metodi è largamente sfruttata per via dell'effetto della temperatura e della sua velocità, nelle cinetiche di disidratazione.

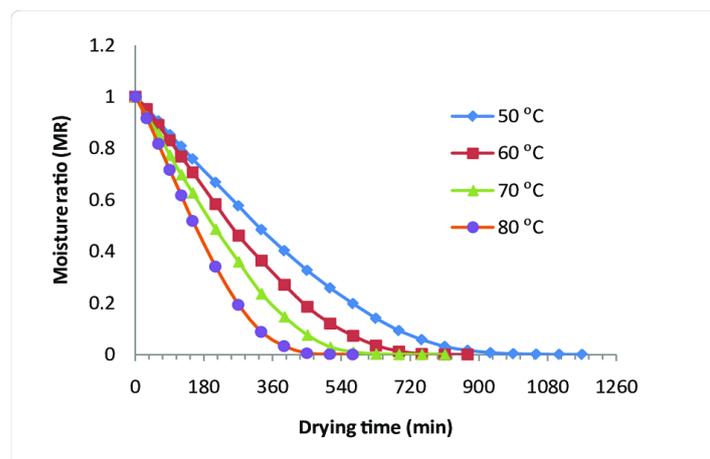
Permettono inoltre di ottenere prodotti disidratati di qualità maggiore rispetto ai metodi descritti fino ad ora.

Dal punto di vista della capacità di reidratazione, la temperatura migliore dell'aria per disidratare sarebbe 65 °C poiché permette di ottenere un tasso di reidratazione maggiore che alle altre temperature [40]. Questo parametro viene utilizzato come indice di qualità molto spesso, anche per la sua velocità e semplicità di determinazione. Un alto valore di questo dato significa che il prodotto disidratato ha una buona qualità perché i pori della matrice consentono il reingresso dell'acqua nella matrice. Questo significa che il campione non è stato danneggiato durante la disidratazione, tale condizione può accadere con temperature basse, sotto i 55 °C, che favoriscono la crescita microbica, la quale nutrendosi della matrice alimentare la danneggia e influenza il tasso di reidratazione [3]. Anche temperature oltre i 55 °C possono diventare dannose sotto certe circostanze di tempo e umidità, con il rischio di provocare un indurimento dei tessuti esterni del pomodoro ostacolando poi la reidratazione [40].

Gli effetti delle diverse temperature dell'aria sugli aspetti qualitativi del pomodoro e sui suoi tempi di disidratazione sono stati ampiamente studiati.

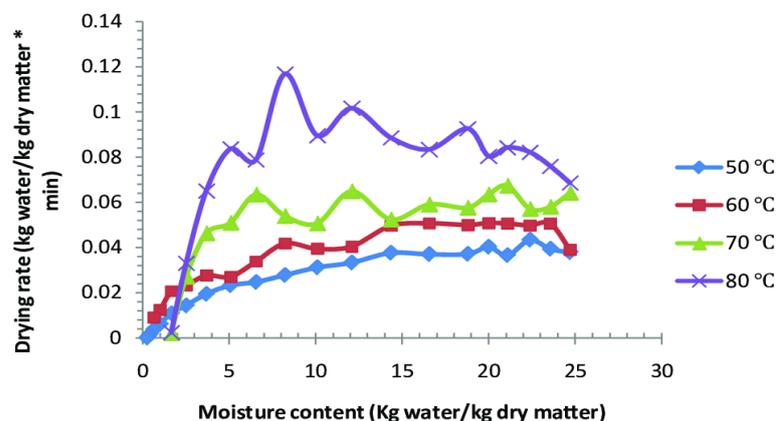
### 3.2.1 INFLUENZA DELLA TEMPERATURA E DEL FLUSSO D'ARIA SULLE CINETICHE DI DISIDRATAZIONE E SULLA QUALITÀ DEI POMODORI ESSICCATI

Fig.5 variazione del livello di umidità durante il tempo di disidratazione nel prodotto, alle diverse temperature [40].



Con l'aumentare della temperatura dell'aria aumenta anche la rimozione di umidità. Il tempo di asciugatura è stato ridotto da 1140 min a 540 min che corrispondono rispettivamente ai tempi di disidratazione ottenuti a 50 °C e 80 °C.

Fig.6 Tassi di disidratazione ottenuti alle varie temperature [40].



I tassi di asciugatura ottenuti sono differenti alle varie temperature. Aumenta all'aumentare della temperatura, con il valore più alto ottenuto con l'esperimento fatto a 80 °C.

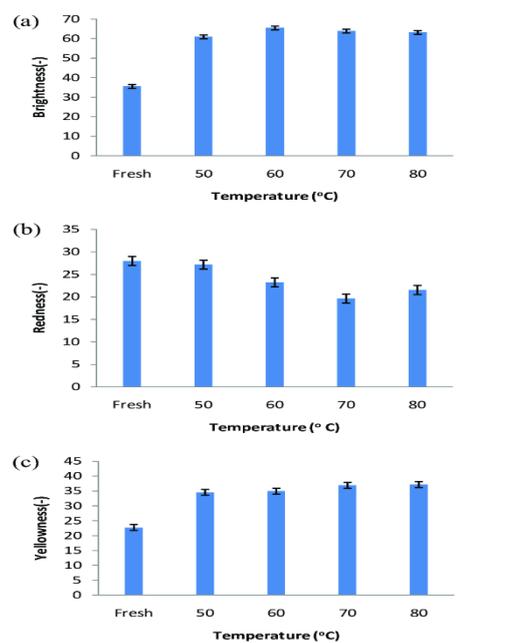
È stato scoperto che per gli esperimenti a 50 °C e 60 °C il processo di disidratazione del pomodoro presentava un tasso costante durante il tempo di asciugatura. Al contrario, non vi era questa tendenza a 70 °C e 80°C. Questo indica che la diffusione è il principale meccanismo fisico che avviene nei pomodori e che prende luogo in questo processo.

A 70-80 °C avviene principalmente una ripida curva di disidratazione, ed è in questa curva ripida che avviene principalmente l'essiccazione [40]. Le tabelle mostrano come la temperatura dell'aria abbia un grande impatto sul tempo necessario a rimuovere l'umidità dal prodotto.

Per i parametri qualitativi l'influenza della temperatura è stata verificata:

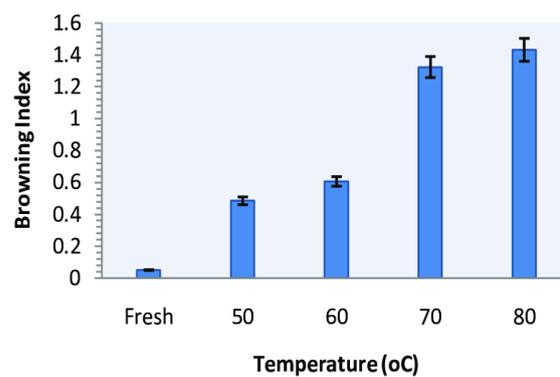
- 1) COLORE: Aumentando la temperatura si verifica un aumento della luminosità sui pomodori essiccati rispetto a quelli freschi. Per quanto riguarda il punto di rosso, resta più alto nei pomodori freschi, ciò mostra una degradazione del pigmento rosso causata dal range di temperature utilizzate. La temperatura di asciugatura potrebbe causare una reazione di Maillard tra gli amino acidi e gli zuccheri riducenti presenti, causando poi una perdita del pigmento [40]. Il punto di giallo dei pomodori disidratati è invece aumentato in modo significativo. Nei prodotti disidratati, un maggiore luminosità unitamente al maggior rapporto tra il punto di rosso e il punto di giallo, sono caratteristiche desiderabili. Una maggiore luminosità nei prodotti disidratati può essere causata da una degradazione delle antocianine durante il processo [40].

Fig.7 Caratteristiche di colore in relazione alle diverse temperature [40].



2) IMBRUNIMENTO NON ENZIMATICO: L'imbrunimento è un altro criterio di valutazione della qualità oltre al colore, nei pomodori essiccati. L'imbrunimento è stato valutato con sistema spettrofotometrico. L'aumentare della temperatura causa un aumento dell'imbrunimento e che il tasso di comparsa dei pigmenti responsabili dell'imbrunimento aumenta all'aumentare del tasso di asciugatura. L'imbrunimento durante questo processo può prendere luogo per via delle reazioni tra: i costituenti azotati e gli zuccheri riducenti, costituenti azotati e acidi organici, zuccheri e acidi organici [40].

Fig.8 Effetto delle diverse temperature sui livelli di imbrunimento [40]



3) VITAMINE E CAROTENOIDI: Questi composti mostrano il medesimo comportamento nei confronti dei parametri di asciugatura e la medesima percentuale di riduzione rispetto al contenuto nel prodotto fresco [41].

Fernandes et al. [41] mostrano come questi parametri siano influenzati soprattutto dalla temperatura di asciugatura e dalla velocità del flusso d'aria. Mettendo a confronto la disidratazione a 45 °C con quella a 60 °C e applicando per ogni temperatura 3 diverse velocità del flusso d'aria (1 – 2 – 3 m/s) hanno poi misurato come questi parametri influissero su un ampio range di vitamine, carotenoidi totali e licopene. Lo studio mirava anche a valutare l'effetto che, l'applicazione degli ultrasuoni, può avere sulla ritenzione di tali composti.

Gli ultrasuoni vengono impiegati sulla matrice per via aerea e non per contatto diretto, ciò comporta che il trasferimento di energia è meno efficace ma viene ridotto l'effetto di riscaldamento della matrice. Ciò risulta utile nei processi industriali che coinvolgono prodotti termolabili.

Gli ultrasuoni conferiscono un'energia vibrazionale elevata alle molecole della matrice alimentare, questo effetto aiuta fisicamente a rimuovere l'acqua dall'alimento, effetto che non si otterrebbe se le radiazioni fossero state emesse per contatto diretto all'alimento [41]. Le vitamine hanno mostrato un comportamento differente nei campioni in cui sono stati impiegati gli ultrasuoni, la ritenzione è stata maggiore a 60 °C rispetto che a 45 °C. I campioni ottenuti con gli ultrasuoni hanno mostrato una maggiore ritenzione in generale rispetto a quelli senza.

In relazione ai carotenoidi e alle vitamine, la ritenzione maggiore si ha con: minimo temperatura (45 °C) e con flusso d'aria al minimo (1m/s) oppure con temperatura massima (60°C) e con flusso d'aria al massimo (3m/s).

L'effetto degli ultrasuoni ha avuto pure l'effetto di ridurre il tempo di disidratazione grazie all'aumento della diffusione dell'acqua dal prodotto oltre che di aumentarne a qualità nutrizionale [41].

Fig.9 Schema di un disidratatore ad aria calda con ultrasuoni [41].

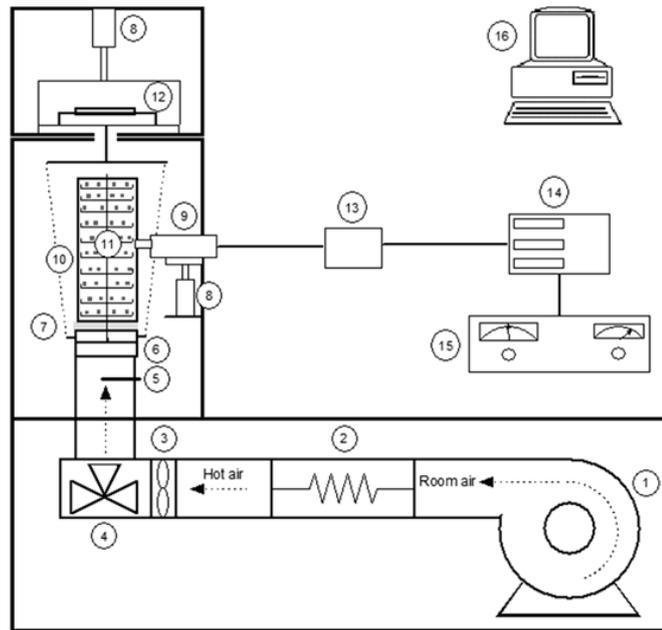


Tabella 4. Effetto degli ultrasuoni, della temperatura e del flusso dell'aria sulle vitamine [41].

Temperature (°C)	Air velocity (m/s)	Without ultrasound					With ultrasound				
		B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	E	B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	E
45	1	256.8 ±	254.3 ±	322.9 ±	633.7 ±	65.9 ±	234.5 ±	232.3 ±	294.9 ±	279.6 ±	141.8 ±
		14.1	7.0	16.1	15.9	4.6	12.9	6.4	14.7	7.0	9.9
	2	136.6 ±	135.3 ±	247.9 ±	309.7 ±	82.1 ±	210.8 ±	207.8 ±	237.5 ±	451.1 ±	102.1 ±
		7.5	3.7	12.4	7.8	5.7	11.6	5.8	11.9	11.3	7.1
60	3	128.2 ±	130.2 ±	204.9 ±	129.6 ±	78.0 ±	237.9 ±	237.2 ±	313.0 ±	252.7 ±	62.7 ±
		7.0	3.6	10.2	3.3	5.4	13.1	6.6	15.6	6.3	4.4
	1	140.4 ±	145.3 ±	196.3 ±	165.4 ±	81.6 ±	187.3 ±	198.3 ±	188.2 ±	342.6 ±	72.7 ±
		7.7	4.0	9.8	4.1	5.7	10.3	5.5	9.4	8.6	5.1
	2	192.1 ±	195.6 ±	240.0 ±	190.5 ±	104.6 ±	154.8 ±	156.0 ±	214.7 ±	125.2 ±	91.5 ±
		10.5	5.4	12.0	4.8	7.3	8.5	4.3	10.7	3.1	6.4

Tabella 5. Effetto degli ultrasuoni, della temperatura e del flusso dell'aria su carotenoidi e vitamine [41].

Temperature (°C)	Air velocity (m/s)	Without ultrasound		With ultrasound	
		Total Carotenoids	Lycopene	Total Carotenoids	Lycopene
45	1	55.6 ± 2.6	60.8 ± 1.8	102.1 ± 4.7	111.7 ± 3.4
	2	51.9 ± 2.4	51.8 ± 1.6	70.6 ± 3.3	64.7 ± 1.9
	3	62.0 ± 2.9	70.5 ± 2.1	51.6 ± 2.4	54.8 ± 1.6
60	1	53.5 ± 2.5	59.8 ± 1.8	54.8 ± 2.5	65.0 ± 1.9
	2	53.3 ± 2.5	54.4 ± 1.6	67.5 ± 3.1	72.5 ± 2.2
	3	72.2 ± 3.3	82.1 ± 2.4	83.4 ± 3.9	92.7 ± 2.8

Santos-Sánchez et al. [44] mostrano come la temperatura ha un impatto maggiore (88.47%) sul tempo di disidratazione rispetto alla velocità del flusso d'aria (4.6%), in un processo condotto con essiccatore a vassoio rotante (impatto della rotazione sul tempo di essiccazione pari a 6.4%).

Dianda et al. [45] mostrano come la velocità ha un impatto maggiore sul restringimento del prodotto disidratato e minore sul tempo di disidratazione, rispetto alla temperatura. Anche lo spessore delle forme di pomodoro da essiccare e la loro forma sono elementi fondamentali per la durata del processo [46,47].

Brooks et al. [48] a riguardo sostengono che, più piccola è la taglia (intesa come area della superficie tagliata), più veloce avviene l'essiccazione. In sintesi, aumentare la temperatura e la velocità, diminuendo in congiunta la dimensione delle fette di pomodoro, riduce il tempo di essiccazione. Tuttavia ha effetti dannosi sulla qualità del prodotto finito. L'acido ascorbico è più suscettibile al deterioramento alle alte temperature, un innalzamento della temperatura causa una diminuzione maggiore dell'acido ascorbico [20,47,49,50]. Demiray et al. [47] osservarono una perdita del 75.12% durante un processo di essiccazione condotto a 60 °C. Toor and Savage [51] hanno misurato un 30% e un intervallo di 28%-38% di perdita rispettivamente per il contenuto totale in fenoli e dell'attività antiossidante. Il tasso di reidratazione è un altro parametro che diminuisce in seguito ad un processo a temperature

maggiori [27]. Akanbi et al. [38] notarono un indurimento nei tessuti del prodotto finito ed un restringimento maggiore utilizzando temperature di disidratazione di 60 °C e 70°C.

Tali effetti risultano di molto ridotti alla temperatura di 45 °C.

Il colore è un altro parametro influenzato dalla temperatura, temperature maggiori causano un imbrunimento non enzimatico [2].

Alcuni pretrattamenti come il blanching riducono la perdita del contenuto in fenoli e carotenoidi [20]. Sacilik [53] nel suo studio ha ottenuto migliori caratteristiche di colore e tasso di reidratazione utilizzando come pretrattamento il blanching e applicando una soluzione salina ai campioni.

Un altro pretrattamento che si è dimostrato efficace nella conservazione delle caratteristiche complessive di colore è l'immersione delle fette di pomodoro in una soluzione di metabisolfito di potassio (KMS) [38]. Pertanto ridurre il tempo di disidratazione solamente aumentando la temperatura, compromette la qualità. Risulta più efficace modulare temperatura e flusso d'aria abbinate a un pretrattamento come, ad esempio, l'utilizzo di una emulsione alcalina di oleato di etile (AEEO), capace di ridurre il tempo di essiccazione dell'8.45% - 12.05% a diverse temperature [40]. In altri studi condotti sulla relazione tra la temperatura e i pretrattamenti, l'utilizzo di soluzioni come l'oleato di etile e il metabisolfito di potassio riducono il tempo di disidratazione fino al 39.5% per campioni tagliati a fette o quarti [46].

Un modo in più per migliorare la qualità del prodotto finito è poi utilizzare delle tecnologie diverse, che non sfruttano una semplice corrente di aria riscaldata come in un forno. Come descritto in questo paragrafo, l'applicazione degli ultrasuoni nel processo è un trattamento efficace nel ridurre il tempo di essiccazione e aumentare la ritenzione di vitamine e fenoli [41]; così come può esserlo l'applicazione di un vassoio rotante [44].

#### ELENCO DI DIFFERENTI METODI E PARAMETRI UTILIZZATI DELLA DISIDRATAZIONE DEI POMODORI

Metodo	Forma del pomodoro e condizione di lavorazione	Referenza []
1) Solar	- Halves 4 days of drying under the sun	[22]

- Slices 3 days under the sun (25-30 C) [25]
- Slices (4, 6, & 8 mm) 20 days (30 C, 84.7 kPa) Vacuum assisted [23]
- Slices (5 mm) A polished aluminum surface with a reflectance of 0.8 was used as a concentrator. Drying was carried out for 4 days. (concentrated solar dryer) [3]
- Sliced to 1 mm 0.5 mm 27.1–35.5 C (ambient), 29.8–54.8 C (latitudinal box dryer), 28.6–50.8 C (greenhouse dryer), and 27.5–62.0 C (sun manual-tracking dryer) with ambient Temperature [26]
- Pomace Sun-drying for 1 week [34]
- 2) Hot air drying
  - Slices (15 mm) 45, 60 70 C, & 0.13 m/s [38]
  - Slices (5 mm) 55, 65, 75 C & 1.5 m/s [52]
  - Halves and quarters 45, 50, 60, 65 C at 0.5 & 2 m/s [43]
  - Slices (7 mm) 0, 60, 70, 80 C; [42]
- 3) Heat pump drying
  - Quarters 40, 45, 50 C, 1.5 & 2 m/s [56]
  - Slices (6 mm) 40 C, 1 m/s [27]
  - Slices (7 mm) 35, 40, 45 C, 1 m/s [57]
- 4) Fluidized bed drying
  - Seeds 50, 70, 90 C, & 4, 8, 12 kg/m<sup>2</sup>, 0.9-5 [62]
  - Peels 50, 60, 70 C, & 4, 8, 12 kg/m<sup>2</sup>, at 2 & 4 m/s [63]
  - Pulp 50, 60 & 70 C, & 4, 8, 12 kg/m<sup>2</sup> [65]
- 5) Microwave
  - Slices (5 mm) 90, 180, 360, 600 W [77]
  - Quarters 300 W, 2 m/s, 35% RH (MW-air) [74]
  - Slices (7 mm) 200, 300, 500, 700 W at 0.04, 0.05, 0.06 MPa (MW-vacuum) [105]
  - Slices (6 mm) 300-600 W [27]
  - Halves 90, 160, 350, 500 W 3, 5, 7 W/g, at 40 C, 1.5 m/s (MW-air) [76]
  - Slices (7 mm) 200, 300, 500, & 700 W, at 0.04, 0.05, & 0.06 MPa (MW-vacuum) [78]
  - Slices (15 mm) 75,173, 287 W, at 4.00, 6.66, 9.33 kPa (MW-vacuum) [79]

- 6) Infrared drying
  - Halves 74, 88, 104 W [81]
  - Eights 300, 350, 400, 450, 500 W [83]
  - Eights 1830, 2385, 2640, 2880, 3185 W/m<sup>2</sup> , at 1, 1.5, 2 m/s [82]
- 7) Freeze drying
  - Quarters Frozen at 30 C [86]
  - Slices 50 C, 0.133 mbar, 24 h [25]
  - 1 1 2 cm Frozen at 20 C, then dried at 110 C under 0.1 mbar [87]
  - Slices Frozen at 80 C for 12 h then dried for 48 h [89]
  - Whole 20 C at air flow rate of 4 m/s individual quick freezing [88]
  - Whole Frozen at 0, 10, 20 C in stages (multistage) [88]

### 3.3 ESSICCATORI CON POMPA DI CALORE

Rimuovere acqua dai cibi richiede complessivamente nell'industria alimentare grande dispendio di energia. È stato fatto un gran lavoro per aumentare l'efficienza dei processi di disidratazione, in particolar modo con l'introduzione delle pompe di calore (HPD – heat pump dryer). Le HPD stanno trovando una vasta applicazione nell'industria alimentare per i processi di disidratazione. Un disidratatore a pompa di calore è fatto da 5 componenti principali: un compressore, un condensatore, un evaporatore, una valvola di espansione e una ventola per produrre la corrente d'aria. L'aria umida dell'essiccatore passa per l'evaporatore della pompa di calore, che agisce da deumidificatore. In questa sezione l'aria umida perde acqua per evaporazione cedendo calore al fluido di lavoro. L'aria deumidificata passa successivamente per il condensatore, dove è scaldata dal refrigerante che condensa. La HPD ha il vantaggio della bassa temperatura di essiccazione e permette di ottenere sul prodotto finito le caratteristiche desiderabili delle alte temperature, ma è più efficiente a livello energetico [181].

L'applicazione di questo tipo di asciugatura è adatta per ottenere prodotti di alta qualità. La sua capacità di produrre graduali e controllate condizioni di lavoro come temperatura, umidità e velocità dell'aria è stata molto studiata per aumentare la qualità dei prodotti [181]. Islam et al. [181], basandosi sui risultati delle loro simulazioni mostrano diverse configurazioni o operazioni alternative per ridurre i costi di esercizio del HPD.

Alcuni lavori hanno comparato l'HPD con i convenzionali disidratatori ad aria calda ed hanno mostrato come l'HPD permetta di ottenere una maggiore qualità del prodotto a costi energetici più bassi. Prasertsan and Saen-Saby [182] studiarono l'essiccazione con pompa di calore di prodotti agricoli e attraverso un'analisi economica tra i diversi metodi conclusero che l'HPD può presentare il costo di esercizio più basso tra le varie tecnologie.

La caratteristica di lavorare a bassa temperatura, è ottima nell'incremento della ritenzione di quei nutrienti e composti sensibili al calore. Aware and Thorat [55] hanno evidenziato che la ritenzione di allicina, usando l'HPD, è maggiore rispetto a ogni altro sistema di disidratazione.

Nel caso dell'essiccazione dei pomodori sono pochi i lavori in letteratura. La curva di asciugatura è caratterizzata dalla presenza di un unico periodo di caduta, senza punti di equilibrio che rappresenterebbero un periodo costante [27,56,57,58].

Coskun et al. [57] osservarono che, come ci si aspettava, il tasso di disidratazione aumenta con l'aumento di temperatura, si è rivelato 1.71 volte più veloce aumentando la temperatura da 35 °C a 45 °C, osservarono anche che in tale modo anche il coefficiente di performance aumentava con un aumento di temperatura. Queiroz et al. [56] scoprirono che si poteva raggiungere un 40-50% di riduzione energetica rispetto agli altri principali metodi produttivi. Il punto di forza dell'HPD è proprio la possibilità di ottenere dei prodotti finiti comparabili ai prodotti liofilizzati [59]. Un altro fattore positivo è che lavorare con HPD permette di ottenere un alto grado di ritenzione degli aromi volatili sul prodotto finito, maggiore rispetto alla media dei pomodori secchi normalmente commercializzati [60].

### **3.4 ESSICCATORE A LETTO FLUIDO**

In letteratura, i disidratatori a letto fluido sono principalmente utilizzati per l'essiccazione degli scarti di lavorazione dei pomodori [61]. Grbavcic et al. [61] riportano un tentativo di disidratazione della polpa di pomodoro con questo tipo di processo, ma senza successo.

Questo tipo di lavorazione consiste nel caricare il prodotto da essiccare su dei vassoi forati, l'aria calda è insufflata da questi fori, ad alta pressione, e mantenuta ad una velocità critica in modo da mantenere i prodotti caricati in uno stato fluido (sospeso).

Questo metodo è conosciuto per la capacità di disidratare il prodotto in maniera uniforme e ad un tasso di essiccazione elevato. In questo tipo di processo, si verifica solo un periodo di caduta nella curva di asciugatura, in assenza di periodi costanti [62,63].

Sono stati effettuati dei tentativi di essiccazione per i semi [62], la buccia [63,64], e la polpa [65]. I tempi di essiccazione rilevati sono stati inferiori rispetto a quelli ottenibili attraverso il tradizionale metodo ad aria calda alla medesima temperatura dell'aria. Un'ulteriore riduzione del tempo è ottenibile riducendo il carico di materiale per vassoio e aumentando la temperatura. Riguardo la polpa di pomodoro è stato visto che, sebbene questo processo permetta di ottenere la migliore ritenzione di licopene tra i metodi ad aria calda [65], dall'altra parte causa un'elevata degradazione dello stesso licopene, del  $\beta$ -carotene e dell'acido ascorbico; questo per via

dell'ossidazione provocata dall'eccessivo flusso d'aria utilizzato per ottenere la fluidizzazione [64].

