

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

DAFNAE

Department of Agronomy Food
Natural resources Animals Environment

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

Influenza dell'essiccazione a basse ed alte temperature su difetti e qualità della pasta secca

LAUREANDO

Elisa Zanlorenzi

Matricola n. 2006861

RELATORE

Lorenzo Guerrini

Università di Padova

ANNO ACCADEMICO
2022/2023

Sommario

La presente tesi ha lo scopo evidenziare gli effetti del processo di essiccazione sui difetti e sulla qualità della pasta. In letteratura, infatti, esistono numerosi studi che mostrano la relazione fra la qualità della pasta e la componente meccanico-impiantistica. L'impianto è in genere costituito da:

- Una struttura meccanica che costituisce il corpo dell'essiccatoio,
- Le unità che forniscono energia termica e consentono il ricambio aria,
- Elementi di automazione, rappresentato da dei software e degli attuatori che autonomamente, sotto la direttiva umana, gestiscono i parametri necessari al completamento del processo.

Queste componenti consentono l'applicazione di valori necessari in temperatura ed umidità, nei vari punti dell'essiccatoio, in una certa unità di tempo, che porti al risultato finale voluto, cioè una pasta con un omogeneo contenuto finale di acqua. Essendo, l'obiettivo finale della essiccazione, l'ottenimento di un prodotto qualitativamente valido, stabile nel tempo, e che si presenti, all'aspetto, il più uniforme possibile bisogna monitorare numerosi i parametri del processo di essiccazione. L'analisi di tutte le componenti del processo e della loro influenza reciproca permetterà di capire come ottimizzare alcuni parametri per garantire la produzione di pasta con le caratteristiche qualitative richieste dal mercato e dal consumatore.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	La pasta	1
1.2	Componenti principali della semola di grano duro	2
1.2.1	Amido	2
1.2.2	Proteine del glutine	3
1.2.3	Acqua	4
1.3	Interazioni tra acqua, amido e glutine	5
2	Processo di lavorazione della pasta	6
2.1	Dosatura e miscelazione	7
2.1.1	Idratazione della pasta	7
2.1.2	Effetti dell'idratazione sulla qualità della pasta	8
2.2	Dall'impastamento alla modellatura	9
2.2.1	Diversi formati della pasta	9
2.3	Essiccazione	10
2.3.1	Operazioni che riguardano l'essiccazione	10
3	Essiccazione	12
3.1	Pre-essiccazione ed essiccazione	12
3.1.1	Diagramma di essiccazione	14
3.2	Essiccazione ad alta e bassa temperatura	14
3.3	Impianto di essiccazione	16
3.3.1	Essiccazione statica	16
3.3.2	Essiccazione continua	17
3.3.3	Funzionamento essiccatore	18
3.3.4	Stabilizzazione	20
3.4	Fenomeni fisici relativi all'essiccazione	20
3.4.1	Umidità assoluta e relativa	20

3.4.2	Influenza delle caratteristiche di forma della pasta	21
3.5	Controllo delle condizioni di essiccazione	23
3.6	Nuovi metodi per essiccare la pasta	24
3.6.1	Essiccazione a microonde	24
3.6.2	Essiccazione sotto vuoto	25
3.7	Sviluppo tecnologico e produzione della pasta	26
4	Qualità e difetti della pasta	29
4.1	Influenza delle temperature di essiccazione	29
4.1.1	Reazione di Maillard e colore	30
4.1.2	Modificazione dei granuli di amido	32
4.1.3	Gelatinizzazione dell'amido	34
4.1.4	Modificazione delle proteine	35
4.2	Principali difetti della pasta	38
5	Conclusioni	40
	Bibliografia	41



Introduzione

1.1 La pasta

La pasta è uno degli alimenti di base più diffusi e popolari a livello mondiale grazie al suo valore nutrizionale e organolettico, alla sua praticità d'uso e alla versatilità in cucina. La pasta [1] gioca un ruolo essenziale nella tradizione italiana; è considerato, di fatto, il prodotto più consumato nel territorio italiano e vede il paese Italia come il maggior produttore ed esportatore. Secondo la legislazione italiana, in riferimento al Decreto del Presidente della Repubblica n.146 [2], viene denominato "pasta di semola di grano duro" il prodotto ottenuto dalla trafilazione, laminazione e conseguente essiccazione di impasti preparati esclusivamente da: acqua potabile e semola di grano o semolato di grano duro. È di fatto noto che la semola di grano duro è in grado di garantire la migliore qualità del prodotto in termini di resistenza al processo di lavorazione, capacità reologiche dell'impasto e stabilità del prodotto nel tempo.

Al giorno d'oggi, la pasta è un prodotto versatile che si adatta alle nuove tecnologie nel processo di lavorazione, ma soprattutto alle nuove esigenze del consumatore come nel caso dell'avvento della pasta integrale. Come presente nella figura 1.1, il mercato è in evoluzione continua per soddisfare l'interesse dei consumatori per i nuovi tipi di pasta che mirano a ottenere particolari benefici nutrizionali derivanti dalle singole materie prime che si possono impiegare nella produzione. La ricerca e lo sviluppo, negli ultimi dieci anni, si sono incentrati sulla produzione di pasta funzionale. In questo caso, uno dei principali obiettivi

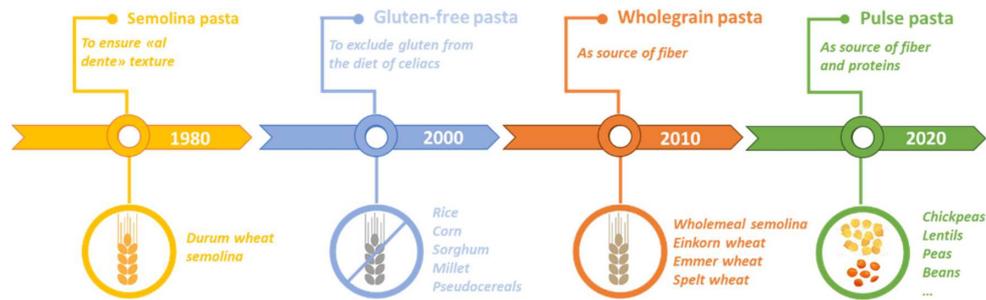


Figura 1.1: Evoluzione dei tipi di pasta e delle relative materie prime [1]

dei ricercatori è quello di arricchire il prodotto con il massimo contenuto di fibre senza modificare le caratteristiche tradizionali della pasta. Altri studi invece si concentrano sulla formulazione della pasta, includendo farine di cereali diversi dal grano duro, come pasta di quinoa o pasta con farina di riso, e sull'aggiunta di altri ingredienti, tra cui verdure e legumi, per migliorare ed aumentare l'aspetto nutrizionale della pasta.