Una variabile di questo processo consiste nel creare un letto fluido di particelle inerti prima di introdurre la pasta o il materiale da disidratare. Queste particelle inerti possono essere piccole sfere di vetro, o polietilene, teflon e polipropilene. Queste particelle vengono sospese in aria dal getto d'aria disperdendosi, coprono e aiutano a disperdere in particelle anche il prodotto da disidratare. Il ruolo del materiale inerte è ausiliario nell'essiccazione del prodotto, funge da supporto per le paste introdotte, da fonte di calore e aiuta a disperdere il prodotto da disidratare, rendendo così possibile la fluidizzazione di paste ad alto contenuto di umidità che altrimenti non verrebbero fluidificate. Rispetto al processo senza particelle inerti rende il tasso di disidratazione 17-18 volte più veloce [66]. Le caratteristiche del prodotto da disidratare e quelle del materiale inerte risultano essenziali ai fini del processo e per trovare un giusto equilibrio vige la legge empirica. Il processo è influenzato dalle seguenti parametri:

- **Dimensione delle particelle inerti:** Dovrebbero essere 20-40 volte più larghe delle particelle della pasta da disidratare per ottenere un'alta velocità dell'aria e permettere un buon tasso di disidratazione. Le sfere di vetro variano da 4 a 20 mm, quelle in teflon raggiungono anche grandezze di 5.0 – 6.9  $\mu\text{m}$ .
- **Contenuto di umidità della pasta:** Per paste ad alto contenuto di umidità ciò rappresenta un limite durante il processo e può portare a tassi di disidratazione con periodo costante.
- **La rugosità e la dimensione delle particelle inerti:** Questi due parametri, sono fondamentali perché caratterizzano le proprietà reologiche dei materiali inerti. Queste proprietà a loro volta interagiscono col flusso d'aria determinando i moti circolatori delle particelle inerte, influenzando il numero di collisioni tra le particelle, il rapporto tra la massa di pasta e le particelle inerte aderite ad essa.

Oltre a ciò: la pasta deve essere caricata ad un tasso costante, il materiale inerte e la pasta devono aderire ma anche successivamente poter essere separati facilmente, alte pressioni dell'aria sono necessarie per mantenere una buona fluidizzazione.

La polpa di pomodoro, per via della presenza di zuccheri diventa appiccicosa durante il processo. Un limite di questa tecnica è proprio la disidratazione delle polpe che possono diventare appiccicose, perché restano adese alle particelle inerte impedendone la separazione.

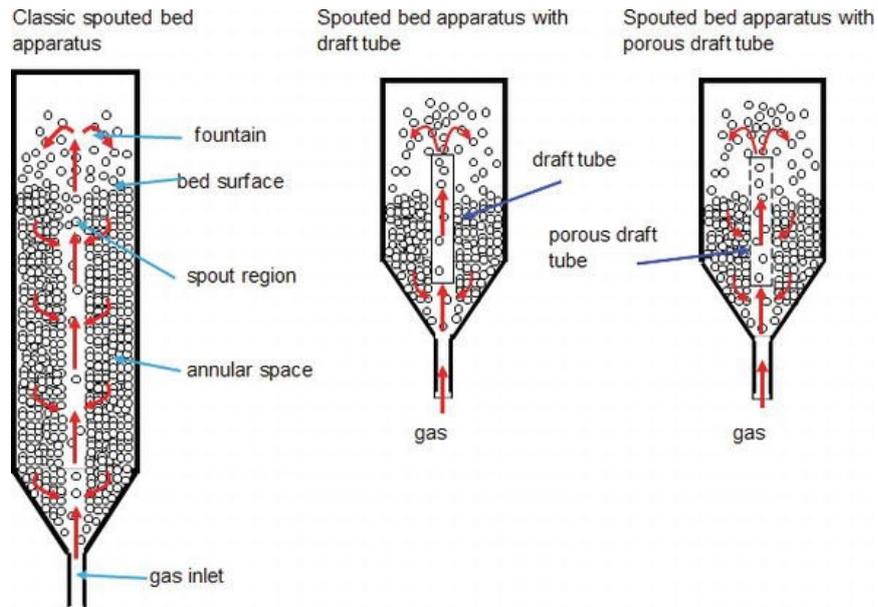
Per un'essiccazione efficace di una pasta con l'ausilio di particelle inerti, il tasso al quale il film della pasta è coperto e rimosso dalle particelle inerti deve essere maggiore o almeno uguale al tasso al quale la pasta viene alimentata nel letto fluido [66]. Lo stato stazionario è raggiunto quando i tassi di copertura del film alimentare e rimozione delle particelle sono uguali.

La rimozione delle particelle dipende dalle forze di adesione, dai legami che si instaurano tra la superficie delle particelle e quella della pasta, dipende dalla frequenza di collisioni tra le particelle della polvere e le particelle inerti, dalla temperatura di processo, dai moti che adottano le particelle, dalla composizione chimica dei materiali [66].

### **3.5 ESSICCATORE A LETTO FLUIDO A GETTO**

La fluidizzazione del letto fluido a getto è il processo in cui il fluido viene introdotto verticalmente verso l'alto ad una velocità adeguata attraverso il centro del letto di materiale granulare inferiore. Le particelle del letto vengono trasportate nel getto centrale dal flusso fluido e quando raggiungono lo strato medio superiore piovono di nuovo sulla regione anulare periferica. Successivamente, si spostano lentamente verso il basso della colonna. Il ciclo di processo viene ripetuto molte volte causando la circolazione del letto (Fig. 10). Le aree di applicazione della fluidizzazione del letto fluido a getto si sovrappongono a quella del classico uso della fluidizzazione; tuttavia, i meccanismi del flusso del fluido e del movimento degli elementi del letto differiscono sostanzialmente in entrambi i casi. Il movimento e la miscelazione delle particelle nel letto a getto sono regolari e ciclici, imposti dal getto fluido costante verso l'alto, opposti a un movimento delle particelle più casuale e complicato nel letto fluidizzato convenzionale. Le caratteristiche aerodinamiche del sistema a letto a getto rispetto alla fluidizzazione convenzionale non dipendono solo dalle proprietà del fluido e dalle particelle solide che compongono il letto. La costruzione dell'apparato, così come l'altezza e la larghezza del letto sono di grande importanza. In base al tipo di fluido e al tipo di particelle solide fluidificanti e alla configurazione dell'apparato, i tipi di strutture del letto / tipi di fluidizzazione sono meglio rappresentati dalla dipendenza dell'altezza del letto dalla velocità del fluido.

Fig. 10 Schema di un essiccatore a letto fluido a getto [189].



Vi sono altre due differenze dalla fluidizzazione classica:

- quella di avere tempi di processo più brevi, il che rende questa tecnologia utilizzabile per l'essiccazione di composti termolabili.
- Possibilità di raggiungere costi energetici minori rispetto alla normale fluidizzazione

Non è però presente in letteratura, una comparazione qualitativa; pertanto, ad oggi non è stato determinato se queste differenze portano a prodotti qualitativamente superiori [67].

Si è voluta studiare l'essiccazione del concentrato di pomodoro per produrre la sua polvere [67].

La pasta del pomodoro in natura è termoplastica e difficile da essiccare in questo tipo di essiccatori poiché la pasta diventa più appiccicosa man mano che l'umidità viene rimossa [68].

Almeida et al. [71] studiarono la disidratazione in questo tipo di tecnologia a getto con ausilio di particelle inerti. L'asciugatura dei concentrati rimane difficoltosa per via non solo della possibile appiccicosità crescente come nel caso del pomodoro, ma anche per il fenomeno dell'indurimento, che prende luogo più facilmente con l'aumento della temperatura. Questo comporta una difficoltà maggiore per l'acqua all'interno del prodotto a svolgere la sua normale diffusione verso l'esterno.

Szentmarjay et al. [72] eseguirono l'essiccazione del concentrato di pomodoro in un essiccatore a letto fluido a getto con particelle inerti e valutarono due aspetti qualitativi del prodotto finito.

È risultato che la polvere ottenuta aveva ottime proprietà di colore e solamente il 10 % di acido

ascorbico era stato perso nel processo. Ciò ha portato a concludere che tale tecnica può aiutare a preservare le proprietà funzionali del pomodoro.

È stato provato un tentativo di ottenere un prodotto disidratato dalle proprietà funzionali e dall'alto valore nutrizionale, usando pasta di pomodoro e sangue bovino per aumentare il contenuto proteico e sfruttando il potere antiossidante dei pomodori. La realizzazione di questa polvere essiccata è stata possibile grazie a questa tecnologia [73].

### **3.6 ESSICCATORE A MICROONDE**

L'uso delle microonde nell'industria alimentare è stato protagonista di un importante aumento negli ultimi 20 anni, risiede nella categoria delle tecnologie termiche avanzate. Il fenomeno del riscaldamento alla rinfusa è tipico di questa tecnica che è capace di ridurre i tempi di processo e aumentare la qualità del prodotto finito. L'essiccazione a microonde utilizza le onde elettromagnetiche (915 & 2450 MHz) per un riscaldamento in tutta la massa del prodotto. Questa tecnica associata al pomodoro è conosciuta per essere in grado di ridurre il tempo di processo di molto, Askari et al. [74] ottennero una riduzione del tempo di essiccazione del 26%, comparato con la tecnica tradizionale ad aria calda (forno). Il tempo di essiccazione in questo caso è principalmente influenzato dalla potenza delle onde utilizzate, la riduzione diventa sempre più marcata all'aumentare della potenza. Un aumento di potenza da 200 a 700 W ha ridotto il tempo di processo da 84 minuti a 14 minuti [75], similmente un aumento da 120 a 180 W ha ridotto il tempo di processo del 46.4% [74]. Ad ogni modo se si usa troppa potenza vi sono effetti negativi, a 500 W si distrugge la struttura dei tessuti [76]. I tessuti così si degradano per effetto del gradiente tra la struttura interna e le regioni vicino alla superficie che si crea per l'alta pressione del vapore, Quando si innalza il potere delle onde, si innalza la pressione del vapore che è forzata dall'alto gradiente che si crea all'interno del prodotto, ciò fa collassare la struttura. Celen and Kahveci [77] suggeriscono che applicando una potenza al di sotto dei 360 W permette di avere ottimi parametri di colore. Un potere inferiore ai 90 W ha prodotto fette di pomodori disidratati quasi uguali a quelli freschi. È stato notato anche che il tasso iniziale di diffusione dell'umidità è alto e diminuisce verso la fine del processo di essiccazione, quando il contenuto

di acqua nelle regioni interne diminuisce. L'esposizione del medesimo potere delle onde, applicato negli stadi finali del processo, cioè quando vi è poca acqua o non c'è acqua disponibile per l'evaporazione, espone il prodotto a riscaldamenti non uniformi e bruciature inutili dei tessuti. Si ottengono così prodotti di scarsa qualità, con pessime caratteristiche di: colore, tasso di reidratazione, attributi di texture.

L'applicazione del vapore in un sistema a microonde può prevenire tali effetti [75]. Come mostrato da Abano et al. [75] entro i range di pressione di 0.04-0.06 Mpa e potere di applicazione delle onde di 700 W, non si verificano problemi di bruciature. Konè et al. [78] scoprirono che l'utilizzo di un sistema di controllo a feedback basato sul variare la densità di potenza erogata in base alla perdita di peso del campione sottoposto a essiccazione, portava ad avere ottimi parametri cromatici, una struttura meno rigida e un gran numero di pori rispetto ad un sistema senza controllo della densità. Queste sono ottime caratteristiche commercialmente desiderabili per i pomodori.

L'accoppiamento della tecnologia a microonde con quella convettiva (moti di aria a velocità controllata che passano ai lati del prodotto e attraverso) permetteva di avere anch'essa ottime caratteristiche cromatiche e una miglior struttura topografica ad un tasso di disidratazione più elevato, rispetto al solo utilizzo delle microonde per dei pomodori tagliati a metà [76].

Sono stati compiuti diversi sforzi, utilizzando una rete neuronale artificiale, per predire il valore ottimale di potenza e l'intervallo di temperature richieste per disidratare i pomodori con un danno termico che sia il minimo possibile [79].

Pretrattare le metà dei pomodori tagliati con 20% di salamoia e una soluzione ternaria (27.5% saccarosio, 10% NaCl) a 30 °C per 3 ore aumenta il tasso di essiccazione [19]. È stato notato che la soluzione ternaria è stata più efficiente nel rimuovere l'umidità rispetto alla salamoia. Tuttavia, il cambio di colore dei campioni disidratati è stato più marcato per la soluzione ternaria. La differenza di colore era più prominente aggiungendo calcio lattato (2%) ai campioni pretrattati con salamoia. Questo pretrattamento ha portato anche ad un aumento del soluto assorbito dal pomodoro e un miglior colore delle metà disidratate. L'effetto dell'agente osmotico sul tasso di essiccazione delle vinacce è stato approfondito da Al-Harashseh et al. [14]. L'effetto del pretrattamento con ultrasuoni, sul tasso di disidratazione e sulla qualità dei campioni essiccati ha rivelato che, il trattamento con ultrasuoni di 25 kHz per 40 minuti ha condotto ad un tempo di disidratazione più ridotto del 7.38%. Tale percentuale è insignificante

sul tempo di processo e non ha avuto effetto sulla variazione di colore, tasso di reidratazione e ha ridotto il contenuto di acido ascorbico durante l'essiccazione. Ad ogni modo, utilizzando un trattamento ad ultrasuoni più blando, è stato osservato un aumento nel contenuto finale di fenoli totali e licopene.

### **3.7 ESSICCATORE A INFRAROSSI**

La tecnologia a infrarossi nell'industria alimentare è principalmente legata a scopi: analitici, di rilevamento, irradiazione e pelatura di frutta e verdura. L'essiccazione a infrarossi è un canale separato per l'utilizzo di questa tecnologia nel campo alimentare e va a costituire quelli che sono noti come essiccatori di quarta generazione.

Il vantaggio principale di questa tecnologia è simile a quello della tecnologia a microonde, ovvero consentire un tempo di processo più veloce. In aggiunta a questo il riscaldamento a infrarossi è una tecnica radiativa di riscaldamento efficiente dal punto di vista energetico. L'essiccazione alimentare con l'ausilio degli infrarossi è un processo ampiamente esplorato e applicato su scala industriale. L'essiccazione a infrarossi è basata sull'assorbimento di onde elettromagnetiche da parte delle molecole che costituiscono l'alimento. Questo assorbimento fa vibrare tali molecole ad una frequenza di 60000-150000 MHz, ciò produce una frizione intermolecolare che provoca a sua volta un riscaldamento interno. In ultima, questo riscaldamento fa sì che avvenga un'evaporazione dell'acqua libera nell'alimento e questo fenomeno facilita il processo di disidratazione [80].

In questo tipo di essiccazione i parametri importanti sono:

- l'intensità della radiazione emessa
- la velocità del flusso d'aria utilizzato
- lo spessore della fetta di pomodoro da essiccare

La curva tipica che si può osservare in questo processo è un iniziale periodo di aggiustamento, seguito da una fase di incremento del tasso di essiccazione ed una seguente fase di caduta [81].

Il periodo di caduta inizia quando finisce il periodo a tasso costante. Il periodo a tasso costante è la fase iniziale in cui il prodotto ha una temperatura costante. Durante questo periodo, il solido è così umido che esiste una pellicola continua d'acqua su tutta la superficie, e quest'acqua si comporta come se il solido non fosse presente. Quest'acqua di superficie è governata da un tasso di evaporazione che dipende esclusivamente dalle caratteristiche dell'aria all'esterno del prodotto. Ad un certo punto questa evaporazione nel procedere raggiungerà un punto di umidità critico sulla superficie, per il quale il tasso di essiccazione passa da costante al cosiddetto periodo di caduta. In questo periodo la temperatura del prodotto incrementa, l'acqua si sposta per diffusione e con un certo tasso dal centro del prodotto verso la superficie, in questo periodo l'umidità del prodotto diminuisce fino a ad un valore limite desiderato in un tempo che dipende dalle condizioni di lavorazione.

Il tempo di essiccazione è influenzato in questo caso principalmente sia dall'intensità della radiazione sia dalla velocità del flusso d'aria utilizzato all'interno della camera di asciugatura [82].

Questo tempo diminuisce con l'aumentare dell'intensità della radiazione [81,83]. Questo è attribuito all'aumento di temperatura che l'assorbimento della radiazione provoca nel prodotto; pertanto, una maggiore intensità provoca un riscaldamento e quindi un'evaporazione maggiore nei tessuti del pomodoro. D'altra parte, con un incremento della velocità del flusso d'aria si osserva una tendenza opposta [82,83]. Questo è indotto da un effetto di raffreddamento che la corrente d'aria crea in vicinanza dei tessuti esterni, in tale modo viene ridotto l'effetto del gradiente di temperatura. Sadin et al. [84] ha esplorato l'effetto che lo spessore delle fette da sottoporre a processo e la temperatura hanno sul consumo energetico e il tempo di essiccazione. Hanno osservato che l'energia consumata è stata ridotta sia aumentando la temperatura che lo spessore delle fette, e il tempo di essiccazione ridotto aumentando la temperatura e diminuendo lo spessore.

È stato poi notato che la diffusione dell'acqua aumenta di efficacia con l'aumentare della temperatura e dell'intensità della radiazione, mentre l'efficacia diminuisce con l'aumento dello spessore delle fette.

Similmente all'essiccazione a microonde il contenuto di licopene incrementa in seguito alla disidratazione, mentre diminuisce quello dell'acido ascorbico e del  $\beta$ -carotene. Il licopene è stato osservato aumentare in un range compreso tra il 29-364%, la perdita di vitamina C e  $\beta$ -

carotene riscontrate sono state maggiori del 51% e del 5-51% rispettivamente [83]. In maniera simile Kocabiyik et al. [85] notarono che il licopene aumenta del 207-337% mentre la vitamina C diminuisce del 3-51%. È stato anche notato che l'interazione tra la velocità dell'aria e l'intensità della radiazione influenzano il restringimento-contrazione significativamente mentre non sembrano influenzare il tasso di reidratazione. Il restringimento più basso e più alto, sono stati osservati accoppiando un'intensità costante di 2385 W/m<sup>2</sup> alla velocità dell'aria di 1 & 2 m/s rispettivamente.

Il colore delle fette disidratate risulta per parametri colorimetrici vicino a quello dei prodotti freschi [83].

La tecnica a infrarossi è utilizzata il più delle volte in combinazione con altri metodi di essiccazione piuttosto che come metodo singolo.

### **3.8 LIOFILIZZAZIONE**

La liofilizzazione, al contrario di altri metodi di essiccazione viene effettuata a temperature più basse, il che è associato alla prevenzione della perdita di sostanze nutritive termosensibili. I pomodori vengono essiccati al di sotto del punto di congelamento dell'acqua, l'acqua congelata viene poi sublimata in condizioni di pressione appropriate. Tuttavia, la temperatura di essiccazione ha un ruolo importante nella qualità fisica del prodotto ottenuto. La liofilizzazione è il metodo migliore per avere un impatto minimo sulla capacità antiossidante, sul contenuto fenolico totale e sui cambiamenti di colore. Chang et al.[49] e Gumusay et al.[25] hanno dimostrato che il metodo di liofilizzazione è ideale per la conservazione dell'attività antiossidante e dell'acido fenolico. La perdita di acido ascorbico è minima quando essiccato con questo metodo a causa dell'operazione a bassa temperatura [25,86].

L'idrossimetil furfurolo considerato dannoso per la salute umana, è uno dei prodotti di reazioni chimiche che si formano durante l'essiccazione. Queste reazioni chimiche sono innescate a temperature più alte, quindi nei quarti di pomodoro liofilizzati, tali composti nocivi erano assenti [20]. Le forme essiccate sono porose, il che facilita una migliore reidratazione, Gaware et al. [27]

hanno scoperto che le fette liofilizzate mostrano reidratazione più veloce a 25 e 100 °C. Tuttavia, ci sono alcune limitazioni alla liofilizzazione, essa porta a scarsa qualità strutturale dei pomodori essiccati e danni alla struttura del tessuto a causa della formazione di grandi cristalli di ghiaccio. Per evitare ciò, Lopez-Quiroga et al. [87] hanno suggerito di limitare la temperatura del prodotto tra la temperatura di transizione vetrosa e la temperatura di collasso del prodotto.

Il contenuto di licopene del campione essiccato risulta diminuire con l'essiccazione, a differenza di altri metodi [86,88,89]. Ciò è dovuto alla mancata esposizione a temperature più elevate che migliorano il rilascio di licopene, in aggiunta a ciò, i grandi cristalli di ghiaccio aumentano l'esposizione del tessuto all'aria portando a ossidazione. Tuttavia, il pretrattamento sottovuoto e il congelamento rapido individuale possono aiutare a ridurre le perdite [88]. Una delle maggiori limitazioni all'utilizzo della liofilizzazione è l'aspetto economico, il sistema di refrigerazione e il lungo tempo di processo contribuiscono all'aumento del costo del processo. Anche se i composti sensibili al calore sono ben protetti dalla liofilizzazione, Tan et al.[89] hanno indicato il metodo di essiccazione in forno come un metodo potenziale rispetto alla liofilizzazione sia dal punto di vista della prospettiva economica, sia di conservazione delle sostanze nutritive.

### 3.9 ESSICCATORE AD OSMOSI

La disidratazione osmotica è una tecnica di essiccazione parziale generalmente usata come pretrattamento, dove il prodotto è immerso in una soluzione ipertonica per scacciare l'acqua dai tessuti per osmosi. Gli agenti osmotici comuni utilizzati sono lo zucchero e il sale, mentre l'uso di lattato di calcio, cloruro di calcio, sciroppo di mais sono in fase di studio. La soluzione osmotica è generalmente binaria ma l'uso di soluzioni ternarie è anch'esso possibile. L'uso di pretrattamenti osmotici ha un effetto positivo sulla qualità del prodotto essiccato ottenuto. Il rapporto prodotto-soluzione, la temperatura e la concentrazione del soluto governano la perdita di acqua e il guadagno di solidi da parte del prodotto. Con la temperatura, la perdita di acqua è generalmente aumentata, attribuita all'aumento del trasferimento di massa, alla diminuzione della permeabilità della membrana e alla viscosità del liquido [90]. La perdita d'acqua aumenta con un aumento della concentrazione del soluto come osservato da Souza et al. [91] e Escher et al. [92]. L'autore, basandosi sugli studi precedenti, ha anche suggerito di mantenere almeno un rapporto 4:1 tra prodotto e soluzione per evitare effetti di diluizione.

Diversi agenti osmotici hanno effetti diversi sul tasso di essiccazione e sulle qualità del prodotto finale. Tonon et al.[90] hanno osservato che il sale causa una maggiore perdita d'acqua rispetto al saccarosio, a causa della maggiore capacità di legare l'acqua a parità di quantità. Anche l'uso di mais di mais [93], maltodestrina [94], e glicerolo [95] sono stati studiati come agenti osmotici. Il pretrattamento osmotico riduce successivamente il tempo di essiccazione, Al-Muhtaseb et al. [96] hanno osservato una riduzione del 30% del tempo complessivo di essiccazione.

I parametri critici come il trasferimento di massa e il parametro di resistenza dovrebbero essere rivisti durante l'essiccazione. Un parametro di resistenza più alto porta al blocco dell'area superficiale riducendo l'effettiva perdita d'acqua [91].

Il trattamento osmotico dovrebbe essere effettuato solo fino a un punto in cui il tasso di diffusione dell'acqua è maggiore nella soluzione osmotica rispetto al trattamento convenzionale.

Brooks et al. [97] hanno osservato che i pomodori pretrattati osmoticamente mostrano un tasso di essiccazione più alto nel primo periodo di caduta rispetto ai campioni non trattati.

I pretrattamenti osmotici migliorano anche le proprietà fisiche e chimiche dei prodotti essiccati. Il contenuto di carotene e licopene delle metà disidratate osmoticamente è risultato superiore a quello delle metà fresche [90,94]. Gli effetti di conservazione di tali sostanze possono essere attribuiti alla completa assenza di contatto con l'aria. Siriamornpun et al.[98] hanno osservato un trattamento osmotico seguito da essiccazione a infrarossi per aumentare l'attività antiossidante. Anche l'acido sinapico e ferulico sono stati conservati. Il profilo volatile delle metà di pomodoro ha mostrato come il pretrattamento osmotico seguito dall'essiccazione ad aria calda ha preservato l'aroma dei pomodori freschi [99].

Tale processo di essiccazione può essere ulteriormente migliorato utilizzandolo in combinazione con il trattamento sottovuoto pulsato e ad ultrasuoni. L'applicazione del vuoto nel tempo iniziale facilita la rimozione dell'aria in eccesso negli spazi cellulari aiutando a migliorare il trasferimento di massa [100]. Allo stesso modo, il trattamento a ultrasuoni aiuta a velocizzare il trasferimento di massa, tuttavia, la struttura dei tessuti di pomodoro è stata alterata in questo caso [101].

### **3.10 ALTRI METODI DI ESSICCAZIONE**

Oltre ai metodi di disidratazione precedentemente menzionati, sono stati indagati alcuni altri metodi.

Il campo elettrostatico ad alta tensione è stato usato per disidratare le fette di pomodoro a temperature più basse, il tasso di essiccazione era più alto e il colore delle fette disidratate assomigliava a quelle fresche [102].

Andritsos et al.[103] hanno usato l'energia geotermica per l'essiccazione, le condizioni erano più miti (50-57 °C), conservando così il colore, le sostanze nutritive, il sapore, e ha prodotto fette essiccate di alta qualità.

La disidratazione ohmica potrebbe essere utilizzata anche come pre-trattamento per ulteriori metodi di essiccazione come l'essiccazione ad aria calda, l'essiccazione solare e a microonde con il risultato di una migliore struttura e volume dei prodotti alimentari finali, migliorando il gusto, il colore e riducendo l'attività dell'acqua [104]. L'essiccazione ohmica del cibo è una tendenza

imminente e il suo uso nella pre-essiccazione della pasta di pomodoro ha ridotto drasticamente il tempo di asciugatura rispetto all'essiccazione ad aria calda [104]. È una tecnologia emergente di riscaldamento degli alimenti con una grande capacità di riscaldare rapidamente e uniformemente i materiali alimentari e ha un'ampia applicazione per operazioni di scottatura, evaporazione, fermentazione, estrazione, sterilizzazione, pastorizzazione e riscaldamento. Durante il riscaldamento ohmico il cibo è direttamente esposto alla corrente elettrica dove l'energia elettrica viene convertita in energia termica. Uno dei vantaggi dell'uso di questo processo è l'alta efficienza di conversione dell'energia. Rispetto al riscaldamento convenzionale, offre un risparmio energetico dell'82-97% e la riduzione dei tempi di riscaldamento del 90-95% [104]. L'altro vantaggio è la tendenza a mantenere alta la ritenzione nutrizionale, il colore e gli attributi sensoriali. Il successo di questo processo dipende da una serie di fattori come le proprietà elettriche, termofisiche e reologiche del cibo e i parametri del processo come la frequenza, il materiale degli elettrodi, la geometria della camera di trattamento, l'intensità del campo elettrico, il tempo di residenza e la conducibilità elettrica [104]. L'applicazione della disidratazione osmotica prima di una costosa tecnica di essiccamento rende anche il processo più efficiente dal punto di vista energetico e dei costi.

## 4. POLVERI ESSICcate DI POMODORO

### 4.1 SPRAY DRYING

L'essiccazione spray è un metodo di essiccazione che si è sviluppato enormemente negli ultimi 30-50 anni. Presenta vantaggi unici per essiccare i materiali preservandoli dalla degradazione. È un processo molto versatile che può essere usato in scala di laboratorio o in fabbriche che producono decine di tonnellate all'ora. Un processo di spray drying presenta anche il vantaggio di produrre una polvere la cui granulometria può essere, entro certi limiti, regolata e quindi aumenta notevolmente le proprietà e la facilità di manipolazione del materiale essiccato.

Prima del processo, i materiali da essiccare sono in forma liquida. Il processo prima mira a condizionare i materiali in modo da rendere possibile l'essiccazione e ottimizzarne la resa. Le fasi tipiche del processo in questa fase sono:

- Dissoluzione / formulazione - se la materia prima non è disponibile direttamente in forma liquida
- Concentrazione / evaporazione: l'aumento del solido totale si tradurrà in una migliore resa per l'essiccatore a spruzzo
- Riscaldamento: il riscaldamento può aiutare a controbilanciare l'aumento di viscosità dovuto alla concentrazione
- Pompaggio: lo slurry viene pompato ad alta pressione verso l'essiccatore

Per assicurare un'asciugatura molto veloce è necessario atomizzare l'afflusso di liquido in goccioline molto piccole. Questo aumenta molto la superficie di scambio dove l'umidità può lasciare le particelle. Questa atomizzazione è fatta grazie a 1 o più ugelli. Esistono diversi design di ugelli per questi essiccatori a spruzzo, che devono essere scelti in funzione del materiale e della portata per ottenere i migliori risultati:

- Ugelli a pressione
- Ugelli rotanti
- Ugelli a 2 fluidi

L'essiccazione avviene grazie al contatto dell'aria secca con le goccioline spruzzate. La capacità dell'aria di assorbire l'umidità, e quindi di asciugare le particelle, viene aumentata riscaldando l'aria prima che entri nella camera di essiccazione a spruzzo. Ha una bassa umidità relativa all'entrata e un'alta umidità relativa e una temperatura più bassa all'uscita. L'aria può essere soffiata in co-corrente al prodotto, dalla parte superiore della torre, o in contro-corrente, dal basso. In molte applicazioni di processo si preferisce la controcorrente.

La controcorrente ha un interesse fondamentale: l'aria alla temperatura più alta contatta le particelle con l'umidità più alta, il che aiuta a proteggere le particelle dal surriscaldamento. L'essiccazione avviene effettivamente lungo tutta la camera di essiccazione seguendo la progressione delle particelle solide all'interno.

L'umidità viene rimossa passo dopo passo grazie a un trasferimento di massa e di calore tra la particella e l'aria:

- Tasso di essiccazione costante: la particella è satura di liquido, il trasferimento di massa va il più veloce possibile in funzione soprattutto della superficie della particella
- Tasso di caduta: una volta che la superficie della particella non è più satura di liquido, l'essiccazione dipenderà dalla capacità del liquido intrappolato nella matrice solida della particella di diffondersi fino alla superficie per evaporare. Si tratta di un processo controllato dalla diffusione.

Formazione di bolle: durante il periodo di caduta, la temperatura della particella aumenta. Se raggiunge una temperatura superiore al punto di ebollizione del liquido, questo può vaporizzare nella particella ed espandersi creando una bolla.

Una volta che le particelle sono essiccate, è necessario raccoglierle. Molto spesso tale separazione avviene in serbatoi conici che possono essere dotati di filtri per aumentarne l'efficienza. La polvere viene raccolta sul fondo dell'essiccatore a spruzzo e trasportata pneumaticamente in uno di questi serbatoi dove viene separata con l'aria. Anche l'aria nella camera di essiccazione viene inviata a un altro serbatoio simile dove le polveri, che possono essere state trasportate dall'aria, vengono separate e rimandate al flusso principale del prodotto. L'aria umida viene generalmente scartata, ma in alcuni casi, poiché è ancora calda, può essere ulteriormente utilizzata per altre operazioni di processo - preriscaldamento.

### 4.1.1 ESSICCAZIONE SPRAY DELLA PASTA DI POMODORO

L'essiccazione spray è una delle tecniche di essiccazione più applicate su scala commerciale. Il pomodoro, essendo ricco di zucchero che ha una bassa temperatura di transizione vetrosa è incline ad attaccarsi nella camera di essiccazione riducendo così invariabilmente la resa del processo. Bhandari [67] ha menzionato la polpa di pomodoro come un prodotto difficile da essiccare a causa di problemi legati all'agglomerazione. Tuttavia, una formulazione ottimale del miscuglio di alimentazione può portare alla generazione di un prodotto stabile. Sono stati fatti numerosi sforzi per esplorare gli effetti di diversi materiali di supporto per la polpa e i succhi di pomodoro. Le proprietà fisiche e chimiche della polvere sono dettate dalla concentrazione della massa in fase di alimentazione, dalla portata, dalla temperatura dell'aria in entrata, dal contenuto solido e dall'uso del materiale delle pareti.

Tuttavia, la velocità del flusso d'aria ha un effetto minimo o nullo sulla qualità [106]. Le caratteristiche importanti della polvere includono forma, dimensione, densità di massa, stabilità, solubilità e dispersione. La dimensione delle particelle è maggiormente influenzata dalla portata di alimentazione, seguita dalla temperatura dell'aria in entrata e dal contenuto solido dell'alimentazione. La densità e la solubilità sono maggiormente influenzate dal contenuto solido dell'alimentazione e dalla temperatura dell'aria in entrata, rispettivamente [106]. Aswathy et al. [107] hanno osservato che una bassa temperatura di ingresso dell'aria e la portata dell'alimentazione con una maggiore concentrazione di agente di trasporto porta a una polvere con una migliore ritenzione del licopene e dell'attività antiossidante. Una tendenza simile è stata osservata da Montiel-Ventura et al. [108] dove, una temperatura più bassa ha mostrato una migliore ritenzione di licopene. Un aumento della concentrazione del fluido di alimentazione ha un impatto positivo sulla natura fisica della polvere ma porta a un maggiore accumulo di residui nella camera di disidratazione provocando una riduzione dei prodotti di lavorazione [109]. L'uso di aria deumidificata aiuta a ridurre questo effetto.

La natura delle particelle è fortemente influenzata dall'agente di trasporto, Correa-Filho et al. [110] hanno trovato che, quando viene utilizzata l'inulina nella formulazione del miscuglio di

alimentazione, vengono poi prodotte particelle più sferiche rispetto a sostanze come la gomma di araba.

Allo stesso modo, tra le proteine vegetali (proteine isolate di pisello, proteine isolate di soia e dal mais) come carrier per lo spray drying del succo di pomodoro, l'isolato proteico di soia all'1% w/w è stato l'agente carrier più adatto quando per quanto riguarda i test su: dimensioni delle particelle, densità, porosità, fluidità e igroscopicità [111].

## **4.2 ESSICCAZIONE SU NASTRO ADESIVO**

L'essiccazione in cast-tape (CTD) è un processo per produrre polvere alimentare disidratata. Consiste nello spargere un fluido viscoso su un supporto (generalmente poliestere) la cui superficie inferiore è riscaldata da acqua o vapore.

Così, il materiale da asciugare non è in contatto diretto con il mezzo di riscaldamento. Parisotto et al. [112] hanno spiegato il processo con l'aiuto del trasferimento di calore e di massa. Il trasferimento di calore è governato dalla convezione (mezzo di riscaldamento al film) e conduzione (contatto diretto tra il mezzo di riscaldamento e il film e il contatto diretto tra il film e il liquido). Poiché il liquido non è in contatto diretto con il mezzo di riscaldamento, il metodo è vantaggioso per la ritenzione dei nutrienti termolabili. La temperatura del mezzo di riscaldamento e lo spessore del liquido spalmato per l'essiccazione dettano il tasso di essiccazione. Con la diminuzione dello spessore e l'aumento della temperatura del mezzo di riscaldamento, il tasso di essiccazione aumenta.

Castoldi et al. [113] hanno osservato un aumento dell'essiccazione di 2,3 e 2,8 volte per film di 2 e 3 mm di spessore, rispettivamente quando la temperatura è stata aumentata da 65 a 95 °C. È stato anche riportato che con la diminuzione dello spessore da 3 a 2 mm il tasso di essiccazione si è ridotto del 43-73%. L'uso del vapore al posto dell'acqua calda è riportato da Durigon et al. [114] che si è rivelato essere vantaggioso per un migliore controllo della temperatura e della costruzione.

Durigon et al. [115] hanno scoperto che la maltodestrina, quando aggiunta al succo ed essiccata ha prodotto una polvere con meno appiccicosità e migliore solubilità e disperdibilità. I valori di luminosità (caratteristiche cromatiche della polvere) sono risultati più alti.

Tabella 6. Condizioni di essiccazione utilizzate per la preparazione della polvere essiccata di pomodori usando diversi metodi [130].

Feed	Type of drying	Condition
Tomato pulp	Cast tape drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyester film with 0.25 mm thick, circulating hot water at 90 °C by thermostatic bath</li> </ul>
Juice	Spray drying & Cast tape drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spray drying: 3.70 m<sup>3</sup>/min at 150 °C</li> <li>• Cast tape drying: hot water at 90 °C and influx air conditions at 25.4 °C and 57-67% RH</li> </ul>
Pulp	Cast tape drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hot water at 90 °C, inlet air at 25 °C, and 54-74% RH</li> </ul>
Pulp	Cast tape drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hot water at 65, 75, 85, &amp; 95 °C, pulp thickness: 2 &amp; 3 mm.</li> </ul>
Juice	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temp: 140 &amp; 160 °C, feed flow rate: 6 &amp; 10 mL/min, Maltodextrin: 10 &amp; 20%</li> </ul>
Juice	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temperature of 150 °C, feed flow rate: 9.2 mL/min, addition of proteins. 1% (w/w) and 5% (w/w) on a dry basis of the tomato juice. (WPC, SPI, PPI, and ZM) to 500 mL tomato juice</li> </ul>
Juice	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temperature: 130, 160 °C, feed flow rate: 8 &amp; 16 mL/min, feed total solid: 4.66 &amp; 9.11%, air flow rate: 630 &amp; 800 cm<sup>3</sup>/s</li> </ul>
Juice	Foam mat drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Egg albumin (0, 5, 10, 15, 20% w/w). 300 g of foamed juice in tray at 60, 65, 70 °C</li> </ul>
Paste	Vacuum foam mat drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomato paste: maltodextrin ¼ 2.4:1 w/w, e.g. g white: 0.5% w/w, Temperature: 50, 60 &amp; 70 °C, 200 mbar</li> </ul>
Pulp	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Core material: 50, 60, 70%, Wall material: gum arabic: Maltodextrin ¼ 1:1, Flow rate: 4, 6, 9, 12 mL/min. Temperature: 160, 170, 180 °C.</li> </ul>
Tomato	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temperature: 200 &amp; 160 °C, feed flow rate: 3.7 mL/min. Gum: 5-35%, inulin: 5-25%,</li> </ul>
Pulp	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temperature: 110, 120, 130, &amp; 140 °C, Feed flow rate: 1.75 g/min</li> </ul>
Pulp	Spray drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inlet temperature: 130, 140 &amp; 150 °C, Feed flow rate: 1.75 g/min</li> </ul>
Juice	Agitated thin film drying	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feed rate: 0.3 kg/h, Temperature: 60, 70, 80 &amp; 90 °C, Rotation speed: 300, 400, 500 &amp; 600 rpm, Operation pressure: 50 mbar</li> </ul>

### 4.3 ALTRI METODI

In aggiunta alle tecniche precedentemente menzionate, per la produzione di polveri di pomodoro, l'essiccazione a tamburo e l'essiccazione a tappeto di schiuma sono altri potenziali metodi alternativi.

Il processo di essiccazione a tamburo è praticato in funzione del minore consumo specifico di energia, la semplicità di regolazione della temperatura dell'aria e della massa, comodità di installazione, ed il basso costo [116].

L'alimentazione per l'essiccazione a tamburo, il tempo di permanenza, la temperatura e l'angolo del raschiatore sono i parametri di processo da far funzionare in modo ottimale. Milczarek et al.

[117] hanno ottimizzato le condizioni di lavorazione della sansa di pomodoro nell'essiccatore a tamburo azionato dall'energia solare. Le condizioni ottimali si sono verificate con: 20% maltodestrina, 4 minuti di tempo di permanenza e 92 °C come temperatura superficiale. Olorounda et al. [118], hanno riportato che la polvere ottenuta dall'essiccazione a tamburo è superiore a quella ottenuta attraverso l'essiccazione in forno e quella al sole a causa del minore tempo di permanenza [118]. Allo stesso modo, Qiu et al. [119] hanno sfruttato l'essiccazione a tamburo, l'essiccazione a tamburo sottovuoto e l'essiccazione a film sottile agitato per la produzione di purea di pomodoro. È stato osservato che l'essiccazione a tamburo e l'essiccazione a tamburo sotto vuoto hanno trattenuto più composti volatili. L'essiccazione con tappeto di schiuma, d'altra parte, offre il vantaggio di un tasso di essiccazione più veloce rispetto ai metodi convenzionali, ma comporta l'uso obbligatorio di un agente schiumogeno nella formulazione dell'alimentazione del processo e una fase aggiuntiva di schiumatura [120]. In letteratura, per le polveri di pomodoro sono usati come agenti schiumogeni: albumina d'uovo, albume d'uovo, carbossimetilcellulosa, metilcellulosa e latte.

È stato osservato che per l'albumina d'uovo come agente schiumogeno il tasso di essiccazione è risultato aumentare con un aumento della concentrazione dell'agente schiumogeno, oltre una certa concentrazione il tasso di essiccazione è risultato diminuire [121]. L'agente schiumogeno ha anche contribuito alle proprietà fisiche della polvere formata, con una diminuzione della concentrazione, è stato osservato un evidente arrossamento del prodotto finale. Tuttavia, nessun effetto della concentrazione di tale agente schiumogeno è stato visto sul rapporto di reidratazione e sul tasso di essiccazione.

Poiché l'essiccazione con tappeto di schiuma è nota per essere un metodo di essiccazione più veloce, un ulteriore aumento della temperatura di 5 °C riduce il tempo di essiccazione di 30 min. Il licopene e l'acido ascorbico sono le entità termolabili durante la produzione della polvere. Chaux-Gutierrez et al. [122] hanno osservato un effetto protettivo dell'agente schiumogeno sul contenuto di licopene nella polvere di mango essiccata.

Allo stesso modo, Olaniyan et al. [123] hanno osservato che, durante l'essiccazione della pasta di pomodoro, vi è un effetto protettivo dell'acido ascorbico alla concentrazione ottimale dell'agente schiumogeno e al tempo ottimale di formazione della schiuma.

Tuttavia, Kadam et al. [124] non hanno riportato alcun effetto simile sul contenuto di licopene e acido ascorbico per il pomodoro in polvere.

L'applicazione del vuoto insieme all'essiccazione con tappeto di schiuma ha un effetto minimo sul colore e contenuto di carotenoidi [125].

Un altro metodo in fase di studio è l'essiccazione a rigonfiamento, cioè l'accoppiamento dell'essiccatore ad aria calda con il DIC (caduta di pressione controllata istantanea) che aiuta a mantenere la consistenza [128].

Loukt et al. [129] hanno confrontato il campione trattato con DIC con uno solo essiccato ad aria calda. Gli studi hanno mostrato che il campione trattato con DIC presentava un colore visivamente migliore e ha mantenuto la struttura e la forma all'essiccazione [129].

## **5. PRINCIPALI PRETRATTAMENTI UTILIZZATI NELLA PREPARAZIONE DEI PRODOTTI DA ESSICCARE**

### **5.1 IMMERSIONE IN SOLUZIONI: ZUCCHERO, CLORURO DI CALCIO, ACIDO ASCORBICO, BENZOATO DI SODIO E CLORURO DI SODIO**

Sono stati studiati gli effetti sull'essiccazione e su altri parametri di accettabilità quando le fette di pomodoro sono state sottoposte a diversi pretrattamenti prima di iniziare il processo di essiccazione in corrente d'aria calda a temperatura costante di 45 °C. Lo studio comprendeva l'osservazione degli effetti dei livelli di umidità intrinseca nel pomodoro in essiccazione sugli attributi come il colore, la consistenza, il restringimento e l'aspetto. I pretrattamenti consistevano in soluzioni in acqua, di zucchero (1%), cloruro di calcio (1,2%), sale comune (2%), acido ascorbico (0,75%) e benzoato di sodio (0,1%). Le fette di pomodoro, spesse 1 cm, sono state immerse nelle soluzioni specifiche separatamente per 3, 6 e 12 ore. Le fette di pomodoro non trattate sono servite come controllo. L'essiccazione è stata interrotta quando le fette di pomodoro hanno raggiunto livelli di umidità del 30% e del 10%. Il tasso di essiccazione ( $mr = m e^{bx}$  dove:  $mr$  - rapporto di umidità;  $m$  - costante del modello;  $b$  - tasso di essiccazione;  $x$  - tempo, minuto) variava tra -0,007 (zucchero soluzione 1%) e -0,029 (controllo). I pretrattamenti hanno infatti influenzato il ritiro sia al 10 che al 30 % di umidità. L'effetto sulla contrazione è stato più pronunciato al 30 % rispetto al 10 % di umidità livello di umidità. La valutazione visiva e le fotografie suggeriscono che i pretrattamenti con cloruro di calcio e cloruro di sodio avevano una consistenza e un'attrattività visiva migliori rispetto agli altri trattamenti di pre-essiccazione. La durata dell'essiccazione per raggiungere il livello di umidità del 10% variava tra 180,0 e 241,67 minuti.

Sono state osservate variazioni tra i campioni per i parametri di reidratazione e attività dell'acqua (0,462 - 0,550). Si è suggerito che i trattamenti di pre-essiccazione influenzano i

diversi parametri che sono stati studiati e possono aiutare a migliorare il fascino visivo e l'accettabilità.

Tabella 7. Pretrattamenti utilizzati [150].

Solution in water	Concentrations (%)	Durations (hours)	CODES
<b>Sugar</b>	<b>1</b>	12	Sugar 12
		6	Sugar 6
		3	Sugar 3
<b>Calcium Chloride</b>	<b>1</b>	12	CaCl <sub>2</sub> 1% 12
		6	CaCl <sub>2</sub> 1% 6
		3	CaCl <sub>2</sub> 1% 3
<b>Calcium Chloride</b>	<b>2</b>	12	CaCl <sub>2</sub> 2% 12
		6	CaCl <sub>2</sub> 2% 6
		3	CaCl <sub>2</sub> 2% 3
<b>Common Salt (NaCl)</b>	<b>2</b>	12	NaCl <sub>2</sub> 12
		6	NaCl <sub>2</sub> 6
		3	NaCl <sub>2</sub> 3
<b>Ascorbic Acid</b>	<b>0.75</b>	12	Ascorbic Acid 12
		6	Ascorbic Acid 6
		3	Ascorbic Acid 3
<b>Sodium Benzoate</b>	<b>0.1</b>	12	Sodium Benzoate 12
		6	Sodium Benzoate 6
		3	Sodium Benzoate 3
<b>No pretreatment (Control)</b>	-	-	Control

Tabella 8. Tasso medio di essiccazione e restringimento delle fette di pomodoro sottoposte a pretrattamenti selezionati ed essiccate in un essiccatore ad aria [150].

Treatments	Drying Rate (b)	SHRINKAGE <sup>#</sup> (mm.)	
		10%	30%
Sugar 12 <sup>a</sup>	-0.007 <sup>a*</sup>	16.25 <sup>h,i</sup>	17.17 <sup>h,i,j</sup>
Sugar 6	-0.021 <sup>b</sup>	17.05 <sup>h,i</sup>	22.04 <sup>e,f,g,h,i</sup>
Sugar 3	-0.022 <sup>b</sup>	21.76 <sup>d,e,f,g,h</sup>	26.78 <sup>c,d,e,f</sup>
CaCl <sub>2</sub> 1% 12	-0.018 <sup>b</sup>	31.64 <sup>b</sup>	33.73 <sup>b</sup>
CaCl <sub>2</sub> 1% 6	-0.018 <sup>b</sup>	27.54 <sup>b,c,d</sup>	33.30 <sup>b,c</sup>
CaCl <sub>2</sub> 1% 3	-0.023 <sup>b</sup>	27.05 <sup>b,c,d,e</sup>	31.00 <sup>b,c,d</sup>
CaCl <sub>2</sub> 2% 12	-0.022 <sup>b</sup>	25.58 <sup>b,c,d,f</sup>	28.23 <sup>b,c,d,e</sup>
CaCl <sub>2</sub> 2% 6	-0.028 <sup>b</sup>	38.40 <sup>a</sup>	43.48 <sup>a</sup>
CaCl <sub>2</sub> 2% 3	-0.023 <sup>b</sup>	20.62 <sup>e,f,g,h</sup>	23.21 <sup>e,f,g,h</sup>
NaCl <sub>2</sub> 12	-0.022 <sup>b</sup>	17.87 <sup>g,h,i</sup>	18.71 <sup>g,h,i,j</sup>
NaCl <sub>2</sub> 6	-0.022 <sup>b</sup>	24.45 <sup>c,e,d,f,g</sup>	25.49 <sup>d,e,f,g</sup>
NaCl <sub>2</sub> 3	-0.023 <sup>b</sup>	19.15 <sup>f,g,h,i</sup>	17.31 <sup>h,i,j</sup>
Ascorbic Acid 12	-0.028 <sup>b</sup>	12.38 <sup>i</sup>	14.10 <sup>j</sup>
Ascorbic Acid 6	-0.021 <sup>b</sup>	18.90 <sup>f,g,h,i</sup>	20.05 <sup>f,g,h,i,j</sup>
Ascorbic Acid 3	-0.021 <sup>b</sup>	30.44 <sup>b,c</sup>	32.31 <sup>b,c</sup>
Sodium Benzoate 12	-0.029 <sup>b</sup>	20.08 <sup>e,f,g,h</sup>	23.55 <sup>e,f,g,h</sup>
Sodium Benzoate 6	-0.026 <sup>b</sup>	12.74 <sup>i</sup>	15.02 <sup>j</sup>
Sodium Benzoate 3	-0.025 <sup>b</sup>	20.33 <sup>e,f,g,h</sup>	21.15 <sup>f,g,h,i</sup>
<b>Control</b>	<b>-0.029<sup>b</sup></b>	<b>20.45<sup>e,f,g,h</sup></b>	<b>20.68<sup>f,g,h,i,j</sup></b>

Fig. 11 Effetti dei pretrattamenti sulle fette di pomodoro essiccate (3 ore pretrattamento) [150].

Joshi et al.: Effect of Pretreatments on Tomato Slices Dried in Cabinet Air Drier

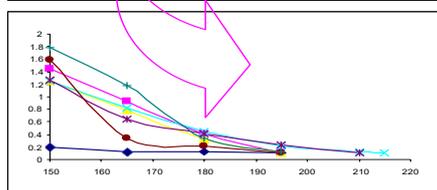
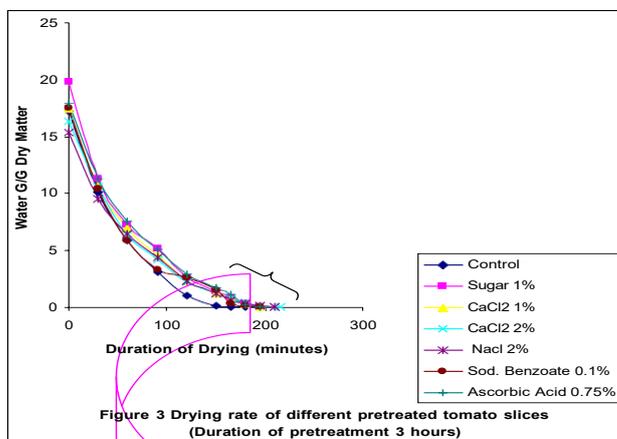


Fig.12 Tasso di disidratazione di diversi tipi di fette (pretrattamento 6 ore) [150].

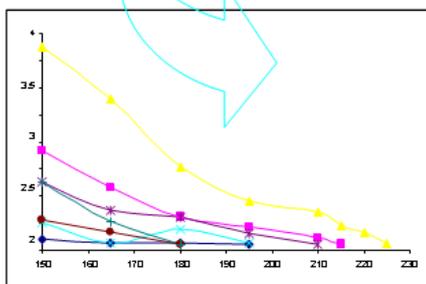
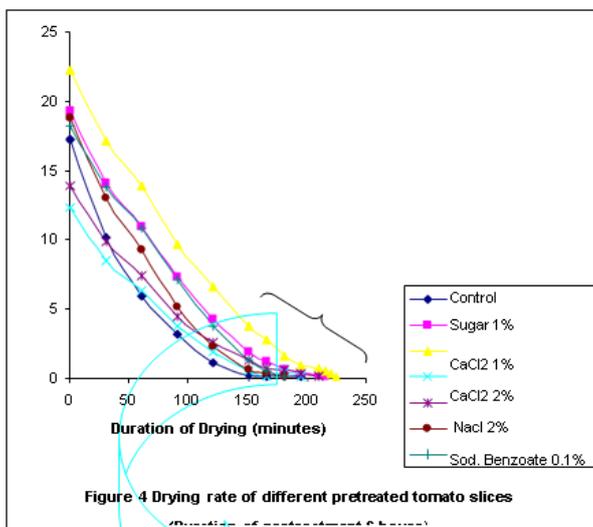


Fig. 13 Tasso di disidratazione di diversi tipi di fette (pretrattamento 12 ore) [150].

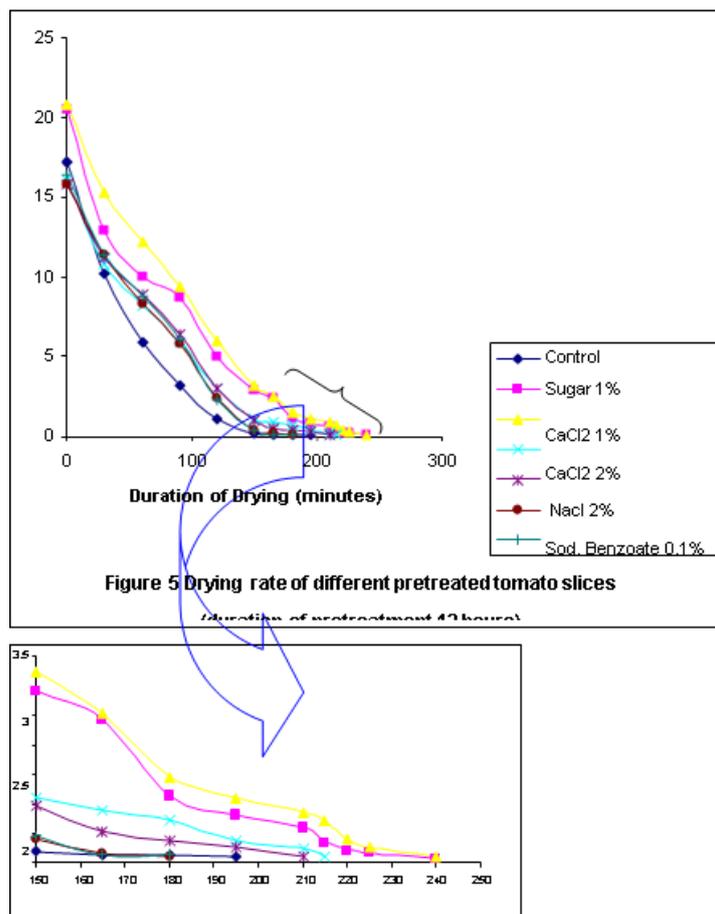


Tabella 9. Descrizione delle fette di pomodoro sottoposte a diversi pretrattamenti ed essiccate in un essiccatore ad aria al 10% di umidità in base alla valutazione visiva [150].