1.2 Componenti principali della semola di grano duro

La composizione nutritiva della semola di grano duro è di fondamentale importanza per assicurare un buon risultato nella produzione della pasta [3]. I componenti chimici nutritivi maggiormente presenti sono amido e proteine del glutine, a seguire si trovano i lipidi, cellulosa, minerali e vitamine.

1.2.1 Amido

Nelle farine e nelle semole l'**amido** è quantitativamente il componente principale (60%-65%). Chimicamente è una sostanza glucidica formata da microscopici granuli ed è un polisaccaride di riserva formato da amilopectina, catena ramificata di unità di glucosio con legami α -1,6 e α -1,4, e amilosio, catena lineare di unità di glucosio con legami α -1,4. Amilosio e amilopectina sono fisicamente associati in una struttura reticolare di tipo "cristallino" e formano dei granuli con dimensioni tra i 2 - 50 μ m. L'amido è insolubile in acqua fredda, ma posto in acqua calda diventa solubile. In presenza di acqua calda, gli enzimi specifici presenti nell'amido, ovvero le **amilasi**, rompono parte dei legami chimici

che tengono insieme le unità di glucosio. Questi legami spezzandosi liberano i prodotti di demolizione: maltosio, destrine e glucosio. Le destrine sono le principali responsabili della collosità della pasta mentre il maltosio e il glucosio danno il tipico sapore dolciastro.

1.2.2 Proteine del glutine

La componente proteica del frumento cambia a seconda delle varietà, delle zone di produzione e delle condizioni idroclimatiche delle annate agrarie, delle tecniche di coltivazione e tanti altri. Nonostante la grande diversità, la media percentuale del contenuto proteico della semola di grano duro è circa del 13%. Le principali proteine contenute nella semola sono rappresentate da due componenti: le **glutenine** e le **gliadine**. Il restante contenuto proteico è rappresentato da amminoacidi liberi, albumina e globulina. Le gliadine e le glutenine, in presenza di acqua e di energia meccanica, partecipano alla formazione del reticolo glutinico donando all'impasto proprietà visco-elastiche che sono alla base dei processi tecnologici per la produzione di molti prodotti derivati del frumento, tra i quali la pasta.

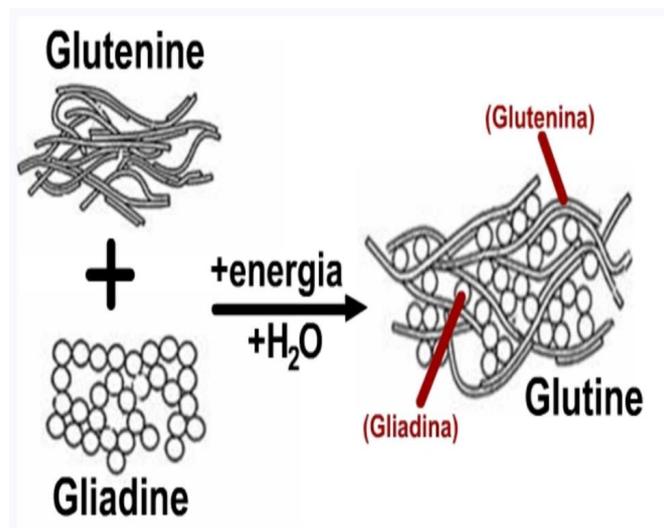


Figura 1.2: Formazione del reticolo glutinico [3]

La matrice proteica intrappola i granuli di amido durante la cottura, conferendo così alla pasta la sua particolare struttura, riducendo la perdita di solidi nell'acqua di cottura e riducendo così lo strato appiccicoso superficiale. Il grano

duro con bassi livelli di contenuto proteico produce una pasta estremamente fragile e poco compatta. A differenza, un grano duro ad alto contenuto proteico permette alla pasta di gonfiarsi durante la cottura e migliora la consistenza, con una migliore conservazione della compattezza che è anche associata a una minore collosità. Un alto contenuto proteico e una buona qualità del glutine costituiscono i presupposti di base per la formazione di impasti di elevata qualità [4].

1.2.3 Acqua

È la protagonista principale dell'essiccazione della pasta. Deve essere potabile e, secondo le specifiche tecniche del pastificio XXX, la sua durezza non deve superare i 32 gradi idrotimetrici [5]. Essa contiene normalmente sali di calcio, di sodio e di magnesio, presenti sotto forma di carbonati e bicarbonati. Questi sali presenti potrebbero far accrescere l'assorbimento di acqua da parte del reticolo glutinico, ma se in presenza troppo elevata, possono far perdere elasticità al glutine che tenderà ad indebolirsi [4].

Controllo chimico e controllo microbiologico dell'acqua sono due delle analisi che non possono mai mancare all'interno di un laboratorio industriale di un pastificio. L'acqua igienicamente non adeguata e con contenuto troppo elevato di sali deve essere scartata dall'uso oppure trattata prima dell'uso. Il controllo microbiologico deve essere effettuato secondo i criteri previsti dal Regolamento CE 852/2004 per evitare il rischio di contaminazioni nel prodotto finale. Secondo la legge, è possibile ottenere la purezza microbiologica dell'acqua attraverso trattamenti a base di agenti antibatterici. Il trattamento più comune è l'immissione di cloro allo stato gassoso nell'acqua. Il cloro reagendo con l'acqua sviluppa ossigeno che ha azione distruttiva contro i batteri, ma il cloro residuo deve essere eliminato. Naturalmente, esso si neutralizza grazie alle sue reazioni con l'acqua, ma una piccola quantità resta presente e questo non giova alla pasta poiché agisce come ossidante durante la preparazione dell'impasto, influenzando negativamente sul colore finale del prodotto.

1.3 Interazioni tra acqua, amido e glutine

Il glutine, rispetto all'amido, assorbe il doppio del proprio peso di acqua e tende a trattenerla maggiormente attraverso i complessi legami chimici presenti. In aggiunta, esso tende ad assorbire più velocemente l'acqua una volta avviata la sua formazione. Tuttavia, l'amido è presente nella semola in quantità molto maggiori al contrario del glutine e quindi, durante l'impastamento, è necessario garantire una corretta ripartizione di acqua tra i due componenti. Bisogna ad ogni modo considerare che se l'acqua non viene distribuita uniformemente già nella miscelatura si avranno problemi di assorbimento di essa dalle due macromolecole che andranno in competizione. È bene anche sottolineare che la capacità del glutine di trattenerne l'acqua dipende dalla sua qualità, e questo fornisce la spiegazione al fatto che la pasta di semola di grano duro prevale su tutte gli altri tipi di pasta formulati con altre farine o semole [4].

2

Processo di lavorazione della pasta

In questo capitolo si andrà a trattare il processo di lavorazione della pasta. La produzione della pasta è divisa in tre grandi passaggi: miscelazione, estrusione ed essiccazione [6].

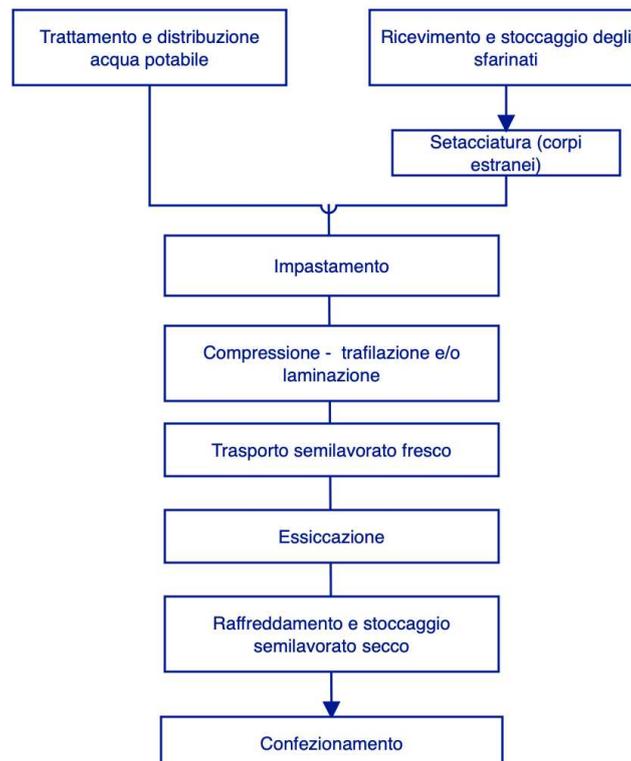


Figura 2.1: Processo produttivo della pasta [6]

2.1 Dosatura e miscelazione

Nella prima fase della lavorazione della pasta, la semola e l'acqua vengono dosate e miscelata insieme all'interno di un'impastatrice per formare un impasto omogeneo con umidità totale di circa 30-32% [1]. L'idratazione dell'impasto deve essere uniforme per assicurare una corretta interazione tra le proteine del glutine, l'amido e l'acqua. L'opportuna idratazione assicura che ad ogni componente dell'impasto sia fornita la corretta quantità di acqua che lo stesso componente deve assorbire. A temperatura ambiente, le proteine e l'amido della semola si comportano come un materiale vetroso. Dopo l'aggiunta di acqua, le proteine diventano gommose ed elastiche, in grado di formare filamenti e fogli attraverso legami intermolecolari durante la miscelazione. La rete di glutine che si forma aiuta a intrappolare i granuli di amido nella pasta e a mantenere la forma della pasta durante la cottura. Oltre alla quantità di acqua, anche altri fattori possono influenzare la composizione dell'impasto e di conseguenza le proprietà tecnologiche e fisiche della pasta. Ad esempio, durante la macinazione della semola alcuni granuli si possono danneggiare: un granulo danneggiato assorbe acqua fino al doppio del proprio peso rispetto ad un granulo intero, che ne assorbe circa la metà [7]. Questo comporta un maggior consumo di acqua e una non equilibrata distribuzione di acqua tra l'amido e il reticolo glutinico, portando difettosità all'impasto. Un altro aspetto da considerare durante la formazione dell'impasto è l'eliminazione dell'aria atmosferica: quando si forma l'impasto è inevitabile che esso non imprigioni bolle di aria che possono rallentare il contatto dell'acqua con la superficie del granulo di amido. Per quanto sia impercettibile questo fenomeno è chiaro che rapportato alla quantità di impasto lavorato il suo effetto diventa rilevante. Per evitare che si inglobi eccessiva aria nell'impasto, nuovi sistemi tecnologici innovativi sono stati studiati e proposti ai pastifici. Tra i sistemi proposti, una pressa chiamata "Polymatic" riesce a miscelare acqua e semola in meno di 20 secondi e ad assicurare un minimo contatto con l'ossigeno in quanto il sistema opera sottovuoto [1].

2.1.1 Idratazione della pasta

La quantità d'acqua aggiunta alla semola è in relazione all'umidità percentuale che si vuole ottenere nell'impasto, la quale a sua volta deve essere messa in relazione con le necessità tecniche delle fasi successive di pre-essiccazione e di

essiccazione, ma soprattutto con il tipo di formato di prodotto. Ad esempio, nel caso di formati lunghi l'impasto dovrà essere tendenzialmente secco, per evitare allungamenti eccessivi durante la fase di essiccazione a causa del proprio peso gravitazionale. Un fattore, ancora oggi, molto discusso tra i pastai è la temperatura dell'acqua. Per acqua fredda si intende l'acqua a temperatura ambiente di circa 20-25 gradi centigradi, mentre per acqua calda l'acqua a 35-40 gradi centigradi. La scelta della temperatura può variare sia in base alla temperatura della semola, specialmente la semola stoccata in silos durante il periodo estivo avrà una temperatura più alta e quindi si andrà ad usare acqua fredda, sia in base al formato da estrarre. L'uso di acqua fredda è consigliato per le paste lunghe bucate a differenza delle paste corte di grosso diametro è preferibile l'uso di acqua fredda.