Treatments	Texture	Appearance	Color(-2=deep red +2 light red)
Sugar 12	Thin, Flaky, soft, pliable	Misshapen, broken skin in edges, poor	-2
Sugar 6	Thin, misshapen, weak bodied,	Elongated, broken edges	1
Sugar 3	Thick, pliable,	Misshapen, shrunken, disintegration	1
CaCl2 1% 12	Firm thick pliable	Slight irregular shape	0 (bright)
CaCl2 1% 6	Thick, Good body, Pliable	Regular shape, Compact	0 (bright)
CaCl2 1% 3	Thick, Good body, Pliable	Regular Shape	2 (Chalky)
CaCl2 2% 12	Firm thick pliable	Regular Shape	0 (bright)
CaCl2 2% 6	Firm thick pliable, hard edges	Regular Shape	0 (bright)

CaCl <sub>2</sub> 2% 3	Firm, thick, pliable	Well formed	2 (Chalky)
NaCl <sub>2</sub> 12	Good body, firm, pliable	Regular Shape	0 (bright)
NaCl <sub>2</sub> 6	Good body firm, pliable	Regular Shape	1 (greenish in centre)
NaCl <sub>2</sub> 3	Good body firm, pliable	Well formed	2 (Chalky)
Ascorbic Acid 12	Thin, Flaky, soft, pliable	Misshapen, , shrunken, disintegration, poor	-2
Ascorbic Acid 6	Thin, misshapen, weak bodied,	Misshapen, , shrunken, disintegration, poor	-2
Ascorbic Acid 3	Thick, pliable,	Regular shape, Compact	-1
Sodium Benzoate 12	Thin Shriveled, soft, pliable	Slight irregular shape (compact)	0 (bright)
Sodium Benzoate 6	Thin, pliable, fair body	Regular Shape	0(greenish in centre)
Sodium Benzoate 3	Thin, pliable, fair body	Well formed	0 (Chalky)
Control	Good body, Hard, brittle	Slight irregular shape, disintegration, broken skin in edges	-1

Tabella 10. Descrizione delle fette di pomodoro sottoposte a diversi pretrattamenti ed essiccate in un essiccatore ad aria al 30% di umidità in base alla valutazione visiva [150].

Treatments	Texture	Appearance	Color(-2=deep red +2 lightred)
Sugar 12	Thin, Flaky, soft, pliable	Misshapen, broken skin in edges, poor	-1
Sugar 6	Thin, misshapen, weak bodied,	Elongated, broken edges	0
Sugar 3	Thick, pliable,	Misshapen, shrunken, disintegration	0
CaCl <sub>2</sub> 1% 12	Firm thick pliable	Slight irregular shape	0 (bright)
CaCl <sub>2</sub> 1% 6	Thick, Good body, Pliable	Regular shape, Compact	0 (bright)
CaCl <sub>2</sub> 1% 3	Thick, Good body, Pliable	Regular Shape	2 (Chalky)

CaCl <sub>2</sub> 2% 12	Firm thick pliable	Regular Shape	0 (bright)
CaCl <sub>2</sub> 2% 6	Firm thick pliable, hard edges	Regular Shape	0 (bright)
CaCl <sub>2</sub> 2% 3	Firm, thick, pliable	Well formed	2 (Chalky)
NaCl 12	Good body, firm, pliable	Regular Shape	0 (bright)
NaCl 6	Good body firm, pliable	Regular Shape	1 (greenish in centre)
NaCl 3	Good body firm, pliable	Well formed	2 (Chalky)
Ascorbic Acid 12	Thin, Flaky, soft, pliable	Misshapen, , shrunken, disintegration	-2
Ascorbic Acid 6	Thin, misshapen, weak bodied,	Misshapen, , shrunken, disintegration	-2
Ascorbic Acid 3	Thick, pliable,	Regular shape, Compact	-1
Sodium Benzoate 12	Thin Shriveled, soft, pliable	Slight irregular shape	0 (bright)
Sodium Benzoate 6	Thin, pliable, fair body	Regular Shape	0 (greenish in centre)
Sodium Benzoate 3	Thin, pliable, fair body	Well formed	0 (Chalky)
Control	Good body, Hard, brittle	Well formed	0

Tabella 11. Durata dell'essiccazione, rapporto di reidratazione e attività dell'acqua delle fette di pomodoro essiccate all'aria sottoposte a diversi pretrattamenti [150].

Pretreatments	Hours of Soaking	Duration of Drying (minutes)	Rehydration Ratio (g H <sub>2</sub> O/10 g Dry Sample)	Water Activity $a_w$
Sugar	12	233.33 <sup>a,b</sup>	36.61 <sup>f</sup>	0.513 <sup>e</sup>
	6	215.00 <sup>b,c,d</sup>	38.94 <sup>d</sup>	0.478 <sup>g,h</sup>
	3	195.00 <sup>d,e,f</sup>	33.07 <sup>h</sup>	0.470 <sup>i,j</sup>
CaCl <sub>2</sub> 1%	12	241.67 <sup>a</sup>	21.21 <sup>l</sup>	0.535 <sup>b,c</sup>
	6	225.00 <sup>a,b,c</sup>	29.82 <sup>i</sup>	0.473 <sup>h,i</sup>
	3	195.00 <sup>d,e,f</sup>	21.85 <sup>l</sup>	0.467 <sup>j,k</sup>
CaCl <sub>2</sub> 2%	12	215.00 <sup>b,c,d</sup>	26.04 <sup>k</sup>	0.539 <sup>b</sup>
	6	198.33 <sup>d,e,f</sup>	21.19 <sup>l</sup>	0.466 <sup>j,k</sup>
	3	213.33 <sup>c,d</sup>	33.06 <sup>h</sup>	0.479 <sup>g,h</sup>
NaCl <sub>2</sub>	12	210.00 <sup>c,d,e</sup>	26.39 <sup>k</sup>	0.550 <sup>a</sup>
	6	210.00 <sup>c,d,e</sup>	27.96 <sup>j</sup>	0.469 <sup>j,k</sup>
	3	200.00 <sup>d,e,f</sup>	37.66 <sup>e</sup>	0.481 <sup>g</sup>
Ascorbic Acid	12	190.00 <sup>e,f</sup>	38.23 <sup>d,e</sup>	0.524 <sup>d</sup>
	6	180.00 <sup>f,g</sup>	38.56 <sup>d</sup>	0.455 <sup>l,m</sup>
	3	195.00 <sup>d,e,f</sup>	33.04 <sup>h</sup>	0.463 <sup>j,k</sup>
Sodium Benzoate	12	165.00 <sup>g</sup>	50.59 <sup>a</sup>	0.528 <sup>c,d</sup>
	6	180.00 <sup>f,g</sup>	40.28 <sup>c</sup>	0.462 <sup>k,l</sup>
	3	190.00 <sup>e,f</sup>	42.29 <sup>b</sup>	0.455 <sup>m</sup>
Control	0	195.00 <sup>d,e,f</sup>	34.29 <sup>g</sup>	0.499 <sup>f</sup>

Tasso di essiccazione: Non sono state osservate differenze nei tassi di essiccazione dei diversi pretrattamenti. Tuttavia, le fette di pomodoro sottoposte al pretrattamento con zucchero per 12 ore hanno mostrato un tasso di essiccazione significativamente diverso dalle altre. Anche nell'esperimento precedente i tassi di essiccazione di tutte le forme di pezzi di pomodoro sono risultati simili.

Ritiro: Sono state osservate differenze significative tra i campioni, suggerendo fortemente che i pretrattamenti hanno di fatto influenzato il restringimento sia nella fase del 10 che del 30% di umidità. Quando le fette di pomodoro sono state messe a bagno per 3 ore, il ritiro è rimasto uguale al controllo quando sono state essiccate fino al 10% di umidità. Ad eccezione delle fette che sono state pretrattate con una soluzione all'1% di CaCl<sub>2</sub>, nel qual caso il restringimento è

risultato maggiore. Questa tendenza non è stata osservata nella fase in cui le fette sono state essiccate fino al 30% di umidità; è stato osservato un miscuglio di risultati. Le fette pretrattate con il 2% di  $\text{CaCl}_2$  per 6 ore hanno mostrato il ritiro maggiore.

Effetto della durata dell'ammollo delle fette di pomodoro in diversi pretrattamenti:

Tasso di essiccazione: È stato studiato l'effetto della durata dell'ammollo delle fette di pomodoro in diversi pretrattamenti. La durata dell'ammollo non ha avuto un effetto sui tassi di essiccazione delle fette di pomodoro sottoposte ad ammollo in soluzioni zuccherine, di cloruro di calcio all'1% o al 2% di concentrazione, di acido ascorbico o soluzione di benzoato di sodio (figura 2). Gli effetti in questi pretrattamenti erano simili a quelli osservati nel controllo. Tuttavia, le fette di pomodoro imbevute di soluzione zuccherina per 12 ore hanno mostrato tassi di essiccazione inferiori a quelli osservati in altri trattamenti o durate di immersione, suggerendo un effetto osmotico. Le curve di essiccazione per le tre durate di ammollo nei diversi pretrattamenti che sono mostrate nelle figure 3 (3 ore), 4 (6 ore), 5 (12 ore) danno una buona indicazione degli effetti osservati.

Restringimento: Quando le fette sono state essiccate al 30% di umidità, si è osservato un maggiore restringimento per le fette che sono state messe a bagno per periodi più lunghi (6 e 12 ore). Le differenze si sono appianate a livelli di umidità del 10%. Effetti simili sono stati osservati anche per altri pretrattamenti (figura 2).

Descrizione delle fette di pomodoro sottoposte a diversi pretrattamenti in base alla valutazione visiva: Uno spoglio delle figure 3 e 4 suggerisce che le fette pretrattate con cloruro di calcio (concentrazioni dell'1 e del 2 %) avevano un buon aspetto visivo se si consideravano la consistenza e il colore. Il pretrattamento sottoposto a 3 ore di ammollo ha avuto un buon effetto. Anche il pretrattamento con cloruro di sodio ha dato buoni risultati. Questi due trattamenti sono stati percepiti come migliori del controllo. Gli altri trattamenti (zucchero, acido ascorbico e benzoato di sodio) hanno dato come risultato un prodotto a scaglie e dal corpo sottile. Tuttavia, i pretrattamenti con soluzioni di zucchero e acido ascorbico hanno migliorato il colore. Nel caso del benzoato di sodio non ci sono stati questi effetti.

Durata dell'essiccazione per raggiungere il 10% di umidità, rapporto di reidratazione e attività dell'acqua delle fette di pomodoro sottoposte a diversi pretrattamenti: I pretrattamenti hanno influenzato il tempo di essiccazione delle fette. Immergendo le fette per tre ore in diversi pretrattamenti, la durata dell'essiccazione è stata ridotta rispetto ai tempi di ammollo più lunghi. Le fette che sono state lasciate in ammollo per 3 ore hanno impiegato lo stesso tempo di asciugatura del controllo. Solo il pretrattamento con benzoato di sodio ha richiesto meno tempo per asciugare fino a un livello di umidità del 10% rispetto al controllo. Hawlader et al. (1991) hanno impiegato temperature tra 40 e 80 °C, Shi et al. (1997) hanno usato 95 °C, Olorunda et al. (1990) hanno usato 60-80°C e Zanoni et al. (1999) hanno essiccato le metà di pomodoro a 80 e 110°C. L'essiccazione ha richiesto da poche a più di 10 ore. L'attività dell'acqua ( $a_w$ ) gioca un ruolo importante nell'influenzare l'imbrunimento non enzimatico e la crescita microbica. La maggior parte dei microrganismi di deterioramento sono inibiti negli alimenti a bassa umidità ( $a_w < 0.60$ ) (Troller e Christian 1978). L'attività dell'acqua delle fette era bassa. Alcuni pretrattamenti hanno avuto un effetto di abbassamento del  $a_w$ . La reidratazione è un parametro importante per una disidratazione efficace. Le osservazioni del materiale reidratato sono fornite nella figura 8 ed espresse come g di acqua in 10 grammi di campioni essiccati. I campioni avevano una buona capacità di reidratazione. L'attività dell'acqua e il rapporto di reidratazione hanno mostrato variazioni dovute sia alla durata dell'ammollo che al tipo di pre-trattamento, ma erano entro i limiti accettabili (figura 8).

## 5.2 IMMERSIONE IN SOLUZIONE DI CLORURO DI SODIO

I campioni di pomodoro fresco sono stati selezionati, classificati, lavati in acqua e poi tagliati a metà e in quarti prima del pretrattamento. Le fette di pomodoro sono state immerse in una soluzione di NaCl al 10% per 3 minuti, secondo Latapi e Barrett (2006).

La disidratazione è stata effettuata in un essiccatore a tunnel solare. Il tempo di essiccazione dei pomodori affettati in quarti è diminuito fino a circa l'8,3% rispetto ai campioni di pomodoro tagliati a metà. L'effetto di trattamento dei campioni di pomodoro con soluzione salina non era significativo sulla riduzione del tempo di essiccazione. Un più alto tasso di essiccazione è stato

calcolato per i quarti di campione rispetto alle metà, nell'essiccatore a tunnel solare. Tra tutti i modelli testati, il modello di Midilli et al. è stato il migliore modello descrittivo per l'essiccazione nel tunnel solare dei pomodori.

L'analisi del colore ha sottolineato che se i pomodori sono pretrattati con una soluzione di NaCl al 10%, dovrebbero essere tagliati in quarti per una migliore qualità. Questo perché si è notato che il trattamento del campione di pomodoro tagliato a metà non ha alcun impatto significativo sul colore e sulla qualità dei campioni di pomodoro.

Fig. 14 variazione del tasso di umidità in relazione al tempo di essiccazione [11].

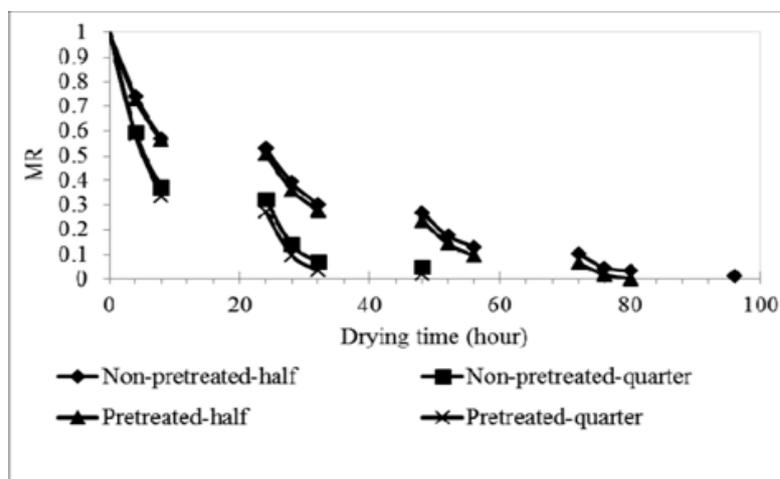
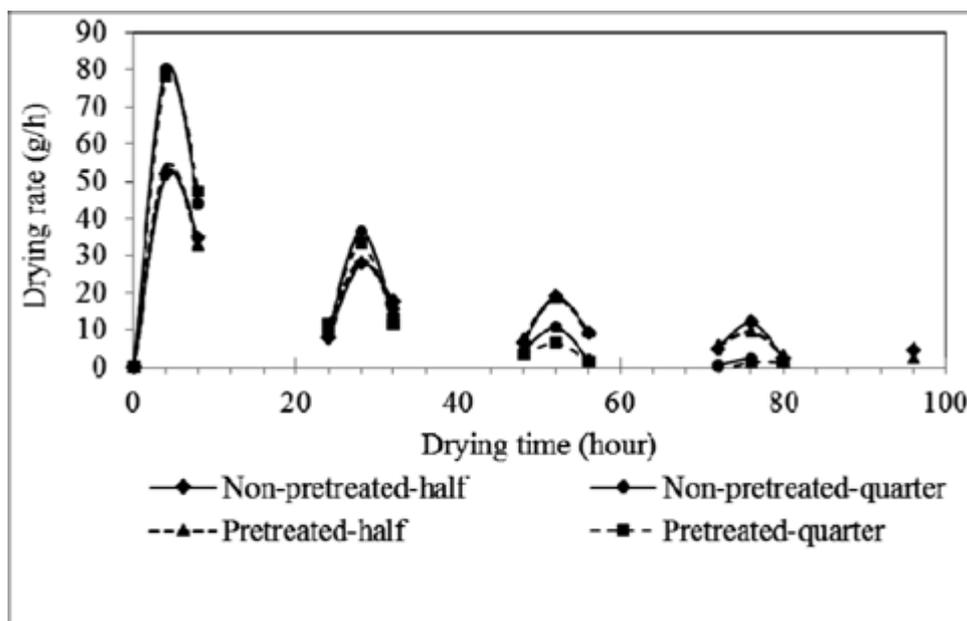


Fig.15 Variazione del tasso di essiccazione in funzione del tempo di essiccazione [11].



In un altro studio [151] effettuato i pomodori sono stati pretrattati con soluzioni osmotiche (NaCl e saccarosio) a diverse concentrazioni e poi essiccati con aria calda (75C, 1,5 m/s), sottovuoto (55C, 75 kPa) o con aria calda seguita da un trattamento a microonde (400 W, 10 s). Gli effetti del pretrattamento e del metodo di essiccazione sulla cinetica di essiccazione sono stati esaminati.

L'effetto del pretrattamento osmotico in combinazione con l'aria calda, il vuoto e i metodi di essiccazione a microonde ad aria calda in relazione a, il colore e le proprietà di texture delle metà di pomodoro, sono stati studiati. Il pretrattamento osmotico ha ridotto il tempo di essiccazione in tutti i metodi di essiccazione, ma ha avuto più effetto sull'essiccazione ad aria calda (28% di riduzione del tempo) rispetto agli altri metodi. I risultati hanno mostrato che l'uso della disidratazione osmotica prima dell'essiccazione potrebbe preservare meglio il colore dei prodotti essiccati. Questo effetto è più considerevole quando si usa l'essiccazione ad aria calda o l'essiccazione sotto vuoto. Per quanto riguarda la durezza, l'applicazione del pretrattamento osmotico previene la comparsa dell'indurimento durante l'essiccazione. Il suo effetto è più evidente nel caso dell'essiccazione ad aria calda-microonde.

L'applicazione della disidratazione osmotica in combinazione con l'essiccazione ad aria calda e microonde diminuisce la durezza della consistenza dei pomodori secchi del 60%. Così, il pretrattamento osmotico riduce il tempo di essiccazione e migliora la consistenza e il colore dei campioni essiccati.

Tra i diversi metodi di essiccazione, l'essiccazione ad aria calda e microonde sembra essere un metodo più adatto a preservare meglio gli attributi di qualità dei pomodori secchi riducendo il tempo di essiccazione, la durezza e la consistenza.

Fig. 16 Perdita di acqua e aumento della frazione secca durante la disidratazione osmotica delle fette di pomodoro [151].

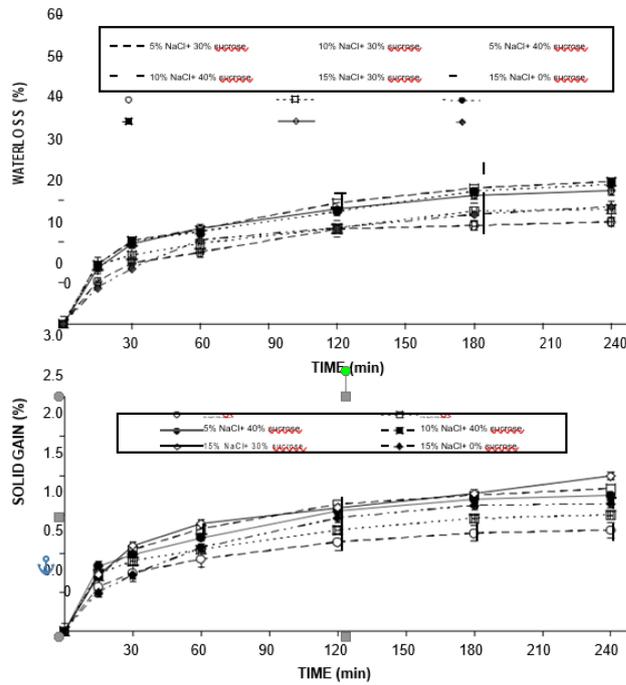


FIG. 1. WATER LOSS AND SOLID GAIN DURING OSMOTIC DEHYDRATION OF TOMATO

Fig.17 Curve di disidratazione, ottenute tramite disidratazione in corrente d'aria, per fette di pomodoro fresco e pretrattato [151].

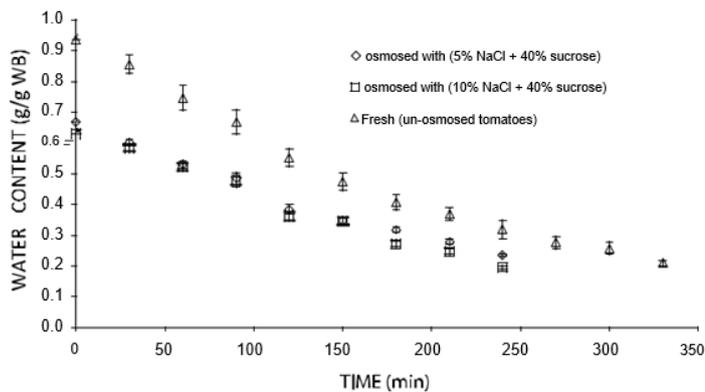


FIG. 2. HOT-AIR DRYING CURVES FOR FRESH AND PRETREATED TOMATO HALVES  
WR wet basis

Fig. 18 Tassi di disidratazione sotto vuoto per pomodori freschi e pretrattati [151].

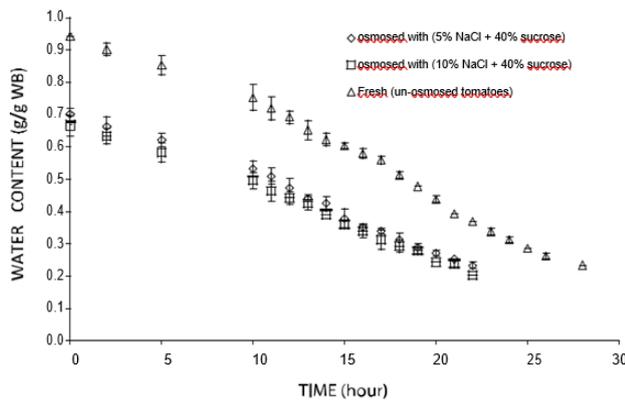


FIG. 3. VACUUM DRYING CURVES FOR FRESH AND PRETREATED TOMATO HALVES WB, wet basis.

Tabella 12. Effetti del metodo di essiccazione e dei pretrattamenti sul colore [151]

EFFECT OF DRYING METHOD AND PRETREATMENT TOTAL COLOR DIFFERENCE ( $\Delta E$ ), COLOR QUALITY (*a/b*) AND HUE ANGLE OF TOMATO SAMPLES

Drying method	Pretreatment	$\Delta E$	<i>a/b</i>	Hue angle
Fresh tomato	–	0.00 <sup>c</sup>	1.64 ± 0.05 <sup>f</sup>	31.37 ± 0.78 <sup>†</sup>
	S <sub>3</sub> *	0.64 ± 0.03 <sup>d</sup>	1.64 ± 0.08 <sup>f</sup>	31.37 ± 0.92 <sup>a</sup>
	S <sub>4</sub> *	0.91 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.29 ± 0.10 <sup>cd</sup>	26.27 ± 1.24 <sup>bc</sup>
Hot-air drying	–	1.94 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.09 ± 0.10 <sup>a</sup>	17.93 ± 0.54 <sup>e</sup>
	S <sub>3</sub>	1.62 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.12 ± 0.15 <sup>cd</sup>	25.25 ± 1.57 <sup>cd</sup>
	S <sub>4</sub>	1.74 ± 0.15 <sup>b</sup>	2.74 ± 0.12 <sup>b</sup>	20.04 ± 0.81 <sup>ef</sup>
Vacuum drying	–	2.92 ± 0.20 <sup>a</sup>	3.34 ± 0.15 <sup>a</sup>	16.66 ± 0.76 <sup>e</sup>
	S <sub>3</sub>	2.75 ± 0.20 <sup>a</sup>	2.02 ± 0.20 <sup>de</sup>	26.33 ± 2.27 <sup>bc</sup>
	S <sub>4</sub>	2.72 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.19 <sup>c</sup>	22.70 ± 1.63 <sup>de</sup>
Hot-air microwave drying	–	1.98 ± 0.25 <sup>b</sup>	2.03 ± 0.18 <sup>de</sup>	26.22 ± 2.03 <sup>bc</sup>
	S <sub>3</sub>	1.73 ± 0.25 <sup>b</sup>	1.80 ± 0.24 <sup>ef</sup>	29.05 ± 3.28 <sup>ab</sup>
	S <sub>4</sub>	1.83 ± 0.30 <sup>b</sup>	2.15 ± 0.29 <sup>cd</sup>	24.94 ± 3.00 <sup>cd</sup>

\* S<sub>3</sub>: 40% sucrose + 5% NaCl and S<sub>4</sub>: 40% sucrose + 10% NaCl.

† Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95% confidence level ( $\alpha = 0.05$ ).

Fig.19 Curve di essiccazione ottenute mediante metodo a microonde [151].

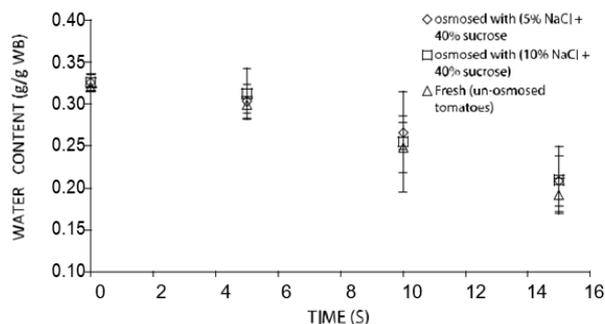


FIG. 4. MICROWAVE CONVECTIVE DRYING CURVES FOR FRESH AND PRETREATED TOMATO HALVES WB, wet basis.

### 5.3 MACERAZIONE CARBONICA

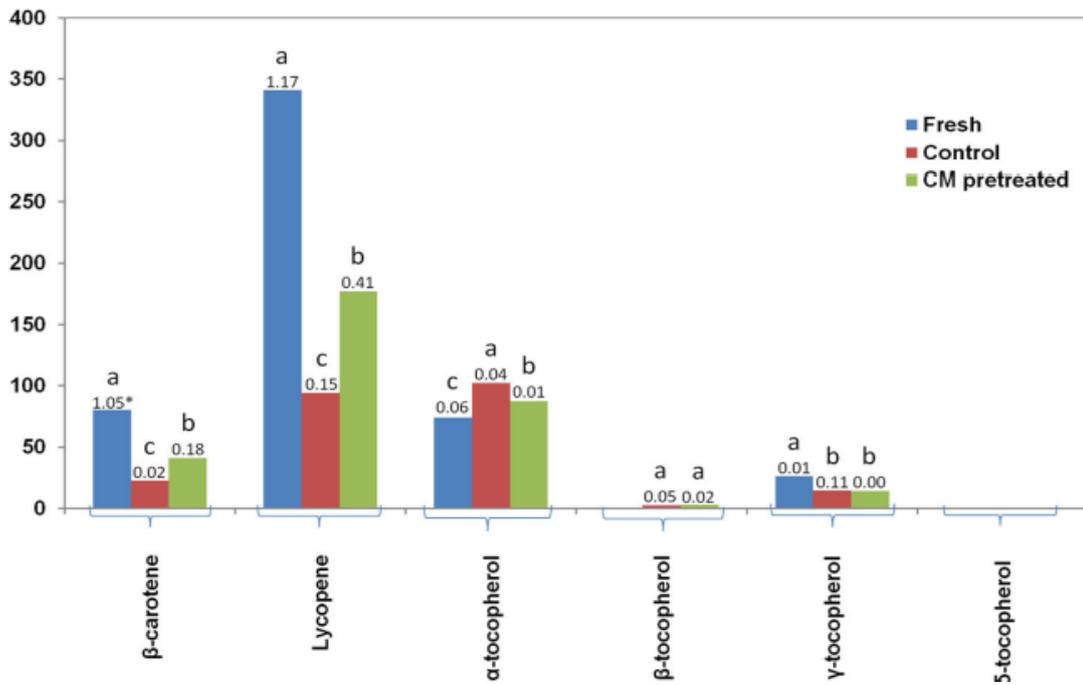
La tecnica chiamata macerazione carbonica (CM) è stata inventata da Flanzy et al. (1987) [183] per l'uso nel processo di produzione del vino per migliorare il corpo e l'aroma del prodotto finale. La tecnica CM è stata usata anche nel cabernet, nel succo d'uva e nella produzione di zucchero [184,185]. In tempi recenti, la CM ha iniziato a essere studiata come metodo di pretrattamento per ridurre il tempo di essiccazione dell'uva passa [186] e dei peperoncini [187]. I cambiamenti nelle prestazioni di essiccazione di questi vegetali sono stati associati con l'effetto del CM su alcune reazioni fitochimiche avvenute nel tessuto vegetale come risultato del pretrattamento CM [185].

Brevemente, queste includono: che il CM diminuisce il pH del citoplasma, la struttura cellulare viene decomposta (parete cellulare collassata, capillare rotto, vacuolo rotto), parete cellulare e la permeabilità della membrana sono aumentate, gli alti polimeri vengono scomposti in polimeri più piccoli e l'acqua legata viene diminuita e trasformata in acqua libera. Inoltre, è stato visto che il CM assicurava una ritenzione di grandi quantità di alcuni composti bioattivi e produceva un prodotto con maggiore qualità e capacità antiossidante.

Il pretrattamento CM è stato studiato in un recente lavoro di ricerca [21], in cui il suo effetto sulle caratteristiche di essiccazione dei quarti di pomodoro è stato dimostrato. Il pretrattamento CM è stato usato per i quarti di pomodoro prima del processo di essiccazione convenzionale effettuato a 60 °C con 1,3 m/s di velocità dell'aria. Gli effetti del pretrattamento con CM su alcuni antiossidanti e nutrizionali selezionati nei quarti di pomodoro sono stati studiati. Il trattamento CM è stato impiegato in condizioni ottimali che sono state precedentemente identificate come 0.15 MPa, 40 h e 40 °C applicando la metodologia della superficie di risposta per minimizzare il tempo totale richiesto per ridurre il contenuto di umidità dei pomodori secchi sotto il livello 10%. Il pretrattamento CM applicato prima dell'essiccazione dei pomodori si è rivelata una tecnica promettente per ridurre l'effetto negativo dell'essiccazione sui contenuti di carotenoidi, flavonoidi totali e fenoli totali, nonché sull'attività antiossidante totale. Non vi è alcuna differenza significativa tra i contenuti di tocoferolo ( $\beta$ -,  $\gamma$ - e  $\delta$ -tocoferoli) di campioni di controllo e trattati con CM, tranne che per l' $\alpha$ -tocoferolo che è più alto in quello di controllo. L'effetto positivo del CM è stato attribuito alla liberazione dei composti bioattivi dal tessuto vegetale e

dal mezzo cellulare. Inoltre, è stato pensato che l'inattivazione degli enzimi ossidativi, degli enzimi idrolitici e l'induzione di alcune reazioni biochimiche favorevoli dovute al trattamento con CM hanno anch'esse contribuito a questi risultati incoraggianti.

Fig.20 Contenuto di vari carotenoidi nei diversi campioni [21].



## 5.4 ACIDI ORGANICI

Gli effetti dei metodi di essiccazione, vale a dire l'essiccazione ad aria calda (a 65, 75 e 85°C di temperatura di essiccazione e 1,5 e 2,5 m/s di velocità dell'aria), l'essiccazione sotto vuoto, l'essiccazione per congelamento e l'essiccazione al sole; e i pretrattamenti, ovvero l'immersione nell'1% di acido ascorbico + 1% di acido citrico (EPSA) e immersione in metabisolfito di sodio al 2% (EPSM) dopo l'applicazione di una soluzione di oleato di etile al 2% + 4% di soluzione di carbonato di potassio sulla ritenzione di licopene e sulle proprietà di colore dei campioni di pomodoro essiccato sono stati studiati [139].

I valori del contenuto di licopene sono stati determinati con il metodo HPLC e i parametri del colore ( $L^*a^*b^*$  e indice di giallo) sono stati misurati direttamente da un colorimetro Hunter Lab. L'effetto dei metodi di essiccazione e dei pretrattamenti su alcuni parametri di qualità come la ritenzione del licopene e i cambiamenti di colore che sono i più importanti parametri di qualità del pomodoro essiccato sono stati approfonditi. I risultati hanno mostrato che il licopene e le caratteristiche di qualità del colore dei campioni di pomodoro differiscono a seconda dei metodi di essiccazione e metodi di pretrattamento utilizzati. Il massimo contenuto di licopene è stato determinato nei pomodori liofilizzati e i pomodori essiccati al sole hanno seguito questi campioni. Soprattutto il pretrattamento EPSA ha aumentato la quantità di licopene nel pomodoro secco in seguito ai metodi di essiccazione ad alta temperatura.

Questo dato, rispetto al pretrattamento EPSM è influenzato dal fatto che il metabisolfito di sodio ad alta temperatura vaporizza velocemente e pertanto il suo effetto antiossidante sul licopene dura meno tempo. D'altra parte, l'essiccazione dei pomodori a bassa temperatura, cioè 65°C, con i metodi vacuum drying o hot air drying (a 1.5 m/s drying velocità dell'aria) ha dato risultati piuttosto buoni per quanto riguarda la ritenzione di licopene.

Pertanto, l'aria calda come metodo di essiccazione, (a 65°C di temperatura dell'aria di essiccazione e velocità dell'aria di essiccazione 1.5 m/s) dopo il pretrattamento EPSA può essere proposto come metodo di essiccazione, in particolare rispetto:

- Liofilizzazione molto costosa
- Rischio di contaminazione durante l'essiccazione al sole
- il tempo di essiccazione più lungo del metodo sotto vuoto rispetto all'aria calda

Secondo i valori medi di L\*, a\* e b\*, si può concludere che tutti i pretrattamenti che sono stati applicati in questa ricerca hanno avuto successo nel mantenere il colore. D'altra parte, è stato determinato che non c'è differenza tra i parametri di colore dei campioni di pomodoro che sono stati pretrattati con EPSA e EPSM per quanto riguarda i valori a\* e cioè rosso.

Tutti i valori di colore per i metodi di essiccazione sottovuoto sono stati trovati inferiori rispetto agli altri, accoppiato ad un lungo tempo di asciugatura. Considerato quanto osservato: l'aria calda di essiccazione a 65°C e 1,5 m/s di velocità dell'aria, dopo i pretrattamenti EPSA o EPSM, può essere suggerito come metodo di essiccazione del pomodoro per preservare le proprietà del colore e il contenuto di licopene [139].

Tabella 13. Variazioni del contenuto in licopene [139].

**Changing of lycopene content with the different drying processes and pretreatments**

Drying methods	Pre-treatment	Drying time (Final moisture content: 10 % ), hours:min	Lycopene content, mg/100g.fw	Mean values of Lycopene Content	Dry matter, %	Lycopene content, mg/100g.dm	Retention of lycopene in dry matter, %
Fresh tomato			7.41			145.29	
AD (65°C; fr:1.5m/s)	NPT	13	39.76 g		90.67	43.85	30.18
	EPSA	12:30	38.04 h	38.15 d	90.04	42.24	29.07
	EPSM	13:30	36.65 j		89.22	41.08	28.27
AD (65°C; fr:2.5m/s)	NPT	12	29.35 n		90.54	32.42	22.31
	EPSA	13	33.23 l	33.64 f	90.66	36.65	25.22
	EPSM	12.5	38.34 h		89.95	42.62	29.28
AD (75°C; fr:1.5m/s)	NPT	12	21.93 r		89.4	24.53	16.85
	EPSA	9	20.27 t	21.02 j	90.25	22.45	15.43
	EPSM	9	20.85 st		90.06	23.15	15.9
AD (75°C; fr:2.5m/s)	NPT	11	23.96 p		89.8	26.68	18.33
	EPSA	10	22.07 r	22.53 i	90.29	24.44	16.79
	EPSM	8:30	21.57 rs		89.96	23.98	16.48
AD (85°C; fr:1.5m/s)	NPT	10	24.78 p		88.89	27.88	19.16
	EPSA	9	26.02 o	24.17 h	90.84	28.64	19.68
	EPSM	7	21.71 rs		91.17	23.81	16.36
AD (85°C; fr:2.5m/s)	NPT	8	23.04 q		89.73	25.68	17.62
	EPSA	7	35.31 k	30.13 g	91.14	38.74	26.62
	EPSM	8	32.06 m		90.51	35.41	24.33
VD 65°C	NPT	51	35.74 k		89.94	39.73	27.30
	EPSA	49	47.29 d	42.51 c	89.54	52.81	32.49
	EPSM	49	44.52 f		87.56	50.84	30.59
VD 75°C	NPT	47:30	37.56 hi		89.28	42.06	25.81
	EPSA	38	37.13 ij	37.49 e	87.18	42.59	29.26
	EPSM	45	37.79 hi		89.42	42.26	29.04
FD	NPT	23	59.84 a		90.34	66.24	45.51
	EPSA	21:30	51.76 b	54.24 a	89.45	57.86	39.75
	EPSM	22:30	51.12 b		91.77	55.70	35.12
SD	NPT	57	39.31 g		90.47	43.45	29.85
	EPSA	55	45.61 e	44.50 b	91.32	49.94	34.31
	EPSM	52	48.58 c		91.93	52.84	36.32
<b>LSD<sub>0.05</sub></b>		<b>0.8867908</b>	<b>0.5119889</b>				
	NPT		33.53 c				
	EPSA		35.67 a				
	EPSM		35.32 b				

Different letters show that means are significant statistically (P<0.05)

Tabella 14. Variazione dei parametri di colore [139].

**Table 8**  
**Changing of product color quality with drying process**

Hot air drying temperature, °C	Air velocity, m/s	Applications	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta E^*$
65	1.5	NPT	-11.75	-2.28	-11.53	-9.94	16.62
		EPSA	-6.35	-4.35	-5.35	-6.89	9.37
		EPSM	-2.15	-1.29	0.66	-0.30	2.59
	2.5	NPT	-8.67	-5.16	-8.66	-9.93	13.30
		EPSA	-6.26	-3.47	-5.16	-6.18	8.82
		EPSM	-3.51	-2.04	-1.21	-2.23	4.24
75	1.5	NPT	-9.90	-4.60	-7.89	-8.98	13.47
		EPSA	-2.99	-4.03	-2.69	-4.63	5.69
		EPSM	-0.83	-1.54	0.38	-0.67	1.79
	2.5	NPT	-5.32	-4.40	-6.32	-7.67	9.36
		EPSA	-7.15	-4.00	-3.55	-5.28	8.93
		EPSM	0.22	-4.24	-1.38	-3.71	4.46
85	1.5	NPT	-9.06	-5.88	-8.07	-9.96	13.48
		EPSA	-5.23	-5.11	-3.03	-5.55	7.91
		EPSM	-5.51	-6.48	-3.39	-6.66	9.16
	2.5	NPT	-7.48	-8.98	-7.32	-1.31	13.79
		EPSA	-7.20	-4.94	-3.46	-5.79	9.39
		EPSM	-2.59	-5.65	-0.40	-3.75	6.23
Vacuum Drying							
65		NPT	-21.47	-15.41	-20.93	-25.90	33.71
		EPSA	-21.55	-13.72	-17.68	-22.36	31.07
		EPSM	-24.33	-13.70	-18.61	-23.03	33.56
75		NPT	-24.70	-17.95	-22.36	-28.66	37.85
		EPSA	-19.54	-8.53	-16.37	-17.81	26.88
		EPSM	-23.01	-17.98	-22.20	-28.56	36.68
Freeze Drying							
		NPT	20.34	-10.37	0.50	-5.49	22.84
		EPSA	23.81	-10.48	2.64	-3.67	26.15
		EPSM	24.35	-9.61	2.99	-2.95	26.35
Sun Drying							
		NPT	-17.01	-1.04	-19.49	-13.78	25.89
		EPSA	-12.50	-6.22	-20.29	-18.53	24.63
		EPSM	-11.20	0.03	-14.80	-10.24	18.56

samples. On the other hand YI values for vacuum, freeze and sun dried samples were found lower than those of hot air dried samples. High Chroma

values (C) of freeze dried samples and low chroma values of vacuum and sun dried samples support the high L\* values of freeze dried samples and low

## 5.5 BLANCHING

Il blanching è un metodo efficace per pretrattare i campioni da sottoporre all'essiccazione [190]. Il blanching è solitamente condotto utilizzando acqua calda a temperature superiori a 80 °C, e l'obiettivo principale è quello di inattivare gli enzimi che deteriorano i prodotti durante la lavorazione e la conservazione. Inoltre, questo trattamento migliora il tempo di essiccazione perché le membrane cellulari si rompono e il tasso di spostamento dell'umidità aumenta [190].

Tuttavia, il trattamento di scottatura degrada la pectina e cambia le strutture dei tessuti nei campioni. La struttura del tessuto contribuisce alla consistenza ed è un importante determinante della qualità della frutta e della verdura secca.

Le pectine sono polisaccaridi complessi presenti nella parete cellulare, soprattutto nella lamella centrale. Il componente principale delle pectine è l'omogalatturonano (HG), un polimero lineare composto da acidi D-galatturonici (GalAs) uniti da legami glicosidici  $\alpha$ -1,4. Alcuni GalAs che comprendono HG hanno un gruppo carbossilico metil-esterificato e contribuiscono alla formazione di reti di pectina intra ed intermolecolari. Per esempio, la pectina con un basso grado di metilesterificazione si collega intra e intermolecolarmente attraverso il  $\text{Ca}^{2+}$  per formare un gel. Pertanto, la parete cellulare diventa forte. Tuttavia, il riscaldamento in soluzione e le attività degli enzimi, come pectina metilesterasi (PME), poligalatturonasi (PG) e pectina liasi (PL), causano l'idrolisi e la  $\beta$ -eliminazione della pectina, che porta ad ammorbidire la parete cellulare. I cambiamenti nella pectina e l'ammorbidimento per scottatura sono stati riportati in studi precedenti. Pertanto, i dati precedenti suggeriscono che la scottatura impedisce l'indurimento delle pareti cellulari della frutta e della verdura.

La microscopia a forza atomica (AFM) ha permesso l'osservazione delle nanostrutture di pectina. In studi passati, le pectine di diverse verdure e frutta, come le carote e pesche sono state osservate tramite AFM. Questi studi si sono concentrati su frutta e verdura fresca; pertanto, gli effetti di fasi di lavorazione (come la scottatura e l'essiccazione) sulle pectine non sono conosciuti bene. La determinazione di questi effetti può consentire il controllo della texture della frutta e della verdura secca per soddisfare le preferenze dei consumatori.

In uno studio [190] condotto sui cachi, sono stati studiati gli effetti qualitativi che il blanching a diverse temperature ha avuto sui campioni, prima della disidratazione in corrente d'aria. Il pretrattamento ha ridotto il tasso di disidratazione durante l'essiccazione ad aria calda.

I cambiamenti nel contenuto di umidità dei campioni durante l'essiccazione sono stati misurati a 40, 50, 60 e 70 °C. Indipendentemente dal fatto che i campioni siano stati scottati prima dell'essiccazione, il contenuto di umidità di ogni campione è diminuito esponenzialmente. Inoltre, una temperatura di essiccazione più alta richiedeva un tempo di essiccazione più breve. Ad ogni temperatura, il pretrattamento di scottatura accorciava il tempo di essiccazione richiesto fino a quando il contenuto di umidità raggiungeva 0,3 (base secca).

I tassi di essiccazione sono diminuiti man mano che i campioni si asciugavano. I campioni scottati hanno avuto un tasso di essiccazione più alto dei campioni non scottati a tutte le temperature studiate, indicando che la scottatura è stata efficace nel diminuire il tempo di essiccazione. I tassi di essiccazione di verdura e frutta aumentano a causa dei danni e dei cambiamenti nella parete della membrana.

## 5.6 ULTRASUONI

I pretrattamenti chimici possono accelerare il processo di essiccazione ma provocano perdite di nutrienti solubili e possono dare problemi di sicurezza alimentare a causa dei residui chimici. Il pretrattamento termico può distruggere i microrganismi, ammorbidire la struttura e aumentare il tasso di essiccazione. Tuttavia, induce una qualità indesiderabile dei prodotti.

D'altra parte, le tecnologie non termiche (per esempio, ultrasuoni e campo elettrico pulsato, ecc.) possono essere un'alternativa per superare questi inconvenienti. Il pretrattamento a ultrasuoni dei prodotti alimentari prima dell'essiccazione è stato un punto caldo negli ultimi anni e ha mostrato un potenziale nel diminuire notevolmente il tempo di essiccazione. È stato studiato [191] l'effetto dei pretrattamenti con campo elettrico pulsato e ultrasuoni sulle caratteristiche di essiccazione delle carote. È dimostrato che i pretrattamenti hanno contribuito a un tempo di essiccazione più breve fino al 40% e a una maggiore ritenzione del contenuto di carotenoidi. Il tempo di essiccazione e di conseguenza il consumo di energia sono stati significativamente ridotti.

La tecnologia a ultrasuoni è stata utilizzata anche per assistere altri metodi. Per esempio, l'essiccazione convettiva assistita da ultrasuoni permette alla temperatura di essiccazione di rimanere bassa e quindi può essere applicata nell'essiccazione di materiali sensibili al calore.

È stata studiata [191] anche l'essiccazione della barbabietola rossa con una tecnologia di essiccazione ibrida (ultrasuoni + microonde + essiccazione convettiva). L'utilizzo di ultrasuoni non solo ha ridotto il tempo totale di essiccazione e il consumo di energia ma ha anche migliorato la qualità del prodotto.

Gli ultrasuoni sono un tipo di onde meccaniche con una frequenza tra 20 kHz e 1 MHz. Quando viene applicato all'essiccazione degli alimenti, ci sono comunemente tre modi diversi, vale a dire: il pretrattamento ad ultrasuoni, l'essiccazione assistita da ultrasuoni nell'aria e l'essiccazione assistita da ultrasuoni a contatto.

Per il pretrattamento a ultrasuoni, gli ultrasuoni vengono solitamente applicati tramite un bagno ad ultrasuoni o da una sonda per trasmettere onde ad ultrasuoni nei mezzi acquosi, per esempio l'acqua distillata. Le onde acustiche inducono la compressione ed espansione dei campioni (effetto spugna), creano canali microscopici nel campione, e quindi portano alla perdita di liquido

intracellulare verso l'ambiente circostante. Quando la potenza degli ultrasuoni è sufficientemente alta, il ciclo di rarefazione può superare le forze attrattive delle molecole di liquido e quindi vengono prodotte bolle di cavitazione. Queste bolle crescono gradualmente fino ad una dimensione critica fino a diventare instabili e collassano violentemente. Il collasso delle bolle di cavitazione induce cambiamenti molto rapidi come cambiamenti di pressione e temperatura locali, che portano alla rottura delle molecole d'acqua in radicali liberi altamente reattivi, come  $H^+$  e  $OH^-$ . Questi radicali liberi possono accelerare alcune reazioni chimiche e modificare altre molecole. Per esempio, i radicali idrossili possono reagire con composti alimentari facilmente ossidabili [191]. Quindi, la formazione di radicali liberi non è buona per preservare i composti bioattivi come i fenoli. Tuttavia, può migliorare l'attività antiossidante di altri componenti, come i flavonoidi.

Con la variazione della dimensione della bolla e il successivo collasso delle bolle, si può creare un forte micro-corrente. La microcorrente indurrà un'agitazione meccanica e quindi migliora il trasferimento di calore e di massa durante la lavorazione degli alimenti. Inoltre, un micro-getto all'interno della bolla può anche essere generato con l'implosione di bolle di cavitazione vicino all'interfaccia liquido-liquido. Il microgetto migliora anche il trasferimento di massa e calore tra il liquido e il solido rompendo il rispettivo strato limite di diffusione.

Per l'essiccazione assistita da ultrasuoni, l'influenza degli ultrasuoni nell'aria sull'essiccazione degli alimenti, specialmente l'essiccazione convettiva, è stata ampiamente studiata. La pressione alle interfacce gas/liquido oscilla sotto l'intensità degli ultrasuoni nell'aria. Durante la fase negativa del ciclo di pressione, l'umidità si sposta all'esterno e non rientra nel campione durante la fase di pressione positiva, il che accelera l'evaporazione dell'umidità. Nell'essiccazione convettiva, l'energia acustica induce un effetto di velocità oscillante e questo accelera anche il processo di asciugatura. Inoltre, gli ultrasuoni in aria ad alta intensità producono micro-streaming alle interfacce. Lo strato limite di diffusione è ridotto e la diffusione dell'acqua è migliorata. Pertanto, l'utilizzo della tecnologia ad ultrasuoni aviotrasportata può accelerare efficacemente il processo di asciugatura. L'applicazione della tecnologia a ultrasuoni influenzerà in qualche modo la qualità degli alimenti, sia fisica che chimica. Generalmente, l'applicazione di ultrasuoni può diminuire l'attività dell'acqua, migliorare il colore del prodotto e ridurre la perdita di nutrienti come il contenuto fenolico totale, contenuto di flavonoidi, attività antiossidante e vitamina C.

## 6. VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ

I fattori che influenzano l'essiccazione e le varie caratteristiche chimiche e fisiche del pomodoro essiccato sono molteplici: Le caratteristiche chimiche importanti come carotenoidi, acido ascorbico, contenuto fenolico totale, flavonoidi e attività antiossidante sono state discusse a fondo considerando l'effetto dei parametri operativi dei diversi metodi di essiccazione sulla perdita percentuale di queste caratteristiche chimiche. Mentre, le caratteristiche fisiche chiave come il colore della superficie, il rapporto di reidratazione, la consistenza, il gusto e il sapore sono state anche evidenziate con i recenti risultati della ricerca per diversi metodi di essiccazione.

### 6.1 LICOPENE

È il principale pigmento insaturo che conferisce il colore ai pomodori. Il licopene è principalmente concentrato nel pericarpo dei pomodori, la presenza del sistema coniugato è responsabile delle proprietà di cattura dell'ossigeno del licopene [135].

Nei pomodori freschi, il licopene esiste nella forma termodinamicamente più stabile - tutto trans. L'isomerizzazione e l'ossidazione durante la lavorazione sono note per modificare il contenuto di licopene. Le condizioni termiche innescano l'isomerizzazione della forma trans in forma cis. La forma cis è instabile ma presenta una solubilità relativamente maggiore nei solventi organici rispetto alla forma trans. La forma cis è anche dimostrata essere relativamente più biodisponibile.

Il contenuto di licopene dei pomodori è influenzato dalla temperatura, dall'umidità, dalla presenza di ossigeno e dal tempo di trattamento. I cambiamenti nel contenuto di licopene durante l'essiccazione presentano una natura ambigua. Si osserva che un particolare metodo di essiccazione mostra un aumento del contenuto di licopene mentre in alcuni casi il contenuto di licopene è diminuito.

Le figure 3 e 4 mostrano i cambiamenti nel contenuto di licopene della forma essiccata rispetto a quelli freschi corrispondenti (per i pomodori secchi e le polveri rispettivamente). Chang et al. [49], Toor e Savage [51], Chang e Liu [136], Chawla et al. [65], Santos-Sanche et al. [44] e

Mendelova et al. [137] hanno riportato una diminuzione del contenuto di licopene durante la lavorazione, mentre [20,83,138-140], hanno riportato un aumento del contenuto di licopene dopo l'essiccazione. La ragione dei risultati estremi riportati non è fornita in letteratura. Tuttavia, un'ipotesi può essere fatta sulla base del fatto che il trattamento termico porta all'isomerizzazione della forma all-trans in forma cis che è più suscettibile all'ossidazione nell'aria. Anche dopo l'isomerizzazione, la concentrazione di licopene totale nel campione non è cambiata, tuttavia, essendo la forma cis più solubile nel solvente organico aumenta l'estrazione del licopene durante l'analisi. Inoltre, è dimostrato che il licopene è presente principalmente nello stato legato e il trattamento termico rilascia il licopene legato alle proteine. Questi due fenomeni potrebbero giustificare l'aumento del contenuto di licopene in alcune condizioni di trattamento. Questo fenomeno è stato osservato quando l'essiccazione ad aria calda ha causato un aumento del contenuto di licopene, mentre la liofilizzazione riduceva il licopene totale [49].

Martinez-Hernandez et al. [141] hanno riassunto l'effetto dei trattamenti termici sulla forma cis e trans nei pomodori. Qui si dovrebbe anche notare che l'aumento della forma cis al trattamento termico può aumentare l'estrazione, tuttavia, la forma cis è suscettibile all'ossidazione che degrada il licopene all'esposizione all'aria; quindi, l'isomerizzazione seguita da ossidazione (nei casi in cui l'essiccazione avviene in un'atmosfera con alto contenuto di ossigeno) fa diminuire il contenuto di licopene e questa potrebbe essere una ragione per la sua diminuzione sul prodotto finito. Questo è risultato evidente quando il trattamento sottovuoto ha trattenuto più licopene rispetto al trattamento ad aria calda [139].

Così l'ossidazione del licopene è la principale reazione da ostacolare durante l'essiccazione per conservare lo stesso. I pretrattamenti come la scottatura (per la rimozione dell'aria nei tessuti intercellulari) e l'uso di trattamenti chimici potrebbero essere un modo per preservare il licopene dalla degradazione [142-144].

Fig. 21 Ritenzione di licopene in pomodori essiccati con diversi metodi [188].