Formato	Umidità dell'impasto	Temperatura acqua impastamento
Spaghetti	30%	40- 60 °C
Pasta lunga bucata (Bucatini)	30%	40-60 °C
Pasta corta di grandi dimensioni (Macaroni)	33-34%	20-25 °C
Pasta corta di piccole dimensioni (Penne)	33-34%	20-25 °C

Figura 2.2: Tabella riassuntiva sulla relazione tra formato e umidità dell'impasto [5]

2.1.2 Effetti dell'idratazione sulla qualità della pasta

La quantità di acqua e la sua uniforme dispersione nella massa sono parametri fondamentali, poiché gli errori commessi durante la prima operazione sono difficilmente correggibili nelle successive fasi di pastificazione. In caso di iperidratazione il prodotto potrebbe risultare appiccicoso, con bassa resistenza meccanica e scarsa qualità di cottura, al contrario una idratazione troppo scarsa può fare sì che durante la fase di essiccazione si formi un difetto noto come "macchie bianche" [1]. Questo difetto è un fenomeno in stretta correlazione con la granulometria della semola impiegata; infatti, la presenza di punti bianchi nel prodotto essiccato è la conseguenza di una insufficiente idratazione delle particelle di semola più grosse.

2.2 Dall'impastamento alla modellatura

La modellatura dell'impasto serve a dare una forma precisa alla pasta. Può effettuarsi prevalentemente in due modi: per laminazione o estrusione. Il prodotto impastato viene estruso o laminato e passa attraverso i filtri pre-trafila, i quali hanno lo scopo di preservare l'integrità degli inserti in caso di anomalie negli impasti. L'impasto, dopo di che, prende la forma che si desidera ottenere attraverso l'utilizzo di trafile o stampi specifici.

Estrusione e laminazione. L'estrusione prevede la lavorazione dell'impasto in un cilindro, e attraverso una vite, la massa viene compressa e spinta verso la trafile, dove la pressione può raggiungere valori di 10 MPa o superiori. Questo approccio è il più utilizzato a livello industriale sia per la sua maggiore produttività e velocità ma anche per la sua versatilità in termini di formati di pasta. Il secondo metodo utilizzato (laminazione) consiste nel rotolare la pasta attraverso un canale in un cilindro, riducendo gradualmente lo spessore della pasta fino ad ottenere una sfoglia dello spessore desiderato. L'impasto viene sottoposto a pressione per un breve periodo solo quando passa attraverso l'intercapedine tra i due cilindri. Dopo l'estrusione della pasta, ci sono delle lame rotanti che tagliano la pasta all'altezza indicata dalla scheda tecnica del prodotto. [4].

2.2.1 Diversi formati della pasta

I formati di pasta contano oltre 300 sagome. A seconda del formato che si vuole ottenere e della porosità che si vuole dare, le trafile utilizzate possono essere costituite da due materiali, il rame e il teflon. La trafile in teflon (vedi figura 2.3 b) viene usata soprattutto per pasta di maggiori dimensioni, quali paccheri o conchiglioni, in cui si vuole ottenere una pasta al tatto più liscia senza rugosità. La trafile in rame dona alla pasta una elevata porosità e ruvidità, caratteristica importante per poter trattenere maggiormente i sughi. Una differenza sostanziale tra i due materiali è l'impatto sul colore. Se nella trafile in rame il colore è più opaco, nella trafile in teflon invece il colore è più vivo e tendente al giallo paglierino. L'uso di trafile in bronzo presenta gli svantaggi di una minore resa produttiva della pressa e di una più rapida usura dell'inserto della trafile, che sono le principali ragioni che promuovono l'uso del Teflon negli impianti ad alta velocità [4].



(a) Macchina per la trafilatura dell'impasto



(b) Esempio di trafilatura

Figura 2.3: Formazione della pasta attraverso le trafile [6]

2.3 Essiccazione

L'essiccazione è la fase finale del processo produttivo della pasta. Il processo di essiccazione è noto per conferire alla pasta secca le sue caratteristiche di stabilità fisica e chimica e per prolungarne la conservabilità. Lo scopo di quest'ultima fase è quello di ridurre gradualmente il contenuto di umidità della pasta fino ad un livello ottimale del 12,5% [6]. La qualità complessiva della cottura del prodotto finale è data da:

- alta densità
- bassa viscosità
- assenza di eccessiva collosità

Questi parametri sono il risultato di più fenomeni contemporanei che avvengono all'interno della pasta, la cui entità dipende dalle caratteristiche della materia prima e dalle condizioni di temperatura e umidità applicata durante l'asciugatura. Le variabili temperatura, umidità relativa e tempo, che regolano questa fase, possono essere modificate proponendo diverse combinazioni per migliorare le proprietà culinarie della pasta. Nel corso degli anni l'attenzione degli studi si è spostata soprattutto sugli effetti dei cicli di essiccazione ad alta e bassa temperatura, sulla denaturazione delle proteine e sulla qualità della pasta.

2.3.1 Operazioni che riguardano l'essiccazione

L'operazione di essiccazione è distinta in quattro fasi [8]

- **Riscaldamento.** Iniziale riscaldamento della pasta e aumento dell'umidità relativa all'interno dell'essiccatore.
- **Pre-essiccazione.** Questa prima parte prevede temperature alte e ventilazione energica per ridurre rapidamente la grossa quantità di acqua presente nell'impasto e per sfavorire reazioni di tipo chimico, enzimatico e microbiologico che potrebbero presentarsi se l'umidità non viene allontanata rapidamente.
- **Essiccazione.** Rispetto alla fase di pre-essiccazione, nella seconda parte serve un tempo maggiore e temperature più basse per consentire l'evaporazione dell'acqua dagli strati più interni.
- **Stabilizzazione.** Questa fase serve a redistribuire le particelle di acqua della pasta in modo da evitare che ci siano diverse concentrazioni di umidità tra lo strato interno e superficiale (figura 2.4). Se questo non avvenisse si potrebbe andare in contro a rotture del prodotto già all'interno della confezione oppure durante la cottura in pentola.

L'umidità della pasta all'uscita della trafila è di circa 32-31 % e si trova allo "stato plastico", ovvero l'impasto deformato dalla trafila mantiene la sua forma. Essendo importante che la pasta mantenga il formato desiderato è necessario procedere con un'essiccazione spinta che provochi una diminuzione dell'umidità iniziale. Quanto il contenuto di umidità scende sotto il 18-22 % la pasta si trova allo "stato elastico". In questa condizione la pasta è sottoposta ad una condizione di stress per cui si deforma, ma tende a ritornare alla sua forma primaria non appena l'essiccazione si arresta. Queste due diverse situazioni dello stato fisico del prodotto determinano la suddivisione del processo in incartamento o pre-essiccazione ed essiccazione [9]. La pre-essiccazione e l'essiccazione verranno descritte in modo più dettagliato nel capitolo successivo.

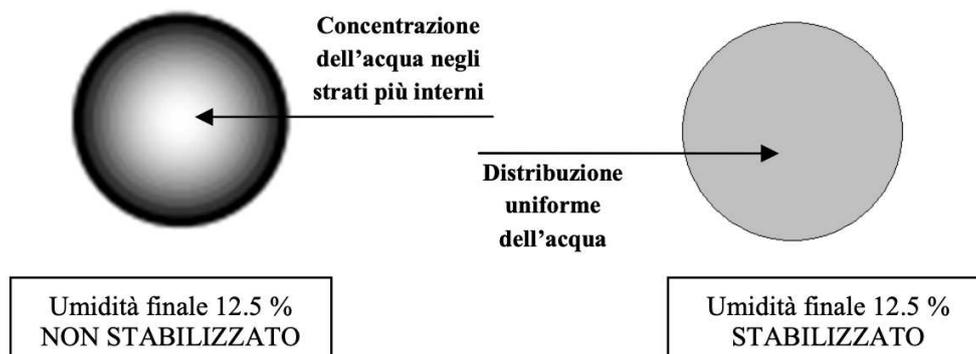


Figura 2.4: Distribuzione delle particelle d'acqua all'interno della pasta prima e dopo la stabilizzazione [6]

3

Essiccazione

Il terzo capitolo andrà a trattare degli impianti di essiccazione usati nell'industria per la produzione di pasta secca e i controlli da effettuare al fine di ottenere un prodotto di qualità.

3.1 Pre-essiccazione ed essiccazione

La fase di **pre-essiccazione**, chiamata anche "incartamento", consente una notevole riduzione dell'umidità, dal 32-30 % al 18-16 %, del prodotto in un tempo minore rispetto a quello richiesto per la fase di essiccazione; questo avviene grazie al fatto che la pre-essiccazione viene effettuata più velocemente a temperature intorno ai 75-80°C [6]. Come si può vedere nel grafico della figura 3.1, nella prima parte del processo la velocità di essiccazione è più elevata e viene mantenuta costante per il tempo necessario all'incartamento. È possibile, infatti, causare una rapida evaporazione dalla superficie della pasta applicando un'energia termica adeguata e contemporaneamente ventilando l'aria per impedire il ristagno di aria intorno al prodotto. All'inizio della pre-essiccazione la pasta ha un'umidità elevata che si riduce progressivamente riscaldando il prodotto. La prima parte di acqua che evaporerà sarà quella presente sulla superficie, successivamente l'acqua viene richiamata dagli strati interni. L'amido, in questa prima fase, è quello che cede l'acqua per primo poiché ha una capacità di ritenzione idrica minore rispetto al glutine. Lo strato esterno della pasta, in conseguenza a questo, tende ad "impoverirsi" di glutine che invece si concentra

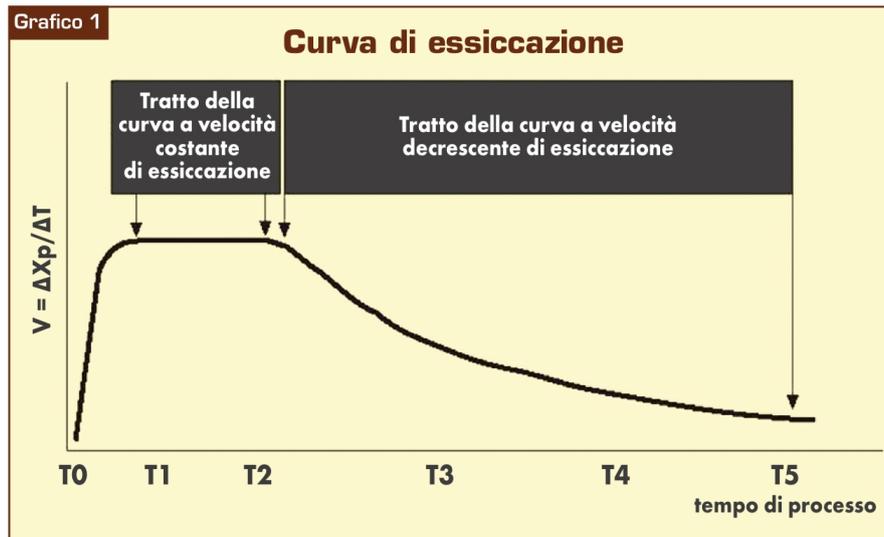


Figura 3.1: Grafico che descrive la velocità di essiccazione durante il processo [9]

negli strati interni dove l'umidità è maggiore [10]. Il non compensamento di questo disequilibrio porta ad un indebolimento della struttura esterna compromettendo la qualità finale e della pasta come, ad esempio, collosità superficiale e pasta viscida al palato. Quindi per impedire che si verifichi questo difetto, una volta raggiunta un'umidità del 25 % su base umida, si interrompe la ventilazione e si riscalda l'interno del prodotto adeguatamente, attraverso il sistema di scambiatore di calore, in modo tale da fornire il tempo necessario al glutine di redistribuirsi nei vari strati [11]. A questo punto si passa al processo vero e proprio di essiccazione.