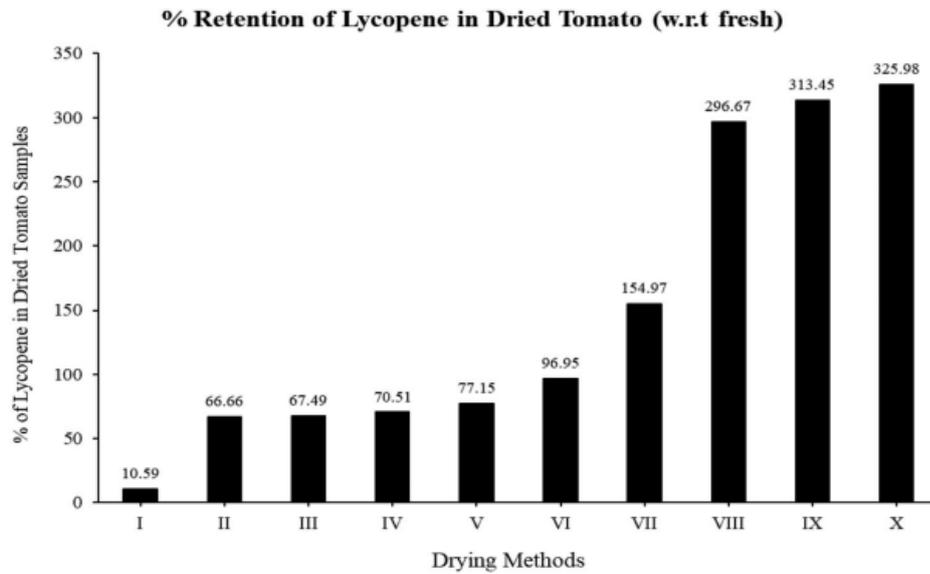


Figure 3. Lycopene content retained on drying by different methods; I - Microwave-Assisted Drying at 180 W;<sup>[17]</sup> II - Freeze Drying at -50 °C, 5 Pa, 24 h;<sup>[49]</sup> III - Tray Drying at 60 °C;<sup>[65]</sup> IV - Sun Drying;<sup>[78]</sup> V - Cabinet Drying at 60 °C;<sup>[65]</sup> VI - Fluidized Bed Drying at 60 °C, 8 kg/m<sup>2</sup>;<sup>[65]</sup> VII - Hot Air Drying at 42 °C;<sup>[140]</sup> VIII - Hot Air Drying at 80 °C;<sup>[49]</sup> IX - Microwave Vacuum Drying at 200 W, 0.04 MPa;<sup>[105]</sup> X - Infrared Drying at 2640 w/m<sup>2</sup>.<sup>[82]</sup>

Fig. 22 Ritenzione di licopene in polveri di pomodoro essiccate con diversi metodi [188].

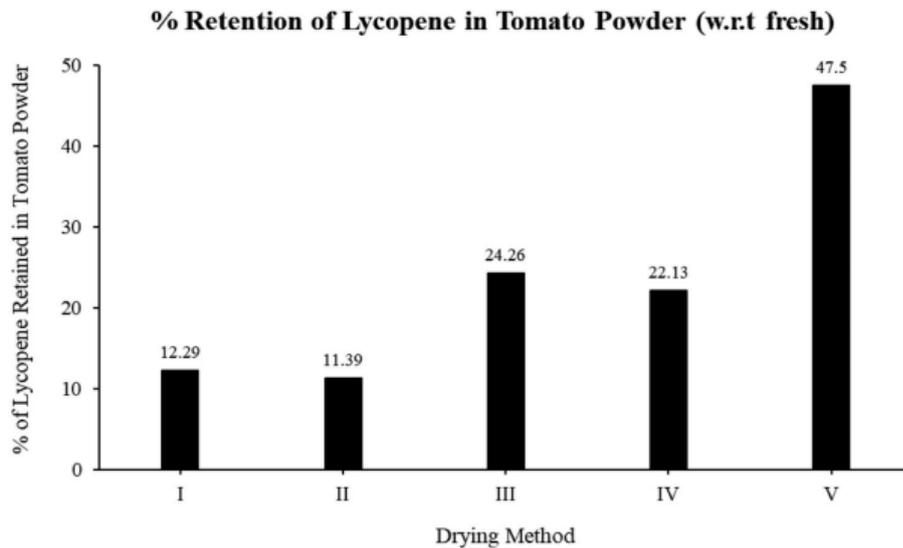


Figure 4. Lycopene content retained in tomato powder after drying; I - Spray Dried at 140 °C, 6 mL/min, 20% Maltodextrin;<sup>[107]</sup> II - Spray Dried at 150 °C, 3.70 m<sup>3</sup>/min, 1 L/hr Maltodextrin;<sup>[115]</sup> III - Cast Tape Dried at 90 °C, 55-67% RH;<sup>[115]</sup> IV - Cast Tape Dried at 90 °C, 57-67% RH with Maltodextrin;<sup>[115]</sup> V - Freeze-Dried at -50 °C for 24 h then at 0.020 kPa for 48 h.<sup>[115]</sup>

La figura 3 mostra il contenuto di licopene trattenuto nelle polveri dopo l'essiccazione con diversi metodi disponibili in letteratura. È evidente che in tutti i casi il contenuto di licopene si trova a

diminuire a causa dell'ossidazione. La polvere essiccata tramite spray drying ha mostrato la più bassa ritenzione di licopene, e la ritenzione è stata ridotta con un aumento della temperatura. Questo perché durante l'essiccazione a spruzzo le goccioline sono esposte a temperature relativamente più alte rispetto ad altri metodi.

L'essiccazione a nastro effettuata a bassa temperatura ha trattenuto più licopene, la sua concentrazione si riduce con l'uso di agenti di trasporto visti sia per l'essiccazione a spruzzo che per l'essiccazione con nastro adesivo. La polvere liofilizzata ha mantenuto il licopene più alto a causa delle condizioni di temperatura inferiore, le perdite riscontrate possono essere dovute all'ossidazione nell'aria.

## 6.2 $\beta$ -CAROTENE

Il  $\beta$ -carotene è un altro carotene presente nei pomodori, il composto è noto per esibire un'attività pro-vitaminica. Simile al licopene, il  $\beta$ -carotene è anch'esso soggetto a isomerizzazione, ossidazione e degradazione attraverso reazioni di scissione. Le reazioni di isomerizzazione trasformano la forma trans in forma cis che è più incline all'ossidazione, ma l'attività della forma cis è inferiore a quella della forma trans. Le reazioni di ossidazione e scissione distruggono l'attività antiossidante. Queste reazioni sono innescate ad alte temperature e con un aumento del tempo di processo.

Tuttavia, similmente al licopene, il contenuto di beta carotene dei pomodori si trova ad aumentare a seguito della disidratazione in alcuni casi, mentre diminuisce in altri. Le ragioni potrebbero essere simili a quello del licopene. Jorge et al. [20] hanno evidenziato che un aumento del carotenoide potrebbe essere dovuto al rilascio di beta carotene dalla matrice ad alte temperature e alla conversione in forma cis, mentre Lavelli e Torresani [126], Kocabiyik et al. [83], e Surendar et al. [145] hanno riportato la diminuzione del beta carotene dovuta all'ossidazione.

## 6.3 ACIDO ASCORBICO

L'acido ascorbico, essendo il composto più sensibile, è considerato come un indicatore di processo. L'acido ascorbico si trova a diminuire drasticamente sull'essiccazione di pomodori. La natura antiossidante dell'acido ascorbico, si degrada immediatamente in acido deidroascorbico e vari prodotti di degradazione [146,147]. Diversi metodi di essiccazione hanno portato alla perdita di acido ascorbico.

La figura 4 mostra l'acido ascorbico trattenuto da diversi metodi. Il tasso di degradazione è ancora più alto quando esposto a temperature più elevate per un tempo più lungo e in presenza di aria. Questi 3 fattori governano la perdita di dell'acido ascorbico.

È stato osservato che quando le metà dei pomodori tagliati sono state essiccate in un essiccatore ad aria calda e in un forno alla stessa temperatura (70 °C), la ritenzione di acido ascorbico era più alta nel caso dell'essiccazione ad aria calda (nonostante l'esposizione a più aria) poiché il tempo di essiccazione è maggiore in forno [20]. Risultati simili sono stati osservati con il trattamento sottovuoto applicato al microonde, è risultata una migliore ritenzione dell'acido ascorbico [105]. L'essiccazione al sole a temperatura ambiente ha portato al 70,625% di ritenzione di acido ascorbico, l'essiccazione a temperatura inferiore ha impedito la perdita [3].

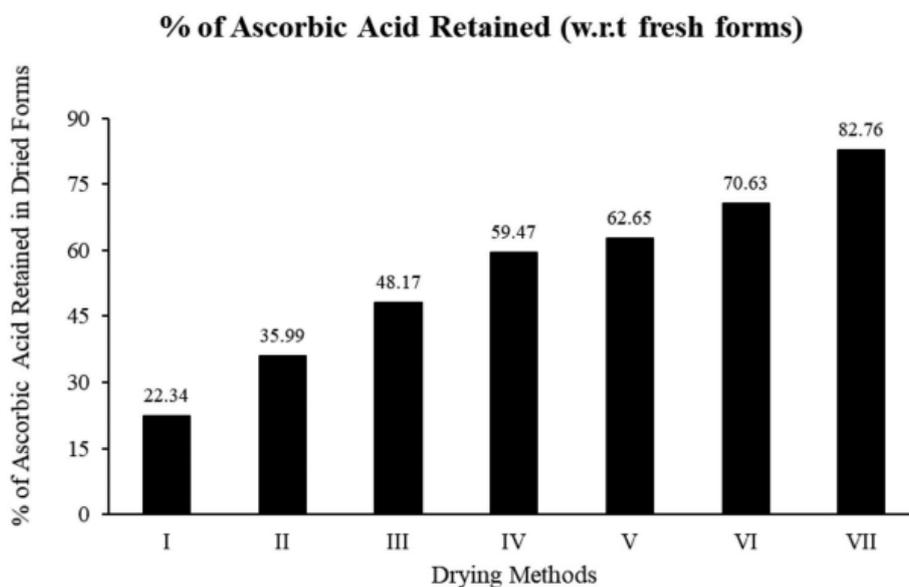
La concentrazione di acido ascorbico viene leggermente ridotta con il pretrattamento della scottatura a vapore, poiché è un componente idrofilo, mentre il contenuto è risultato aumentato durante la liofilizzazione a causa delle basse temperature di processo [20].

Anche l'essiccazione con aria calda assistita da microonde porta alla perdita della maggior parte dell'acido ascorbico a causa dell'esposizione all'aria [17], mentre il trattamento sotto vuoto porta alla conservazione di una più alta percentuale di acido ascorbico [105].

Essendo l'essiccazione a infrarossi il processo di essiccazione relativamente più veloce, con la minor esposizione all'ossigeno e temperatura inferiore (35 °C), ha mantenuto il contenuto di vitamina c alto (82,76%) [83].

Oltre alle condizioni di lavorazione, anche i pretrattamenti possono contribuire a prevenire le perdite.

Fig. 23 Ritenzione di acido ascorbico nei pomodori essiccati con diversi metodi [188].



**Figure 5.** Ascorbic acid retained after drying by different methods; I - Hot Air Microwave Drying at 180 W,<sup>[17]</sup> II - Freeze Drying at -56 °C, 48 h &  $8.8 \times 10^{-6}$  MPa,<sup>[20]</sup> III - Microwave Vacuum Drying at 200 W, 0.04 MPa,<sup>[105]</sup> IV - Oven Drying at 70 °C for 24 h; V - Hot Air Drying at 70 °C for 20 h,<sup>[20]</sup> VI - Solar Drying at 27.7 °C,<sup>[3]</sup> VII - Infrared Drying at 2640 W/m<sup>2</sup>.<sup>[82]</sup>

## 6.4 CONTENUTO IN FENOLI TOTALE, FLAVONOIDI E ATTIVITÀ ANTI-OSSIDANTE

Il contenuto di fenoli e flavonoidi di frutta e verdure migliorano le loro proprietà antiossidanti. La ritenzione o l'aumento di questi composti è governato dalla temperatura durante il trattamento, dal tempo di essiccazione e dalla presenza di aria. Si osserva che la temperatura aiuta una migliore estrazione di questi composti; quindi, in alcuni casi si osserva un aumento di questi composti a seguito dell'essiccazione. Jorge et al. [20] hanno riportato un aumento del contenuto fenolico quando essiccato tramite essiccazione in forno rispetto alla liofilizzazione. Kaur et al.[148] hanno osservato una migliore conservazione del contenuto fenolico totale, flavonoidi totali e attività antiossidante a temperature più elevate (60°C). Gumusay et al. [25] hanno osservato una diminuzione del contenuto fenolico totale e dei flavonoidi quando

l'essiccazione è stata effettuata a 60 °C per 36 h, mentre Jorge et al.[20] hanno osservato che il fenolo totale può aumentare quando i pomodori sono essiccati a 70 °C per 24 ore.

Santos-Sanchez et al. [44] hanno riferito che i composti fenolici diminuiscono durante l'essiccazione, mentre le perdite minori sono state osservate a 60 °C con flusso d'aria di 0,6 m/s (250 min) che a 45 °C e 1,2 m/s (390 min). Quindi, il periodo prolungato di esposizione può avere effetti negativi anche quando trattato a temperature più basse. Allo stesso modo, quando l'essiccazione a infrarossi è stata effettuata al posto dell'essiccazione ad aria calda si è verificata una riduzione sia del tempo di essiccazione che una diminuzione della temperatura, portando ad una maggiore ritenzione dei composti fenolici [96].

La liofilizzazione è stata vista aumentare il contenuto totale di fenoli in alcuni casi [20]. Gumusay et al. [25] hanno riportato un metodo di liofilizzazione per avere il minor effetto sul contenuto fenolico mentre George et al. [86] non hanno osservato alcun cambiamento significativo nel contenuto fenolico con la liofilizzazione a 20 °C, a 0,5 e 0,1 mbar di pressione.

Albanese et al.[64] notano la perdita completa dell'attività antiossidante con l'essiccazione a 80 °C, Toor e Savage (2006) [51] hanno riportato una perdita del 28-38% di attività sull'essiccazione a 42°C. Una temperatura inferiore tende a ridurre la perdita di attività, la liofilizzazione ha conservato maggiori antiossidanti rispetto all'essiccazione ad aria calda [49].

L'uso di alcuni agenti di trasporto per polveri e pretrattamenti possono ridurre la perdita delle proprietà antiossidanti [107].

## 6.5 COLORE

Il colore è la prima caratteristica percepita del cibo dal consumatore. Con l'essiccazione il cambiamento del colore può essere facilmente notato. I pomodori dopo l'essiccazione tendono a diventare più scuri e perdere luminosità. In termini di L, a, e b, si desidera avere un valore più alto di L e del rapporto (a/b) per i prodotti essiccati [149], e il totale cambiamento di colore DE come minimo. Il colore viene anche misurato in termini di C o il valore di croma e l'angolo di tinta che indicano l'intensità e il livello di imbrunimento [75].

Il cambiamento di colore è dovuto principalmente alla perdita di pigmenti, all'imbrunimento non enzimatico (reazioni di Maillard), e l'idrolisi degli zuccheri [20]. Quindi con un aumento della temperatura si osserva una maggiore differenza di colore, l'essiccazione in forno ha causato più cambiamenti rispetto alla liofilizzazione [20].

Per l'essiccazione a microonde e l'essiccazione a infrarossi, il cambiamento di questi valori aumenta con un aumento della potenza delle microonde e degli infrarossi [76,77,83]. Il cambiamento totale di colore osservato con diversi metodi di essiccazione è fornito nella Figura 5.

L'essiccazione solare ha mostrato il minor cambiamento di colore poiché il processo è stato effettuato a temperature relativamente basse. Anche l'essiccazione a infrarossi è stata efficace per avere un cambiamento di colore minimo. I pretrattamenti sono stati ulteriormente efficaci per minimizzare il cambiamento di colore [11].

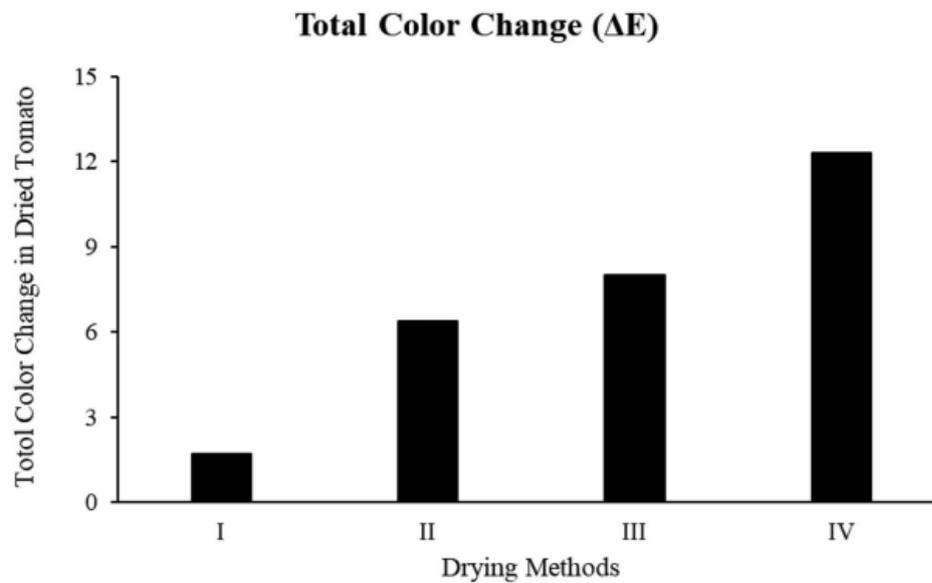
Joshi et al. [150] hanno suggerito 1 e 2% di  $\text{CaCl}_2$  che ha dato campioni essiccati visivamente buoni. Karaaslan et al. [11] hanno osservato il 10% di cloruro di sodio per migliorare il colore dei pomodori secchi, allo stesso modo, la miscela di cloruro di sodio e aceto bianco ha aumentato il rapporto (a/b) che invece diminuisce durante essiccazione.

Il pretrattamento osmotico con saccarosio e soluzione di cloruro di sodio si è rivelato utile nella conservazione del colore simile al pomodoro fresco [151]. Uno studio è stato condotto per osservare l'effetto del pretrattamento della macerazione carbonica sull'essiccazione. Il pretrattamento ha portato a pomodori essiccati con un minore cambiamento di colore totale e un minor indice di imbrunimento [21].

L'immersione dei pomodori in oleato di etile e carbonato di potassio seguita dall'immersione in acidi organici ha contribuito alla conservazione del licopene che contribuisce al colore [139]. Lo studio ha anche dimostrato che il trattamento con oleato di etile e il trattamento con carbonato di potassio seguito da metabisolfito di sodio era utile per migliorare il colore in base ai valori L, a & b.

L'azione conservante dei pretrattamenti sul colore può essere attribuita all'azione protettiva di questi trattamenti sui pigmenti. Limitano le reazioni che avvengono a temperature più alte durante l'essiccazione, che porta alla formazione di composti colorati o deteriora il colore.

Fig. 24 Variazione di colore in funzione dei diversi metodi di essiccazione [188].



**Figure 6.** Total color change on different drying methods; I - Solar Drying at 27.7 °C,<sup>[3]</sup> II - Hot Air Drying at 50 °C,<sup>[58]</sup> III - Infrared Drying at 1830 W/m<sup>2</sup>,<sup>[82]</sup> IV - Microwave Drying at 90 W.<sup>[77]</sup>

## 6.6 TASSO DI REIDRATAZIONE

Un rapporto di reidratazione più alto è una delle proprietà più desiderate dei prodotti essiccati. Il tasso di reidratazione tende a diminuire con l'essiccazione. Tuttavia, esso aumenta con un aumento della temperatura di essiccazione [53].

Doymaz [40] ha osservato che il tasso di reidratazione aumenta fino a una certa temperatura, poi diminuisce. Questo è perché una temperatura più alta causa danni alla struttura cellulare interna causando un minore assorbimento di acqua alla reidratazione. La cinetica di reidratazione viene studiata applicando il modello Peleg [17,27].

Si osserva che l'essiccazione a microonde aumenta il rapporto di reidratazione rispetto all'essiccazione ad aria calda, in quanto causa meno danni alla struttura del tessuto [152]. Tuttavia, con un aumento della potenza delle microonde il rapporto di reidratazione diminuisce a causa del danno alla membrana [17].

L'ausilio delle tecniche sottovuoto e ad ultrasuoni tendono ad aumentare il rapporto di reidratazione in quanto questi trattamenti generano forme essiccate con meno danni [17,23,152]. La liofilizzazione mostra il più alto rapporto di reidratazione rispetto agli altri metodi a causa dei canali generati sulla formazione dei cristalli di ghiaccio che portano a un maggiore assorbimento di acqua [27]. I pretrattamenti possono influire negativamente sul rapporto di reidratazione.

Lewicki et al. [15] e Sacilik [53] hanno riportato che il pretrattamento con  $\text{CaCl}_2$  riduce il rapporto di reidratazione poiché la struttura si irrigidisce e quindi limita l'assorbimento dell'acqua, mentre il trattamento con oleato di etile alcalino ha mostrato un aumento del rapporto di reidratazione [40,46].

Quindi, diversi pretrattamenti danno risultati diversi,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ha dato un rapporto di reidratazione più alto di  $\text{NaCl}$  poiché l'accumulo di cristalli di  $\text{NaCl}$  ostacola l'assorbimento dell'acqua [13].

## 6.7 TEXTURE

La consistenza del pomodoro secco è abbastanza diversa da quelli freschi. Tuttavia, sono stati condotti studi limitati sulle proprietà della struttura della forma essicata dei pomodori. Le differenze nella consistenza sono dovute ai cambiamenti nella microstruttura durante l'essiccazione.

L'indurimento dei tessuti esterni, la rottura della parete cellulare e il collasso dei tessuti portano ai cambiamenti. Joshi et al. [150] per primi hanno definito la struttura dei pomodori secchi in base all'aspetto, applicando trattamenti con diversi metodi. Inoltre, Askari et al. [151] hanno studiato esclusivamente la consistenza dei pomodori essiccati con diversi metodi. Si è notato che il pretrattamento osmotico aumenta la morbidezza dei tessuti. I campioni freschi avevano la più alta consistenza seguiti dal trattamento sottovuoto, dall'essiccazione ad aria calda e dall'essiccazione all'aria assistita da microonde.

L'analisi del profilo di consistenza per fette di pomodoro essiccate a diverse temperature ha rivelato che le fette essiccate a 60 °C, hanno dato una durezza equilibrata, masticabilità e croccantezza [153].

## 6.8 GUSTO E SAPORE

Ci sono più di 400 composti che insieme contribuiscono al sapore fresco dei pomodori. I principali composti che contribuiscono al gusto sono: zuccheri, aminoacidi, minerali e acidi grassi [154]. L'aroma fruttato di freschezza dei pomodori freschi è attribuito alla presenza di aldeidi (esanale e cis-3-esenale), lattoni, terpeni, esteri, composti carbonilici [155,156]. Il fresco aroma dei pomodori è dovuto ai volatili rilasciati dal danno meccanico al tessuto dovuto all'attivazione degli enzimi. Durante l'essiccazione, la reazione di Maillard, il catabolismo dei carotenoidi e degli acidi grassi sono responsabili del cambiamento di gusto, sapore e aroma [99]. Durante la lavorazione, c'è perdita di aldeidi e generazione di furfuri [155].

La perdita delle caratteristiche è influenzata dalle condizioni di lavorazione [156]. Inoltre, la perdita nella lavorazione della pasta di pomodoro era minore quando la lavorazione di campioni freschi è stata effettuata a una temperatura inferiore (60-75 °C) rispetto alla lavorazione a temperature più alte (85-95 °C).

I diversi metodi di essiccazione possono mostrare differenze nel gusto e nel sapore delle forme essiccate. Jorge et al.[20] hanno notato una differenza nella concentrazione di zuccheri e acidi con l'essiccazione ad aria calda, l'essiccazione per congelamento e l'essiccazione in forno. Paolo et al. [157] hanno condotto una valutazione sensoriale sistematica con panelisti addestrati e hanno analizzato i composti volatili. I risultati hanno indicato che i diversi metodi di essiccazione possono essere facilmente differenziati per il loro gusto e aroma in base all'analisi.

Qiu et al.[119] hanno riportato una perdita completa di composti chiave durante l'essiccazione. I pretrattamenti e la lavorazione a basse temperature possono ridurre le perdite di questi composti. Rajkumar et al. [158] hanno riscontrato che sia nell'essiccazione dei pomodori a una temperatura più bassa (45 °C) in un essiccatore ad aria calda sia l'essiccazione della polpa a 60

°C hanno mantenuto la nota fruttata anche dopo la disidratazione. Lo studio ha anche confrontato diversi metodi di essiccazione per il profilo volatile dei pomodori disidratati. I risultati hanno rivelato che la liofilizzazione ha trattenuto la maggior parte dei volatili, seguita dallo spray drying e dall'essiccazione ad aria calda.

Heredia et al. [99] hanno riscontrato che il pretrattamento osmotico con saccarosio seguito dall'essiccazione ad aria calda preserva l'aroma dei pomodori freschi.

## **6.9 ATTRIBUTI DI QUALITÀ DEGLI ESSICCATI IN POLVERE**

Le polveri ottenute con diversi metodi mostrano diverse caratteristiche. I parametri desiderabili della polvere includono una maggiore dispersione, bagnabilità, densità di massa e porosità. L'assorbimento dell'acqua da parte della polvere viene studiato tramite il modello BET.

La polvere essiccata con spray drying ha mostrato il più alto tempo di dispersione, seguita dalla polvere liofilizzata e dall'essiccazione a nastro fuso. Allo stesso modo, il campione essiccato con nastro fuso ha mostrato la più alta bagnabilità [115]. Le immagini al microscopio elettronico a scansione hanno rivelato che tramite spray drying si ottiene una natura sferica della polvere, mentre nel nastro fuso e nei campioni liofilizzati la polvere mostrava una morfologia a scaglie. La natura della particella influenza la stabilità della polvere. La polvere sferica ha un'alta densità di massa, quindi meno incline all'agglomerazione e all'ossidazione, fornendo una migliore stabilità.

L'uso della maltodestrina nell'essiccazione ha portato a polveri con superfici lisce e contribuisce a una migliore stabilità delle polveri liofilizzate. Quindi, i materiali di trasporto giocano un ruolo cruciale nelle proprietà della polvere. Correa-Filho et al. [110] hanno studiato la struttura topografica della sansa di pomodoro essiccata a spruzzo in polvere. Hanno utilizzato due diversi materiali di supporto (gomma arabica e inulina). Sulla base di immagini al microscopio elettronico a scansione, i risultati hanno rivelato che la polvere con gomma arabica come materiale di supporto formava strutture concave sulla superficie mentre quella con inulina

formava superfici lisce. Le differenze nella morfologia sono attribuite alla rigidità offerta dall'inulina che impedisce il restringimento durante l'essiccazione.

## **6.10 EFFETTO SUGLI ALLERGENI E PROPRIETÀ ANTINUTRIZIONALI**

Anche se il pomodoro è considerato benefico per la prevenzione dei tumori e per la sua attività antiossidante, il consumo di pomodoro è ostacolato a causa della presenza di alcuni allergeni e fattori antinutrizionali. Il pomodoro è noto per contenere fitati, inibitori della tripsina, e la più importante tomatina, un glicoalcaloide. Anche se il consumo di questi fattori in piccole quantità pone un effetto positivo sulla salute, un più alto consumo o consumo prolungato può portare a: inibire la digeribilità delle proteine, ridurre la biodisponibilità del ferro e disagio gastrico [159,160]. L'essiccazione, in quanto trattamento termico, può ridurre efficacemente i fitati e gli inibitori della tripsina. La tomatina è generalmente prevalente nei pomodori verdi crudi e nelle foglie, con la maturazione il contenuto di tomatina si riduce a un livello innocuo [161].

L'effetto dell'essiccazione sul contenuto di tomatina nel pomodoro verde non è ancora stato studiato e sarebbe un potenziale oggetto di studio per valutare il destino di questo fattore antinutrizionale dopo l'essiccazione.