L'essiccazione vede, in condizioni standard di processo, livelli di temperatura attorno ai 65-75°C. Tenendo in considerazione che l'umidità del prodotto, una volta uscito dall'incartamento, è più bassa, i tempi di essiccazione risultano più lunghi. Un tempo maggiore permette infatti l'alternarsi tra fasi di redistribuzione omogenea di acqua nel prodotto e fasi di evaporazione dell'acqua dalla superficie. In questo modo il risultato dell'essiccazione sarà un prodotto essiccato uniformemente [9]. I valori temperatura e umidità dell'aria, intensità e durata dei flussi di ventilazione dipendono da alcune variabili:

- tipo e formato di pasta
- caratteristiche della materia prima, con riferimento al contenuto proteico e alla qualità del glutine

- caratteristiche tecniche dell'impianto di essiccazione

Gli effetti della gestione di queste variabili sono rappresentati nel diagramma di essiccazione.

3.1.1 Diagramma di essiccazione

L'andamento della disidratazione della pasta in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria interna degli essiccatoi è rappresentato dal diagramma di essiccazione. Nel diagramma sono raffigurate, generalmente, tre curve che indicano i valori di temperatura e umidità dell'aria, in corrispondenza all'umidità della pasta. All'interno del diagramma si trova la curva di essiccazione, ovvero il tracciato di perdita di umidità del prodotto dal valore iniziale del 30 % circa a quello finale del 12,5 % [10], la curva che rappresenta l'umidità relativa dell'aria e la curva che indica la temperatura dell'aria. Il grafico viene rapportato in base al tempo, infatti la conformazione della curva di essiccazione subisce cambiamenti a seconda delle temperature diverse che caratterizzano il processo di essiccazione. In cicli tradizionali, dove la temperatura può arrivare fino a massimo 55°C il processo ha una durata molto lunga e la pendenza della curva è più limitata. Con l'alta temperatura i tempi si riducono a poche ore con pendenze più elevate. Nella figura 3.2 sono riportate le curve di un ciclo di essiccazione tipico della pasta lunga per la quale si usano maggiormente alte temperature di essiccazione.

3.2 Essiccazione ad alta e bassa temperatura

La realtà del pastificio negli ultimi vent'anni ha subito un radicale cambiamento in termini di temperatura di essiccazione. Agli inizi della pastificazione era solito usare basse temperature di essiccazione (Low Temperature) a 40-50°C con cicli molto lunghi di 20-40 ore. Ad oggi questo sistema è stato rimpiazzato con le alte e altissime temperature (High and Very High Temperature) tra i 60-100°C con cicli più corti, di 7-8 ore per la pasta corta e 8-10 ore per la pasta lunga [13]. All'interno di questi intervalli di temperatura, l'umidità relativa può essere regolata in relazione alle differenti temperature. La motivazione di questo aumento delle temperature risiede nel fatto che era necessario incrementare la sicurezza microbiologica del prodotto, aumentare la produttività e migliorare le proprietà strutturali della pasta [14]. Di fatto, con i cicli a bassa temperatura

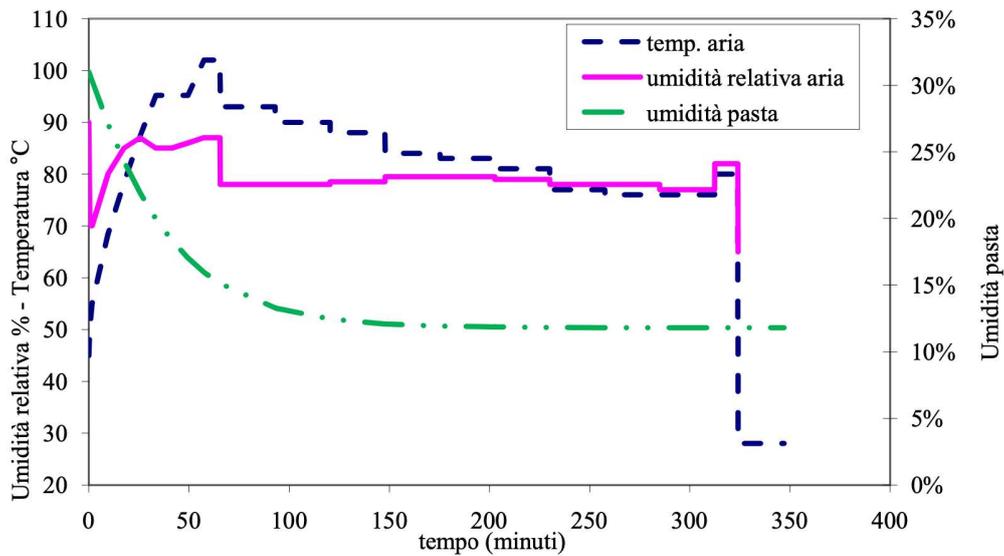


Figura 3.2: Diagramma nel tempo di temperatura e umidità in un ciclo di essiccazione [12]

non si garantisce la pastorizzazione del prodotto che risulta facilmente contaminabile da diversi microrganismi, in particolare da *Staphylococcus aureus* che è termoresistente [10]. I principali svantaggi e vantaggi dell'essiccazione ad alta temperatura sono descritti nella tabella sottostante, figura 3.3. Le alte e le altissime temperature hanno agevolato le grandi industrie produttrici di pasta in termini di velocità di produzione, semplicità di gestione del processo e limitata possibilità di proliferazione batterica oltre al fatto di ottenere una pasta "al dente" durante la cottura, considerato un aspetto di qualità dal consumatore [9].

Vantaggi essiccazione HT	Svantaggi essiccazione HT
Riduzione tempi produzione, aumento velocità processo	Valore nutrizionale minore per perdita lisina e reazioni Maillard
Impianti più compatti, di minore ingombro e minori costi	Colore più scuro
Maggiori garanzie igieniche	Difficile individuare l'uso del grano tenero
Migliore qualità in cottura	Impianti meno flessibili

Figura 3.3: Vantaggi e svantaggi HT [13]

3.3 Impianto di essiccazione

Gli impianti di essiccazione, in generale, sono diversi a seconda del formato di pasta. Esistono perciò degli essiccatori appositi per le linee di pasta lunga e per le linee di pasta corta o a nidi. Si conoscono due impianti di essiccazione standard, l'impianto per essiccazione statica e l'impianto per l'essiccazione continua [10].