L'altra minaccia al consumo di pomodoro è la presenza di allergeni. È stato riportato che l'8-9% della popolazione occidentale ha sofferto degli effetti negativi degli allergeni [163].

Sola I (1-7) [162], si tratta di 7 gruppi di proteine che portano a una reattività incrociata, la quale provoca allergie orali e eruzioni cutanee dovute a risposte immunitarie innescate da IgE.

Tra le 7 proteine, gli studi sono condotti per 2 proteine, cioè Sola I 1 (profilina) e 4. È stato osservato che al trattamento termico le proteine erano denaturate ed è stata notata una ridotta attività. Kurze et al. [164] hanno riportato che il trattamento termico di 99 °C per 90 minuti durante l'essiccazione delle metà o dei quarti di pomodoro è sufficiente a distruggere Sola I 4.

Tuttavia, queste condizioni saranno dannose per le qualità dei pomodori. Insieme al metodo di essiccazione termica come l'essiccazione al forno e al sole, anche la liofilizzazione ha portato a

una riduzione del contenuto di Sola I 4. La diminuzione è stata attribuita alla rimozione del contenuto di acqua.

In questo caso, la reattività di Sola I 1 non è stata influenzata dal trattamento termico, ma il trattamento con l'enzima papaina ne ha ridotto l'attività [165]. Così, la risposta allergica del pomodoro e i fattori antinutrizionali possono essere efficacemente ridotti dai trattamenti di essiccazione.

Tabella 15. La tabella di seguito offre una sintesi dei parametri utilizzati in letteratura per misurare la qualità dei pomodori e le relative metodologie usate per la loro determinazione.

Parametro	Metodo analitico	Fonte
Acido ascorbico totale	Spettrofotometria UV	[177]
Licopene	Spettrofotometria UV	[178]
pH	phmetro	[177]
Acidità totale	Titolazione con Naoh	[177]
Zuccheri solubili	Rifrattometro	[177]
Tasso di reidratazione	Si immerge il prodotto in acqua calda per un determinato tempo e successivamente si misura la differenza di acqua riassorbita con l'acqua presente nel prodotto fresco prima della disidratazione	[177]
Colore	Colorimetro	[179]
Acido ascorbico ossidato	Spettrofotometro UV	[3]
Fenoli totali	Ultra-HPLC in combinazione con la spettrometria di massa a triplo quadrupolo (QqQ-MS).	[180]
Imbrunimento non enzimatico	Spettrofotometria UV	[177]

## 7. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

L'essiccazione è considerata una delle operazioni unitarie che consumano più energia nella lavorazione degli alimenti. La considerazione dell'energia consumata in un'operazione di essiccazione, è altrettanto importante quanto la qualità del prodotto finale. Perciò mentre si seleziona un particolare metodo di essiccazione per produrre un prodotto, bisogna valutare che esso avvenga in modo economicamente fattibile.

Orvos [167] ha fornito un'equazione per lo specifico consumo di energia richiesto per l'essiccazione del pomodoro tagliato a metà e molti studi sono stati fatti per ridurre il consumo di energia durante l'essiccazione pomodori.

L'essiccatore a pompa di calore, è efficace nel ridurre il consumo di energia del 40-50% [56]. Altre opzioni naturali come l'energia solare e geotermica possono essere utilizzate per sfruttare l'energia naturale e riducendo così il consumo di energia elettrica. Esehaghbeygi e Basiry[102] hanno riferito che l'essiccazione elettro-idrodinamica consuma 200 volte meno energia dell'essiccazione in forno di fette di pomodoro [102]. Allo stesso modo, anche l'essiccazione a infrarossi ha dimostrato di consumare meno energia durante l'essiccazione dei pomodori [83].

## 8. CONCLUSIONI

L'essiccazione dei pomodori e degli scarti di pomodoro è necessaria per prolungare la durata di conservazione e migliorare le proprietà di manipolazione. Anche se i nutrienti sono ridotti in alcuni casi, la letteratura pubblicata suggerisce di migliorare il profilo nutrizionale e l'eliminazione di allergeni e fattori anti nutrizionali con il processo di essiccazione. La forma essiccata dei pomodori, così come gli scarti essiccati, hanno numerosi usi in diversi campi.

La qualità della forma essiccata è una preoccupazione che potrebbe essere risolta con l'applicazione di un metodo appropriato di essiccazione, di pretrattamenti e con l'ottimizzazione delle condizioni di lavorazione.

Gli studi sulle proprietà sensoriali delle forme sono limitati e questo apre un ampio spazio per lo studio futuro sull'accettazione del consumatore per le forme di pomodoro essiccate. La produzione di pomodori secchi e in polvere è ben consolidata su scala industriale con metodi convenzionali. I disidratatori ad aria calda sono la tipologia più diffusa per quanto riguarda la disidratazione di frutta e verdura a livello commerciale. L'asciugatura dei pomodori con questi metodi è largamente sfruttata per via della: semplicità strutturale degli impianti, del loro mantenimento e utilizzo. Il processo in questione difatti si basa sui soli parametri di velocità e temperatura dell'aria, riducendo il numero di variabili su cui lavorare, un metodo semplice ed efficace che permette di avere tempi di disidratazione piuttosto brevi se associato a dei pretrattamenti.

La scalabilità del processo con le nuove tecniche, promettenti dal punto di vista della qualità del prodotto finale, è l'attuale sfida. Negli ultimi vent'anni il mondo della ricerca ha approfondito molto l'utilizzo delle radiazioni infrarossi e delle microonde nelle tecniche di essiccazione. Questi disidratatori di nuova generazione sono in grado di trasferire rapidamente il calore al prodotto in maniera uniforme e senza deteriorarlo. Questo dona grandi punti di forza alla disidratazione, rende infatti la rimozione di acqua la più veloce possibile, oltre che essere il metodo che permette di ottenere la maggiore ritenzione di nutrienti e pertanto di preservare la maggiore qualità. L'essiccazione a infrarossi in particolare, è quella su cui la letteratura si sta concentrando

maggiormente per via della migliore capacità a preservare determinate caratteristiche nei pomodori. Dal punto di vista energetico è noto che il metodo a infrarossi permette un'efficienza molto al di sopra rispetto al metodo ad aria calda. Per tali motivi tale metodo è il più promettente.

La temperatura e il tempo di essiccazione giocano un ruolo importante nella definizione di diversi attributi di qualità dei pomodori secchi. Tali parametri necessitano di ulteriore attenzione, in particolare, quando i pomodori e la sansa vengono essiccati in presenza di aria e in assenza di aria (ossigeno).



## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Food and Agriculture Organization of United Nations., 2018, From: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>., Retrieved on 25/8/2020.
- [2] Burton-Freeman, B.; Reimers, K. Tomato Consumption and Health: emerging Benefits. *Am. J. Lifestyle Med.* 2011, 5, 182–191. DOI: 10.1177/ 1559827610387488.
- [3] Ringeisen, B.; Barrett, D. M.; Stroeve, P. Concentrated Solar Drying of Tomatoes. *Energy for Sustainable Dev.* 2014, 19, 47–55. DOI: 10.1016/j. esd.2013.11.006.
- [4] Nour, V.; Panaite, T. D.; Ropota, M.; Turcu, R.; Trandafir, I.; Corbu, A. R. Nutritional and Bioactive Compounds in Dried Tomato Processing Waste. *CyTA J. Food* 2018, 16, 222–229. DOI: 10.1080/19476337.2017.1383514.
- [5] P A Silva, Y.; Borba, B. C.; Pereira, V. A.; Reis, M. G.; Caliar, M.; Brooks, M. S.-L.; Ferreira, T. A. P. C. Characterization of Tomato Processing by- Product for Use as a Potential Functional Food Ingredient: nutritional Composition, Antioxidant Activity and Bioactive Compounds. *Int J Food Sci Nutr.* 2019, 70, 150–160. DOI: 10.1080/09637486.2018.1489530.
- [6] Paulino, S. L. J.; Adrián, A. T. G.; Gabriela, E. A. L.; Maribel, V. M.; Sergio, M. G. Technology, Nutraceutical Potential of Flours from Tomato by- Product and Tomato Field Waste. *J. Food Sci. Technol.* 2020, 57, 3525–3531. DOI: 10.1007/ s13197-020-04585-1.
- [7] Previtera, L.; Fucci, G.; De Marco, A.; Romanucci, V.; Di Fabio, G.; Zarrelli, A. Chemical and Organoleptic Characteristics of Tomato Pur´ee Enriched with Lyophilized Tomato Pomace. *J. Sci. Food Agric.* 2016, 96, 1953–1958. DOI: 10.1002/jsfa. 7303.
- [8] Grassino, A. N.; Halambek, J.; Djaković, S.; Brnčić, S. R.; Dent, M.; Grabarić, Z. Utilization of Tomato Peel Waste from Canning Factory as a Potential Source for Pectin Production and Application as Tin Corrosion Inhibitor. *Food Hydrocolloids* 2016, 52, 265–274. DOI: 10.1016/j. foodhyd.2015.06.020.
- [9] Mustaf, K. I.; Rashid, Z. S. Study of the Effect of Some Treatments and Method of Drying on the Storing and Qualitative Characteristics of Tomato Vartiety Kanze. *Plant Arch.* 2020, 20, 395–400.

- [10] Gould, W. A. *Tomato Production, Processing and Technology*. Elsevier; Baltimore USA, 2013, 125–151.
- [11] Karaaslan, S.; Ekinçi, K.; Kumbul, B. S. Solar Tunnel Drying: Pretreatment on Drying Kinetic of Plum Tomatoes. *Cienc. Rural* 2019, 49, DOI: 10.1590/0103-8478cr20180988.
- [12] Jumah, R.; Banat, F.; Al-Asheh, S.; Hammad, S. Drying Kinetics of Tomato Paste. *Int. J. Food Prop.* 2004, 7, 253–259. DOI: 10.1081/JFP-120026061.
- [13] Latapi, G.; Barrett, D. M. Influence of Pre-Drying Treatments on Quality and Safety of Sun-Dried Tomatoes. Part II. Effects of Storage on Nutritional and Sensory Quality of Sun-Dried Tomatoes Pretreated with Sulfur, Sodium Metabisulfite, or Salt. *J. Food Sci.* 2006, 71, S32–S37. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb12402.x.
- [14] Al-Harashseh, M.; Ala'a, H.; Magee, T. Intensification Processing: Process, Microwave Drying Kinetics of Tomato Pomace: Effect of Osmotic Dehydration. *Chem. Eng. Process. Process Intensification* 2009, 48, 524–531. DOI: 10.1016/j.cep.2008.06.010.
- [15] Lewicki, P. P.; Le, H. V.; Pomaran'ska-Łazuka, W. Effect of Pre-Treatment on Convective Drying of Tomatoes. *J. Food Eng.* 2002, 54, 141–146. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00199-6.
- [16] Lewicki, P. P.; Michaluk, E. Drying of Tomato Pretreated with Calcium. *Drying Technol.* 2004, 22, 1813–1827. DOI: 10.1081/DRT-200032777.
- [17] Horuz, E.; Jaafar, H. J.; Maskan, M. Ultrasonication as Pretreatment for Drying of Tomato Slices in a Hot Air–Microwave Hybrid Oven. *Drying Technol.* 2017, 35, 849–859. DOI: 10.1080/07373937.2016.1222538.
- [18] Xanthopoulos, G.; Yanniotis, S.; Talaiporou, E. Influence of Salting on Drying Kinetics and Water Diffusivity of Tomato Halves. *Int. J. Food Prop.* 2012, 15, 847–863. DOI: 10.1080/10942912.2010.506018.
- [19] Heredia, A.; Barrera, C.; Andrés, A. Drying of Cherry Tomato by a Combination of Different Dehydration Techniques. Comparison of Kinetics and Other Related Properties. *J. Food Eng.* 2007, 80, 111–118. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.04.056.
- [20] Jorge, A.; Sauer Leal, E.; Sequinel, R.; Sequinel, T.; Kubaski, E. T.; Tebcherani, S. M. Changes in the Composition of Tomato Powder (*Lycopersicon esculentum* Mill) Resulting from Different Drying Methods. *J. Food Process. Preserv.* 2018, 42, e13595. DOI: 10.1111/jfpp.13595.

- [21] Turgut, S. S.; Kucukoner, E.; Karacabey, E. Influence of Carbonic Maceration Pre-Treatment on Functional Quality of Dried Tomato Quarters. *Food Bioprocess Technol.* 2018, 11, 1818–1827. DOI: 10.1007/s11947-018-2145-y.
- [22] Sacilik, K.; Keskin, R.; Elicin, A. K. Mathematical Modelling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato. *J. Food Eng.* 2006, 73, 231–238. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.025.
- [23] Rajkumar, P.; Kulanthaisami, S.; Raghavan, G.; Gariépy, Y.; Orsat, V. Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods. *Drying Technol.* 2007, 25, 1349–1357. DOI: 10.1080/07373930701438931.
- [24] Bashir, N.; Bhat, M. A.; Dar, B. N.; Shah, M. A. Effect of Different Drying Methods on the Quality of Tomatoes. *Adv. Food Sci.* 2014, 36, 65–69.
- [25] Gu€m€u€say, O. A.; Borazan, A. A.; Ercal, N.; Demirkol, O. Drying Effects on the Antioxidant Properties of Tomatoes and Ginger. *Food Chem.* 2015, 173, 156–162. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.162.
- [26] Eze, J.; Ojike, O. Energy Sustainable., Studies on the Effect of Different Solar Dryers on the Vitamin Content of Tomato (*Solanum Lycopersicon*). *J. Renewable Sustainable Energy* 2012, 4, 063102. DOI: 10.1063/1.4763563.
- [27] Gaware, T.; Sutar, N.; Thorat, B. Drying of Tomato Using Different Methods: comparison of Dehydration and Rehydration Kinetics. *Drying Technol.* 2010, 28, 651–658. DOI: 10.1080/07373931003788759.
- [28] Hossain, M.; Amer, B.; Gottschalk, K. Hybrid Solar Dryer for Quality Dried Tomato. *Drying Technol.* 2008, 26, 1591–1601. DOI: 10.1080/07373930802467466.
- [29] Reyes, A.; Mahn, A.; Huenulaf, P.; Gonz´alez, T. Tomato Dehydration in a Hybrid-Solar Dryer. *J. Chem. Eng. Process Technol.* 2014, 5, 1–8.
- [30] Mohsen, H. A.; Abd El-Rahmam, A.; Hassan, H. Drying of Tomato Fruits Using Solar Energy. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2019, 21(2), 204-215.
- [31] Ahmed, A. E. R. Drying of Tomato Fruits Using Solar Energy. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2019, 21, 204–215.
- [32] Dorouzi, M.; Morteza pour, H.; Akhavan, H. R.; Moghaddam, A. G. Tomato Slices Drying in a Liquid Desiccant-Assisted Solar Dryer Coupled with a Photovoltaic-Thermal Regeneration System. *Sol. Energy* 2018, 162, 364–371. DOI: 10.1016/j.solener.2018.01.025.

- [33] Adenike, A. B. The Effect of Pretreatment and Drying on Some Vitamin Contents of Tomato Powder. *Food Sci. Technol.* 2012, 13(2), 156–160.
- [34] Allison, B. J.; C´adiz, J. C.; Karuna, N.; Jeoh, T.; Simmons, C. W. The Effect of Ionic Liquid Pretreatment on the Bioconversion of Tomato Processing Waste to Fermentable Sugars and Biogas. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2016, 179, 1227–1247. DOI: 10.1007/s12010-016-2061-4.
- [35] Murugavelh, S.; Anand, B.; Midhun Prasad, K.; Nagarajan, R.; Azariah Pravin Kumar, S. Exergy Analysis and Kinetic Study of Tomato Waste Drying in a Mixed Mode Solar Tunnel Dryer. *Energy Sources Part A Recov. Util. Environ. Effects* 2019, 1–17. DOI: 10.1080/15567036.2019.1679289.
- [36] Chavan, A.; Vitankar, V.; Mujumdar, A.; Thorat, B. Natural Convection and Direct Type (NCDT) Solar Dryers: A Review. *Drying Technol.* 2020, 1–22. DOI: 10.1080/07373937.2020.1753065.
- [37] Chavan, A.; Vitankar, V.; Thorat, B. CFD Modeling and Experimental Study of Solar Conduction Dryer. *Drying Technol.* 2020, 1–14. DOI: 10.1080/07373937.2020.1846051.
- [38] Akanbi, C. T.; Adeyemi, R. S.; Ojo, A. Drying Characteristics and Sorption Isotherm of Tomato Slices. *J. Food Eng.* 2006, 73, 157–163. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.015.
- [39] Demiray, E.; Tulek, Y. Thin-Layer Drying of Tomato (*Lycopersicum Esculentum* Mill. cv. Rio Grande) Slices in a Convective Hot Air Dryer. *Heat Mass Transfer* 2012, 48, 841–847. DOI: 10.1007/s00231-011-0942-1.
- [40] Doymaz, I. Air-Drying Characteristics of Tomatoes. *J. Food Eng.* 2007, 78, 1291–1297. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047.
- [41] Fernandes, F. A.; Rodrigues, S.; Garc´ia-P´erez, J. V.; C´arcel, J. A. Effects of Ultrasound-Assisted Air-Drying on Vitamins and Carotenoids of Cherry Tomatoes. *Drying Technol* 2016, 34, 986–996. DOI: 10.1080/07373937.2015.1090445.
- [42] Abano, E.; Ma, H.; Qu, W. Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices. *J. Food Process. Technol.* 2011, 2, 2–9. DOI: 10.4172/2157-7110.1000123.
- [43] Belghith, A.; Azzouz, S.; ElCafsi, A. Desorption Isotherms and Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Kinetics of Tomato. *Heat Mass Transfer* 2016, 52, 407–419. DOI: 10.1007/s00231-015-1560-0.
- [44] Santos-S´anchez, N. F.; Valadez-Blanco, R.; Go´mez-Go´mez, M. S.; P´erez-Herrera, A.; Salas-Coronado, R. Effect of Rotating Tray Drying on Antioxidant Components, Color and

Rehydration Ratio of Tomato Saladette Slices. *LWT Food Sci. Technol.* 2012, 46, 298–304. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.09.015.

[45] Dianda, B.; Ousmane, M.; Kam, S.; Ky, T. Experimental Study of the Kinetics and Shrinkage of Tomato Slices in Convective Drying. *Afr. J. Food Sci.* 2015, 9, 262–271. DOI: 10.5897/AJFS.

[46] Doymaz, I.; Özdemir, O. Effect of Air Temperature, Slice Thickness and Pretreatment on Drying and Rehydration of Tomato. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2014, 49, 558–564. DOI: 10.1111/ijfs.12337.

[47] Demiray, E.; Tulek, Y.; Yilmaz, Y. Degradation Kinetics of Lycopene,  $\beta$ -Carotene and Ascorbic Acid in Tomatoes during Hot Air Drying. *LWT Food Sci. Technol.* 2013, 50, 172–176. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.06.001.

[48] Brooks, M.; Abou El-Hana, N.; Ghaly, A. Effects of Tomato Geometries and Air Temperature on the Drying Behavior of Plum Tomato. *Am. J. Appl. Sci.* 2008, 5, 1369–1375. DOI: 10.3844/ajassp.2008.1369.1375.

[49] Chang, C. H.; Lin, H. Y.; Chang, C. Y.; Liu, Y. C. Comparisons on the Antioxidant Properties of Fresh, Freeze-Dried and Hot-Air-Dried Tomatoes. *J. Food Eng.* 2006, 77, 478–485. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.061.

[50] Giovanelli, G.; Zanoni, B.; Lavelli, V.; Nani, R. Water Sorption, Drying and Antioxidant Properties of Dried Tomato Products. *J. Food Eng.* 2002, 52, 135–141. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00095-4.

[51] Toor, R. K.; Savage, G. P. Effect of Semi-Drying on the Antioxidant Components of Tomatoes. *Food Chem.* 2006, 94, 90–97. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.054.

[52] Ashebir, D.; Jezik, K.; Weingartemann, H.; Gretzmacher, R. 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.* 2009, 60, 308–315. DOI: 10.1080/09637480903114128.

[53] Sacilik, K. The Thin-Layer Modelling of Tomato Drying Process. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 2007, 72, 343–349.

[54] Jangam, S. V.; Joshi, V. S.; Mujumdar, A. S.; Thorat, B. N. Studies on Dehydration of Sapota (*Achras Zapota*). *Drying Technol.* 2008, 26, 369–377. DOI: 10.1080/07373930801898190.

[55] Aware, R.; Thorat, B. Garlic under Various Drying Study and Its Impact on Allicin Retention. *Drying Technol.* 2011, 29, 1510–1518. DOI: 10.1080/07373937.2011.578230.

- [56] Queiroz, R.; Gabas, A.; Telis, V. Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers. *Drying Technol.* 2004, 22, 1603–1620. DOI: 10.1081/DRT-200025614.
- [57] Coşkun, S.; Doymaz, I.; Tunc¸kal, C.; Erdođgan, S. Investigation of Drying Kinetics of Tomato Slices Dried by Using a Closed Loop Heat Pump Dryer. *Heat Mass Transfer* 2017, 53, 1863–1871. DOI: 10.1007/s00231-016-1946-7.
- [58] Purkayastha, M. D.; Nath, A.; Deka, B. C.; Mahanta, C. L. Thin Layer Drying of Tomato Slices. *J. Food Sci. Technol.* 2013, 50, 642–653. DOI: 10.1007/s13197-011-0397-x.
- [59] Jeyaprakash, S.; Frank, D.; Driscoll, R. Influence of Heat Pump Drying on Tomato Flavor. *Drying Technol.* 2016, 34, 1709–1718. DOI: 10.1080/07373937.2016.1174937.
- [60] Jeyaprakash, S.; Heffernan, J. E.; Driscoll, R. H.; Frank, D. C. Impact of Drying Technologies on Tomato Flavor Composition and Sensory Quality. *LWT Food Sci. Technol.* 2020, 120, 108888. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108888.
- [61] Grbavcic, Z. B.; Arsenijevic, Z. L.; Garic-Grulovic, R. V. Drying of Slurries in Fluidized Bed of Inert Particles. *Drying Technol.* 2004, 22, 1793–1812. DOI: 10.1081/DRT-200032742.
- [62] Sogi, D.; Shivhare, U.; Garg, S.; Bawa, A. Water Sorption Isotherm and Drying Characteristics of Tomato Seeds. *Biosyst. Eng.* 2003, 84, 297–301. DOI: 10.1016/S1537-5110(02)00275-1.
- [63] Kaur, D.; Wani, A. A.; Sogi, D.; Shivhare, U. Sorption Isotherms and Drying Characteristics of Tomato Peel Isolated from Tomato Pomace. *Drying Technol.* 2006, 24, 1515–1520. DOI: 10.1080/07373930600961371.
- [64] Albanese, D.; Adiletta, G.; D'Acunzio, M.; Cinquanta, L.; Di Matteo, M. Tomato Peel Drying and Carotenoids Stability of the Extracts. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2014, 49, 2458–2463. DOI: 10.1111/ijfs.12602.
- [65] Chawla, C.; Kaur, D.; Oberoi, D.; Sogi, D. Drying Characteristics, Sorption Isotherms, and Lycopene Retention of Tomato Pulp. *Drying Technol.* 2008, 26, 1257–1264. DOI: 10.1080/07373930802307225.
- [66] Freire, J.; Ferreira, M.; Freire, F.; Nascimento, B. A Review on Paste Drying with Inert Particles as Support Medium. *Drying Technol.* 2012, 30, 330–341. DOI: 10.1080/07373937.2011.638149.
- [67] Bhandari, B. *Handbook of Industrial Drying*, Edited by AS Mujumdar: CRC Press: Boca Raton, FL; 2015. ISBN: 978-1-4665-9665-8. 2015, Taylor & Francis.

- [68] Pallai-Varsányi, E.; Toth, J.; Gyenis, J. Drying of Suspensions and Solutions on Inert Particle Surface in Mechanically Spouted Bed Dryer. *China Particuol.* 2007, 5, 337–344. DOI: 10.1016/j.cpart. 2007.06.003.
- [69] Arsenijević, Z. L.; Grbavčić, Z.B.; Garic-Grulović, R. V. Drying of Solutions and Suspensions in the Modified Spouted Bed with Draft Tube. *Thermal Sci.* 2002, 6, 47–70. DOI: 10.2298/TSCI0202047A.
- [70] Corrêa, N.; Corrêa, R.; Freire, J. Adaptive Control of Paste Drying in Spouted Bed Using the GPC Algorithm. *Braz. J. Chem. Eng.* 2000, 17, 639–648. DOI: 10.1590/S0104-66322000000400028.
- [71] Almeida, A.; Freire, F.; Freire, J. Transient Analysis of Pasty Material Drying in a Spouted Bed of Inert Particles. *Drying Technol.* 2010, 28, 330–340. DOI: 10.1080/07373931003627189.
- [72] Szentmarjay, T.; Pallai, E.; Regényi, Z. Short-Time Drying of Beatsensitive Biologically Active Pulps and Pastes. *Drying Technol.* 1996, 14, 2091–2115. DOI: 10.1080/07373939608917197.
- [73] Faria da Rocha, S.; Kappaun Rodrigues, M. C.; Legemann Monte, M.; Quites Larrosa, A. P.; de Almeida Pinto, L. A. Product Characteristics and Quality of Bovine blood-enriched dried vegetable paste. *J. Sci. Food Agric.* 2014, 94, 3255–3262. DOI: 10.1002/jsfa.6678.
- [74] Askari, G.; Emam-Djomeh, Z.; Mousavi, S. An Investigation of the Effects of Drying Methods and Conditions on Drying Characteristics and Quality Attributes of Agricultural Products during Hot Air and Hot Air/Microwave-Assisted Dehydration. *Drying Technol.* 2009, 27, 831–841. DOI: 10.1080/ 07373930902988106.
- [75] Abano, E.; Ma, H.; Qu, W. Influence of Combined Microwave-Vacuum Drying on Drying Kinetics and Quality of Dried Tomato Slices. *J. Food Qual.* 2012, 35, 159–168. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2012. 00446.x.
- [76] Izli, N.; Isik, E. Color and Microstructure Properties of Tomatoes Dried by Microwave, Convective, and Microwave-Convective Methods. *Int. J. Food Prop.* 2015, 18, 241–249. DOI: 10.1080/ 10942912.2013.829492.
- [77] Celen, S.; Kahveci, K. Microwave Drying Behaviour of Tomato Slices. *Czech J. Food Sci.* 2013, 31, 132–138. DOI: 10.17221/30/2012-CJFS.

- [78] Kon'é, K. Y.; Druon, C.; Gnimpieba, E. Z.; Delmotte, M.; Duquenoy, A.; Laguerre, J. C. Power Density Control in Microwave Assisted Air Drying to Improve Quality of Food. *J. Food Eng.* 2013, 119, 750–757. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.06.044.
- [79] Poonnoy, P.; Tansakul, A.; Chinnan, M. Artificial Neural Network Modeling for Temperature and Moisture Content Prediction in Tomato Slices Undergoing microwave-vacuum drying. *J. Food Sci.* 2007, 72, E042–E047. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2006.00220.x.
- [80] Sakare, P.; Prasad, N.; Thombare, N.; Singh, R.; Sharma, S. C. Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Eng. Rev.* 2020, 12, 381–398. DOI: 10.1007/s12393-020-09237-w.
- [81] Kipcak, A. S.; Doymaz, I. Microwave and Infrared Drying Kinetics and Energy Consumption of Cherry Tomatoes. *Chem. Ind. Chem. Eng.* 2020, 26(2), 203–212. DOI: 10.2298/CICEQ190916039K.
- [82] Kocabiyik, H.; Yilmaz, N.; Tuncel, N. B.; Sumer, S. K.; Buyukcan, M. B. Drying, Energy, and Some Physical and Nutritional Quality Properties of Tomatoes Dried with Short-Infrared Radiation. *Food Bioprocess Technol.* 2015, 8, 516–525. DOI: 10.1007/s11947-014-1418-3.
- [83] Kocabiyik, H.; Yilmaz, N.; Tuncel, N. B.; Sumer, S. K.; Burak Buyukcan, M. The Effects of Middle Infrared Radiation Intensity on the Quality of Dried Tomato Products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2014, 49, 703–710. DOI: 10.1111/ijfs.12353.
- [84] Sadin, R.; Chegini, G.; Khodadadi, M. Drying Characteristics and Modeling of Tomato Thin Layer Drying in Combined Infrared-Hot Air Dryer. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 2017, 19, 150–157.
- [85] Kocabiyik, H.; Yilmaz, N.; Tuncel, N.; Sumer, S.; Buyukcan, M. Foods, Quality Properties, Mass Transfer Characteristics and Energy Consumption during Shortwave Infrared Radiation Drying of Tomato. *Qual. Assur. Saf. Crops Foods* 2016, 8, 447–456. DOI: 10.3920/QAS2014.0550.
- [86] Georg'e, S.; Tourniaire, F.; Gautier, H.; Goupy, P.; Rock, E.; Caris-Veyrat, C. Changes in the Contents of Carotenoids, Phenolic Compounds and Vitamin C during Technical Processing and Lyophilisation of Red and Yellow Tomatoes. *Food Chem.* 2011, 124, 1603–1611. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.08.024.
- [87] Lopez-Quiroga, E.; Prosapio, V.; Fryer, P. J.; Norton, I. T.; Bakalis, S. Model Discrimination for Drying and Rehydration Kinetics of Freeze-Dried Tomatoes. *J. Food Process Eng.* 2020, 43, e13192. DOI: 10.1111/jfpe.13192.

- [88] Bilek, S. E.; Değirmenci, A.; Tekin, I.; Yilmaz, F. M. Combined Effect of Vacuum and Different Freezing Methods on the Quality Parameters of Cherry Tomato (*Lycopersicon esculentum* Var. *Cerasiforme*). *Food Measure*. 2019, 13, 2218–2229. DOI: 10.1007/s11694-019-00142-3.
- [89] Tan, S.; Ke, Z.; Chai, D.; Miao, Y.; Luo, K.; Li, W. Lycopene, Polyphenols and Antioxidant Activities of Three Characteristic Tomato Cultivars Subjected to Two Drying Methods. *Food Chem*. 2021, 338, 128062. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128062.
- [90] Tonon, R. V.; Baroni, A. F.; Hubinger, M. D. Osmotic Dehydration of Tomato in Ternary Solutions: Influence of Process Variables on Mass Transfer Kinetics and an Evaluation of the Retention of Carotenoids. *J. Food Eng* 2007, 82, 509–517. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.03.008.
- [91] Souza, J. S.; Medeiros, M. F.; Magalhães, M. M.; Rodrigues, S.; Fernandes, F. A. Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes in a Ternary System Followed by Air-Drying. *J. Food Eng*. 2007, 83, 501–509. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.03.038.
- [92] Escher, G. B.; Coelho, S. R. M.; Christ, D. Optimization of Osmo-Convective Dehydration Process for Dry Tomato Production. *J. Food Proc. Pres*. 2017, 41, e12932. DOI: 10.1111/jfpp.12932.
- [93] Pani, P.; Leva, A. A.; Riva, M.; Maestrelli, A.; Torreggiani, D. Influence of an Osmotic Pre-Treatment on Structure-Property Relationships of Air-Dehydrated Tomato Slices. *J. Food Eng*. 2008, 86, 105–112. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.09.017.
- [94] Goula, A. M.; Lazarides, H. N. Modeling of Mass and Heat Transfer during Combined Processes of Osmotic Dehydration and Freezing (Osmo- Dehydro-Freezing). *Chem. Eng. Sci*. 2012, 82, 52–61. DOI: 10.1016/j.ces.2012.07.023.
- [95] Dermesonlouoglou, E. K.; Pantelaiaki, K.; Andreou, V.; Katsaros, G. J.; Taoukis, P. S. Osmotic Pretreatment for the Production of Novel Dehydrated Tomatoes and Cucumbers. *J. Food Proc. Pres*. 2019, 43, e13968. DOI: 10.1111/jfpp. 13968.
- [96] Al-Muhtaseb, A. a H.; Al-Harashsheh, M.; Hararah, M.; Magee, T. Drying Characteristics and Quality Change of Unutilized-Protein Rich-Tomato Pomace with and without Osmotic Pre-Treatment. *Ind. Crops Prod*. 2010, 31, 171–177. DOI: 10.1016/j.indcrop.2009.10.002.
- [97] Brooks, M. S.; Ghaly, A. E.; Abou El-Hana, N. H. Drying Kinetics of Osmotically Pre-Treated Plum Tomato Pieces. *Int. J. Food Eng*. 2008, 4(8). DOI: 10.2202/1556-3758.1517.

- [98] Siriamornpun, S.; Ratseewo, J.; Kaewseejan, N.; Meeso, N. Effect of Osmotic Treatments and Drying Methods on Bioactive Compounds in Papaya and Tomato. *RSC Adv.* 2015, 5, 18579–18587. DOI: 10.1039/C4RA16927A.
- [99] Heredia, A.; Peinado, I.; Rosa, E.; Andrés, A.; Escriche, I. Volatile Profile of Dehydrated Cherry Tomato: Influences of Osmotic Pre-Treatment and Microwave Power. *Food Chem.* 2012, 130, 889–895. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.003.
- [100] Corrêa, J.; Viana, A. D.; de Mendonça, K. S.; Justus, A. Optimization of Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Sliced Tomato. *Drying Energy Technol.* 2016, 63, 207–228. DOI: 10.1007/978-3-319-19767-8\_11.
- [101] Corrêa, J. L.; Justus, A.; de Oliveira, L. F.; Alves, G. E. Osmotic Dehydration of Tomato Assisted by Ultrasound: evaluation of the Liquid Media on Mass Transfer and Product Quality. *Int. J. Food Eng.* 2015, 11, 505–516. DOI: 10.1515/ijfe-2015-0083.
- [102] Esehaghbeygi, A.; Basiry, M. Electrohydrodynamic (EHD) Drying of Tomato Slices (*Lycopersicon esculentum*). *J. Food Eng.* 2011, 104, 628–631. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.01.032.
- [103] Andritsos, N.; Dalampakis, P.; Kolios, N. Use of Geothermal Energy for Tomato Drying. *GHC Bull.* 2003, 24.
- [104] Hosainpour, A.; Darvishi, H.; Nargesi, F.; Fadavi, A. Ohmic Pre-Drying of Tomato Paste. *Food Sci. Technol. Int.* 2014, 20, 193–204. DOI: 10.1177/1082013213480360.
- [105] Haile, M. Microwave-Vacuum Drying Effect on Drying Kinetics, Lycopene and Ascorbic Acid Content of Tomato Slices. *J. Stored Prod. Postharvest Res.* 2013, 4, 11–22. DOI: 10.5897/JSPPR12.030.
- [106] Al-Asheh, S.; Jumah, R.; Banat, F.; Hammad, S. The Use of Experimental Factorial Design for Analysing the Effect of Spray Dryer Operating Variables on the Production of Tomato Powder. *Food Bioprod. Process.* 2003, 81, 81–88. DOI: 10.1205/096030803322088215.
- [107] Aswathy, S.; Suresha, G.; Sneha, N.; Sadananda, G. Microencapsulation of Lycopene Rich Cherry Tomato Powder Using Spray Drying. *IJCS* 2019, 7, 2270–2277.
- [108] Montiel-Ventura, J.; Luna-Guevara, J.; Tornero-Campante, M.; Delgado-Alvarado, A.; Luna-Guevara, M. Study of Encapsulation Parameters to Improve Content of Lycopene in Tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) Powders. *Acta Alimentaria* 2018, 47, 135–142. DOI: 10.1556/066.2018.47.2.1.

- [109] Goula, A. M.; Adamopoulos, K. G. Spray Drying of Tomato Pulp: effect of Feed Concentration. *Drying Technol.* 2004, 22, 2309–2330. DOI: 10.1081/DRT- 200040007.
- [110] Corrêa-Filho, L. C.; Lourenc\_o, S. C.; Duarte, D. F.; Moldão-Martins, M.; Alves, V. D. Microencapsulation of Tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) Pomace Ethanolic Extract by Spray Drying: Optimization of Process Conditions. *Appl. Sci.* 2019, 9, 612. DOI: 10.3390/app9030612.
- [111] Tontul, I.; Topuz, A.; Ozkan, C.; Karacan, M. Effect of Vegetable Proteins on Physical Characteristics of Spray-Dried Tomato Powders. *Food Sci. Technol. Int.* 2016, 22, 516–524. DOI: 10.1177/ 1082013216629528.
- [112] Parisotto, E. I.; Teleken, J. T.; Laurindo, J. B.; Carciofi, B. A. Mathematical Modeling and Experimental Assessment of the Cast-Tape Drying. *Drying Technol.* 2020, 38, 1024–1035. DOI: 10. 1080/07373937.2019.1610768.
- [113] Castoldi, M.; Zotarelli, M.; Durigon, A.; Carciofi, B.; Laurindo, J. Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technol.* 2015, 33, 1463–1473. DOI: 10.1080/07373937.2014. 989327.
- [114] Durigon, A.; Parisotto, E. I. B.; Carciofi, B. A. M.; Laurindo, J. B. Heat Transfer and Drying Kinetics of Tomato Pulp Processed by Cast-Tape Drying. *Drying Technol.* 2018, 36, 160–168. DOI: 10.1080/ 07373937.2017.1304411.
- [115] Durigon, A.; de Souza, P. G.; Carciofi, B. A. M.; Laurindo, J. B. Cast-Tape Drying of Tomato Juice for the Production of Powdered Tomato. *Food Bioprod. Process.* 2016, 100, 145–155. DOI: 10.1016/ j.fbp.2016.06.019.
- [116] Trojosky, M. Rotary Drums for Efficient Drying and Cooling. *Drying Technol.* 2019, 37, 632–651. DOI: 10.1080/07373937.2018.1552597.
- [117] Milczarek, R. R.; Ferry, J. J.; Alleyne, F. S.; Olsen, C. W.; Olson, D. A.; Winston, R. Solar Thermal Drum Drying Performance of Prune and Tomato Pomaces. *Food Bioprod. Process.* 2017, 106, 53–64. DOI: 10.1016/j.fbp.2017.08.009.
- [118] Olorunda, A.; Aworh, O.; Onuoha, U. Upgrading Quality of Dried Tomato: Effects of Drying Methods, Conditions and Pre-Drying Treatments.. *J. Sci. Food Agric.* 1990, 52, 447–454. DOI: 10.1002/ jsfa.2740520403.

- [119] Qiu, J.; Acharya, P.; Jacobs, D. M.; Boom, R. M.; Schutyser, M. A. A Systematic Analysis on Tomato Powder Quality Prepared by Four Conductive Drying Technologies. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 2019, 54, 103–112. DOI: 10.1016/j.ifset. 2019.03.013.
- [120] Ratti, C.; Kudra, T. Drying of Foamed Biological Materials: opportunities and Challenges. *Drying Technol.* 2006, 24, 1101–1108. DOI: 10.1080/ 07373930600778213.
- [121] Kadam, D. M.; Balasubramanian, S. Foam Mat Drying of Tomato Juice. *J. Food Process. Preserv.* 2011, 35, 488–495. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2010. 00492.x.
- [122] Chaux-Gutiérrez, A. M.; Santos, A. B.; Granda- Restrepo, D. M.; Mauro, M. A. Foam Mat Drying of Mango: Effect of Processing Parameters on the Drying Kinetic and Product Quality. *Drying Technol.* 2017, 35, 631–641. DOI: 10.1080/ 07373937.2016.1201486.
- [123] Olaniyan, A. M.; Adeoti, J. A.; Sunmonu, M. O. Computing Scientific, Effect of Foaming Agent, Foam Stabilizer and Whipping Time on Drying Process of Tomato Paste under Different Drying Equipment. *Int. J. Model. Simul. Sci. Comput.* 2017, 08, 1740004. DOI: 10.1142/S1793962317400049.
- [124] Kadam, D. M.; Wilson, R. A.; Kaur, S. Manisha, Influence of Foam Mat Drying on Quality of Tomato Powder. *Int. J. Food Prop.* 2012, 15, 211–220. DOI: 10.1080/10942911003763701.
- [125] Sramek, M.; Schweiggert, R. M.; van Kampen, A.; Carle, R.; Kohlus, R. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. *J. Food Sci.* 2015, 80, E1755–E1762. DOI: 10.1111/1750-3841.12965.
- [126] Lavelli, V.; Torresani, M. C. Modelling the Stability of Lycopene-Rich by-Products of Tomato Processing. *Food Chem.* 2011, 125, 529–535. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.09.044.
- [127] Silva, Y. P.; Ferreira, T. A.; Celli, G. B.; Brooks, M. S. Optimization of Lycopene Extraction from Tomato Processing Waste Using an Eco-Friendly Ethyl Lactate–Ethyl Acetate Solvent: A Green Valorization Approach. *Waste Biomass Valor.* 2019, 10, 2851–2861. DOI: 10.1007/s12649-018-0317-7.
- [128] Mounir, S.; Allaf, T.; Mujumdar, A. S.; Allaf, K. Swell Drying: Coupling Instant Controlled Pressure Drop DIC to Standard Convection Drying Processes to Intensify Transfer Phenomena and Improve Quality—an Overview. *Drying Technol.* 2012, 30, 1508–1531. DOI: 10.1080/07373937.2012. 693145.

- [129] Louka, N.; Juhel, F.; Allaf, K. Quality Studies on Various Types of Partially Dried Vegetables Texturized by Controlled Sudden Decompression: General Patterns for the Variation of the Expansion Ratio. *J. Food Eng.* 2004, 65, 245–253. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.01.021.
- [130] Goula, A. M.; Adamopoulos, K. G. Stability of Lycopene during Spray Drying of Tomato Pulp. *LWT-Food Sci. Technol.* 2005, 38, 479–487. DOI: 10.1016/j.lwt.2004.07.020.
- [131] Goula, A. M.; Adamopoulos, K. G. Spray Drying Performance of a Laboratory Spray Dryer for Tomato Powder Preparation. *Drying Technol.* 2003, 21, 1273–1289. DOI: 10.1081/DRT-120023180.
- [132] Goula, A. M.; Adamopoulos, K. G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. *Drying Technol.* 2008, 26, 726–737. DOI: 10.1080/07373930802046377.
- [133] Qiu, J.; Boom, R. M.; Schutyser, M. A. Agitated Thin-Film Drying of Foods. *Drying Technol.* 2019, 37, 735–744. DOI: 10.1080/07373937.2018.1458037.
- [134] Borguini, R. G.; Ferraz da Silva Torres, E. A. Tomatoes and Tomato Products as Dietary Sources of Antioxidants. *Food Rev. Inter.* 2009, 25, 313–325. DOI: 10.1080/87559120903155859.
- [135] Shi, J.; Maguer, M. L. Lycopene in Tomatoes: chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2000, 40, 1–42. DOI: 10.1080/10408690091189275.
- [136] Chang, C.; Liu, Y. Study on Lycopene and Antioxidant Contents Variations in Tomatoes under air-drying process. *J. Food Sci.* 2007, 72, E532–E540. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00570.x.
- [137] Mendelová, A.; Mendel, L.; Fikselová, M.; Czako, P. Effect of Drying Temperature on Lycopene Content of Processed Tomatoes. *Potravinárstvo Slovak J. Food Sci.* 2013, 7(1), 141–145. DOI: 10.5219/300.
- [138] da Cruz, P. M. F.; Braga, G. C.; de Grandi, A. M. Chemical Composition, Color and Sensory Quality of Tomato Dried at Different Temperatures. *Sem. Ci. Agr.* 2012, 33, 1475–1486. DOI: 10.1007/s00231-016-1946-7.
- [139] Sahin, F. H.; Aktas, T.; Orak, H.; Ulger, P.; Sahin, H.; Aktas, T.; Ulger, P. Influence of Pretreatments and Different Drying Methods on Color Parameters and Lycopene Content of Dried Tomato. *Bulga. J. Agric. Sci.* 2011, 17, 867–881.

- [140] Kerkhofs, N.; Lister, C.; Savage, G. Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars following Forced-Air Drying. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2005, 60, 117–121. DOI: 10.1007/s11130-005-6839-8.
- [141] Martínez-Hernández, G. B.; Boluda-Aguilar, M.; Taboada-Rodríguez, A.; Soto-Jover, S.; Marín-Iniesta, F.; López-Goómez, A. Processing, Packaging, and Storage of Tomato Products: influence on the Lycopene Content. *Food Eng. Rev.* 2016, 8, 52–75. DOI: 10.1007/s12393-015-9113-3.
- [142] Davoodi, M. G.; Vijayanand, P.; Kulkarni, S.; Ramana, K. Effect of Different Pre-Treatments and Dehydration Methods on Quality Characteristics and Storage Stability of Tomato Powder. *LWT-Food Sci. Technol* 2007, 40, 1832–1840. DOI: 10.1016/j.lwt.2006.12.004.
- [143] Jorge, A.; Almeida, D. M.; Canteri, M. H. G.; Sequinel, T.; Kubaski, E. T.; Tebcherani, S. M. Evaluation of the Chemical Composition and Colour in Long-Life Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill) Dehydrated by Combined Drying Methods. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2014, 49, 2001–2007. DOI: 10.1111/ijfs.12501.
- [144] Mwende, R.; Owino, W.; Imathiu, S. Effects of Pretreatment during Drying on the Antioxidant Properties and Color of Selected Tomato Varieties. *Food Sci. Nutr.* 2018, 6, 503–511. DOI: 10.1002/fsn3.581.
- [145] Surendar, J.; Dm, S.; Pd, S. Effect of Drying on Quality Characteristics of Dried Tomato Powder. *J. Pharma. Phytochem.* 2018, 7, 2690–2694.
- [146] Bradshaw, M. P.; Barril, C.; Clark, A. C.; Prenzler, P. D.; Scollary, G. R. Ascorbic Acid: A Review of Its Chemistry and Reactivity in Relation to a Wine Environment. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2011, 51, 479–498. DOI: 10.1080/10408391003690559.
- [147] Abbas, S.; Da Wei, C.; Hayat, K.; Xiaoming, Z. Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and trends - A Review. *Food Rev. Inter* 2012, 28, 343–374. DOI: 10.1080/87559129.2011.635390.
- [148] Kaur, R.; Kaur, K.; Ahluwalia, P. Effect of Drying Temperatures and Storage on Chemical and Bioactive Attributes of Dried Tomato and Sweet Pepper. *LWT-Food Sci. Technol.* 2020, 117, 108604. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108604.
- [149] Arslan, D., and M. M. Özcan. Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters. *CyTA-J. Food* 2011, 9.3, 229–236. DOI: 10.1080/19476337.2010.522734.

- [150] Joshi, N.; Gariepy, Y.; Raghavan, G. V. Comparative Evaluation of Different Pretreatments on Tomato Slices Dried in a Cabinet Air Drier. *Int. J. Food Eng.* 2008, 4(7). DOI: 10.2202/1556-3758.1261.
- [151] Askari, G. R.; Emam-Djomeh, Z.; Tahmasbi, M. Effect of Various Drying Methods on Texture and Color of Tomato Halves. *J. Texture Stud.* 2009, 40, 371–389. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2009.00187.x.
- [152] Durance, T.; Wang, J. Energy Consumption, Density, and Rehydration Rate of Vacuum Microwave-and Hot-Air Convection-Dehydrated Tomatoes. *J. Food Sci.* 2002, 67, 2212–2216. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09529.x.
- [153] Moreno, G.,D. C.; D'iaz-Moreno, A. C. Effect of Air Drying Process on the Physicochemical, Antioxidant, and Microstructural Characteristics of Tomato cv. Chonto. *Agronomía Colombiana* 2017, 35, 100–106. DOI: 10.15446/agron.colomb.v35n1.57727.
- [154] Petro-Turza, M. Flavor of Tomato and Tomato Products. *Food Rev. Int.* 1986, 2, 309–351. DOI: 10.1080/87559128609540802.
- [155] Markovi'c, K.; Vah'ci'c, N.; Gani'c, K. K.; Banovi'c, M. Aroma Volatiles of Tomatoes and Tomato Products Evaluated by Solid-Phase Microextraction. *Flavour Fragr. J.* 2007, 22, 395–400. DOI: 10.1002/ffj.1811.
- [156] Kelebek, H.; Kesen, S.; Sonmezdag, A. S.; Cetiner, B.; Kola, O.; Selli, S. Characterization of the Key Aroma Compounds in Tomato Pastes as Affected by Hot and Cold Break Process. *Food Measure.* 2018, 12, 2461–2474. DOI: 10.1007/s11694-018-9863-8.
- [157] Paolo, D.; Bianchi, G.; Morelli, C. F.; Speranza, G.; Campanelli, G.; Kidmose, U.; Scalzo, R. L. Impact of Drying Techniques, Seasonal Variation and Organic Growing on Flavor Compounds Profiles in Two Italian Tomato Varieties. *Food Chem.* 2019, 298, 125062 DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125062.
- [158] Rajkumar, G.; Rajan, M.; Araujo, H.; Jesus, M.; Leite Neta, M.; Sandes, R.; Narain, N. Comparative Evaluation of Volatile Profile of Tomato Subjected to Hot Air, Freeze, and Spray Drying. *Drying Technol.* 2021, 39(3), 383–391. DOI: 10.1080/07373937.2020.1842441.
- [159] Sarkar, A.; Kaul, P. Evaluation of Tomato Processing by-Products: A Comparative Study in a Pilot Scale Setup. *J. Food Process. Eng.* 2014, 37, 299–307. DOI: 10.1111/jfpe.12086.



- [171] Concha-Meyer, A. A.; Durham, C. A.; Colonna, A. E.; Hasenbeck, A.; S´aez, B.; Adams, M. R. Consumer Response to Tomato Pomace Powder as an Ingredient in Bread: impact of Sensory Liking and Benefit Information on Purchase Intent. *J. Food Sci.* 2019, 84, 3774–3783. DOI: 10.1111/1750-3841.14932.
- [172] Majzoobi, M.; Ghavi, F. S.; Farahnaky, A.; Jamalian, J.; Mesbahi, G. Effect of Tomato Pomace Powder on the Physicochemical Properties of Flat Bread (Barbari Bread). *J. Food Process. Preserv.* 2011, 35, 247–256. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2009.00447.x.
- [173] Qiu, Z. Z.; Chin, K. B. Physicochemical Properties and Shelf-Life of Regular-Fat Sausages with Various Levels of Grape Tomato Powder Prepared by Different Drying Methods. *Food Sci. Anim. Resour.* 2020, 40, 722–733. DOI: 10.5851/KOSFA.2020.E47.
- [174] Savadkoobi, S.; Hoogenkamp, H.; Shamsi, K.; Farahnaky, A. Color, Sensory and Textural Attributes of Beef Frankfurter, Beef Ham and Meat-Free Sausage Containing Tomato Pomace. *Meat Sci.* 2014, 97, 410–418. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.03.017.
- [175] Galvˆao, A. M. M. T.; de Oliveira Araujo, A. W.; Carneiro, S. V.; Zambelli, R. A.; Bastos, M. d S. R. Coating Development with Modified Starch and Tomato Powder for Application in Frozen Dough. *Food Packa. Shelf Life* 2018, 16, 194–203. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.04.003.
- [176] Mallampati, R.; Valiyaveetil, S. Application of Tomato Peel as an Efficient Adsorbent for Water Purification—Alternative Biotechnology. *RSC Adv.* 2012, 2, 9914–9920. DOI: 10.1039/c2ra21108d.
- [177] AOAC International. *Official Methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC Int; 2000.
- [177] AOAC International. *Official Methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg, MD: AOAC Int; 2000.
- [178] Barret DM, Anthon GE. Lycopene content of California-grown tomato varieties. *Acta Horticult* 2001; 542:165-73.
- [179] Barret DM, Anthon GE. Color quality of tomato products. Color quality fresh and processed foods; 2008131-9.
- [180] G. Di Lecce et al., *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 2013, 8373-8380
- [181] Islam, M.R.; Ho, J.C.; Mujumdar, A.S. Convective drying with time-varying heat input: simulation results. *Drying Technology* 2003, 21 (7), 1333–1356.

- [182] Prasertsan, S.; Saen-Saby, P. Heat pump drying of agricultural materials. *Drying Technology* 1998, 16 (1&2), 235–250.
- [183] Flanzy, C., Flanzy, M., & Benard, P. (1987). *La vinification par macération carbonique*. Paris: INRA.
- [184] Alinia, R., Zabihi, S., Esmailzadeh, F., & Kalajahi, J. F. (2010). Pretreatment of wheat straw by supercritical CO<sub>2</sub> and its enzymatic hydrolysis for sugar production. *Biosystems Engineering*, 107(1), 61–66.
- [185] Gunes, G., Blum, L. K., & Hotchkiss, J. H. (2005). Inactivation of yeasts in grape juice using a continuous dense phase carbon dioxide processing system. *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, 85(14), 2362–2368.
- [186] Wang, Y., Tao, H., Yang, J., An, K., Ding, S., Zhao, D., & Wang, Z. (2014). Effect of carbonic maceration on infrared drying kinetics and raisin qualities of red globe (*Vitis vinifera* L.): A new pre-treatment technology before drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.*, 26, 462–468.
- [187] Liu, L., Wang, Y., Zhao, D., An, K., Ding, S., & Wang, Z. (2014). Effect of carbonic maceration pre-treatment on drying kinetics of chilli (*Capsicum annuum* L.) flesh and quality of dried product. *Food and Bioprocess Technology.*, 7(9), 2516–2527.
- [188] Nikita S. Bhatkar, Shivanand S. Shirkole, Arun S. Mujumdar & Bhaskar N. Thorat (2021) Drying of tomatoes and tomato processing waste: a critical review of the quality aspects, *Drying Technology*, 39:11, 1720-1744, DOI: 10.1080/07373937.2021.1910832.
- [189] Dariusz Góral, Franciszek Kluza and Katarzyna Kozłowicz (2016), Spouted Bed and Jet Impingement Fluidization in Food Industry, DOI: 10.5772/68105
- [190] Tatsuya Oshima, Kodai Kato, Teppei Imaizumi (2021). Effects of blanching on drying characteristics, quality, and pectin nanostructures of dried cut-persimmons, *LWT*, Volume 143, ISSN 0023-6438, doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111094.
- [191] Dan Huang, Kaiyang Men, Dapeng Li, Tao Wen, Zhongliang Gong, Bengt Sunden, Zan Wu. Application of ultrasound technology in the drying of food products, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 63, 2020, 104950, ISSN 1350-4177, doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104950.