3.3.1 Essiccazione statica

L'essiccazione statica è quel processo tradizionale che veniva ampiamente usato dai pastifici quando le temperature di essiccazione erano di 55-60°C. Nell'essiccazione statica la pasta resta ferma all'interno dell'essiccatore, mentre ciò che varia sono le condizioni ambientali interne, temperatura e umidità, in relazione allo stato fisico del prodotto. Gli essiccatori statici vedono principalmente tre fasi:

- pre-essiccazione
- rinvenimento e ventilazione
- essiccazione

Con rinvenimento si intende il riposo della pasta per favorire il riequilibrio dell'umidità residua, sia nell'essiccatore che nel prodotto, per poi procedere con l'essiccazione finale. Essendo l'essiccatore statico usato per l'essiccazione a basse temperature, l'evaporazione iniziale è più intensa e di fatto l'aria interna dell'impianto si arricchisce più velocemente di vapore aumentando l'umidità assoluta interna. La ventilazione cede calore al prodotto e contemporaneamente asporta il vapore dalla pasta all'aria presente all'interno dell'essiccatore nelle vicinanze della superficie del formato. L'umidità relativa in conseguenza raggiunge valori vicini a quello di saturazione per cui la disidratazione della pasta si riduce. È necessario, perciò, inserire delle brevi pause, chiamate fasi di rinvenimento, di circa 4-6 minuti per ogni 20-25 minuti di ventilazione, per consentire all'umidità dell'aria di riconcentrarsi negli spazi tra i diversi piani dell'essiccatore. Un vantaggio di questo essiccatore, rispetto a quello continuo, è la flessibilità d'uso. Con questi impianti è possibile impostare tempi di ventilazione e rinvenimento diversi e adatti ad ogni formato di pasta, ovvero, si possono essiccare uniformemente nello stesso impianto sia formati di grandi dimensioni che formati con superfici piccole e leggeri. Nella figura 3.4 è indicata una rappresentazione

di cosa succede all'acqua durante le fasi di ventilazione e rinvenimento in uno spaghetti [9].



Figura 3.4: Rinvenimento e ventilazione formato spaghetti [9]

3.3.2 Essiccazione continua

Nel processo di essiccazione continua, i parametri tecnologici sono impostati per le diverse zone in cui la pasta transita, movimentata da sistemi meccanici. Ogni impianto di essiccazione ha un diverso sistema di trasporto per assicurare la continuità del processo fino al confezionamento. L'essiccazione continua vede un passaggio della pasta senza interruzione mentre le condizioni climatiche ambientali dell'essiccatore sono costanti nelle varie zone dell'impianto, fino alla fase finale che coincide con la stabilizzazione del prodotto. L'uso di impianti continui è ideale per le alte temperature. Per gli essiccatori ad alta temperatura le fasi di essiccazione sono due: l'incartamento e l'essiccazione. Le due fasi, nella tecnologia ad alta temperatura, possono essere svolte nello stesso essiccatoio che è diviso in piani [5]. La durata di queste due fasi può essere determinata dalla velocità di trasporto della pasta. Infatti, il prodotto, attraversando la zona ventilata, può essere essiccato più o meno intensamente a seconda dell'impostazione di temperatura e umidità dell'aria nella zona considerata. Il vantaggio principale degli impianti continui è la resa produttiva, infatti rispetto agli impianti statici, questi essiccatori sono capaci di produrre fino a 6000-8000 kg/ora per la pasta corta e 4000 kg/ora per la pasta lunga [10]. Per i formati di pasta lunghi, ad esempio, come gli spaghetti, gli impianti sono dotati canne metalliche in cui gli spaghetti poggiano una volta usciti dalla trafilazione. Queste canne avanzano lentamente, spinte con sistemi di tiro a catene, all'interno dell'essiccatore (figura 3.5) in modo da permettere la corretta distribuzione dell'aria calda su tutta la superficie del prodotto. A differenza, per la pasta corta il trasporto avviene tramite un nastro forato.

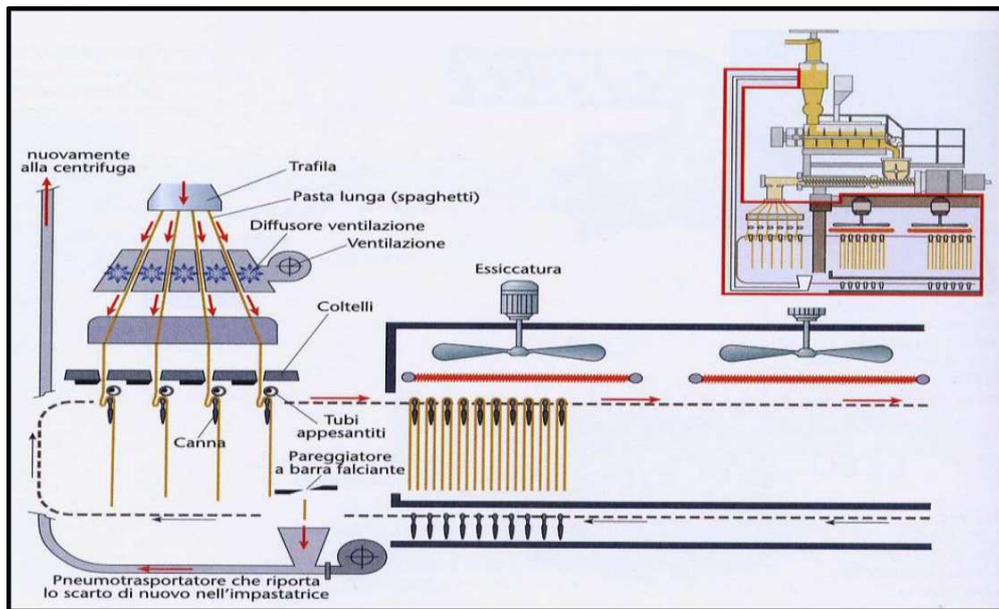


Figura 3.5: Impianto per l'essiccazione degli spaghetti [6]

3.3.3 Funzionamento essiccatore

L'impianto è diviso in due o tre aree sovrapposte e tecnologicamente indipendenti, le cui dimensioni variano a seconda del disegno delle case produttrici. Ciascuna zona di lavorazione è separata da pannelli e dotata di stazionamenti automatici di riscaldamento e ventilazione. Una volta che la pasta si trova all'interno dell'essiccatoio, viene investita di aria calda dai sistemi di ventilazione. Ogni sistema di è dotato di:

- sistema di generatore e scambiatore di calore per riscaldare
- sistema di ventilazione che distribuisce l'aria calda all'interno dell'essiccatoio
- sistema di estrazione dell'umidità residua
- sistema di controllo dei parametri dell'impianto

Questa sezione impiantistica lavora in modo sinergico per far avvenire l'evaporazione dell'acqua dall'alimento. La superficie del prodotto colpita dall'aria calda libera acqua, sotto forma di vapore, all'interno dell'essiccatoio. Per garantire l'omogenea distribuzione dell'aria nell'essiccatoio è importante che l'energia termica spesa dal sistema di ventilazione sia compensata dal sistema di scambio termico dell'essiccatoio, in modo tale che la temperatura dell'ambiente interno non cali drasticamente determinando situazioni critiche per il processo di essiccazione. L'aria di essiccazione carica di vapore che viene ceduto dall'alimento

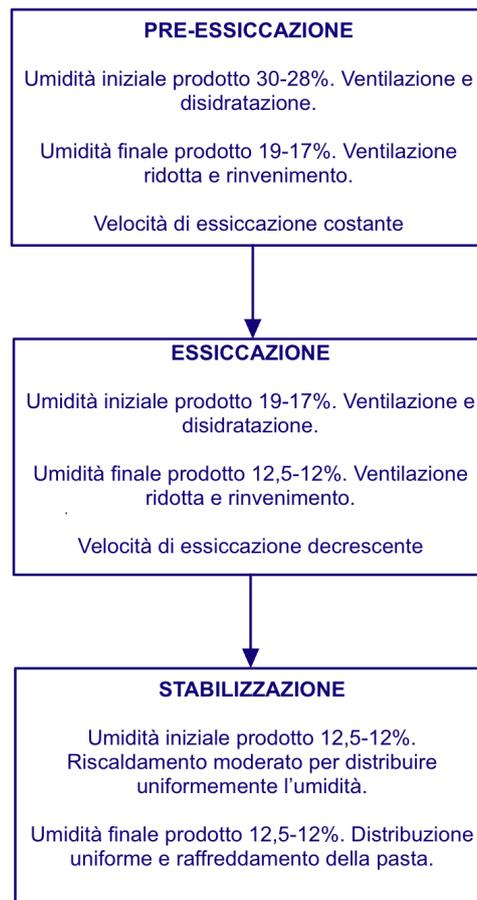


Figura 3.6: Schema essiccazione impianto continuo

deve essere espulsa per evitare livelli di umidità relativa troppo alti che potrebbero portare a danni tecnologici oltre che ad un problema di condensazione sul prodotto, con conseguente rischio igienico. Il sistema di condensazione ha infatti il compito di recuperare il vapore ceduto, questo una volta condensato può essere riutilizzato come acqua nella batteria di riscaldamento [5]. L'aria calda, invece, può essere riutilizzata per mantenere caldo il prodotto, che a causa dell'evaporazione superficiale tende a raffreddarsi. Inoltre, quando il prodotto entra nella zona di stabilizzazione, l'aria calda può essere sfruttata per ottenere un'ulteriore diminuzione dell'umidità del prodotto senza sottoporre a stress e tensioni le zone del formato più sensibili, impedendo la forma di croste superficiali dovute alla ventilazione.

3.3.4 Stabilizzazione

La pasta, una volta uscita dalla fase di essiccazione, viene portata ad una temperatura prossima a quella ambiente ed esposta ad un'umidità relativa del 50 % durante la fase di raffreddamento o stabilizzazione. L'umidità viene distribuita in modo più uniforme durante la fase di raffreddamento del prodotto. Parte dell'acqua presente al centro del prodotto migra verso la superficie, alleviando le tensioni accumulate durante il processo di essiccazione. Una difficoltà che si riscontra nella fase di stabilizzazione in cui prevale l'ambiente umido è che la superficie della pasta essiccata inizia ad assorbire l'umidità dall'atmosfera che causa l'espansione della superficie del prodotto. Questo stress, unito alle tensioni residue del prodotto dovute all'essiccazione, può causare la rottura del prodotto. Anche se le tensioni residue sono scarse o nulle, la pasta si sfalda se l'umidità relativa è del maggiore del 75 %. Per evitare l'assorbimento di umidità dell'atmosfera, può essere necessario confezionare la pasta secca entro 3 ore dall'uscita dall'essiccatoio [15].

3.4 Fenomeni fisici relativi all'essiccazione

Per comprendere come si può gestire il processo di essiccazione e regolare i sistemi di controllo, bisogna avere chiari i fenomeni ed i principi fisici che stanno alla base dell'essiccazione.

3.4.1 Umidità assoluta e relativa

Durante la produzione della pasta secca, la temperatura e l'umidità cambiano gradualmente con il tempo. L'umidità è un parametro sostanziale da tenere monitorato durante tutto il processo. Per monitorare il processo si prendono in riferimento due tipi di umidità:

- **Umidità assoluta:** quantità di acqua che, sotto forma di vapore, può essere contenuta nell'aria. Viene espressa in grammi di acqua per mille grammi di vapore.
- **Umidità relativa (U.R.):** è il rapporto tra la massa d'aria e la quantità massima di vapore che può contenere.

La quantità di acqua contenuta nell'aria è in funzione della temperatura e con la pressione dell'aria. Infatti, per un determinato valore di temperatura e

pressione si può raggiungere il limite massimo chiamato "punto di saturazione", ovvero il punto in cui si ha la quantità massima di vapore acqueo contenuto nell'aria [16]. Fino a quando non si supera il punto di saturazione, il vapore contenuto non è visibile e l'aria si mantiene trasparente. Quando invece la quantità di vapore raggiunge il punto di saturazione, l'acqua in eccesso condensa in particelle minute che restano in sospensione nell'aria oppure si depositano su tutto ciò che è esposto all'aria, in particolare sulla pasta. Normalmente in un essiccatore che opera a bassa temperatura l'umidità relativa è di circa 60% mentre per i moderni essiccatori ad alta ed altissima temperatura l'umidità relativa è dell'80%. La quantità di acqua che viene assorbita all'equilibrio a 85°C e 80 U.R. % e a 50°C e 60% U.R. è quasi la stessa. Il comportamento simile dell'essiccazione nelle due condizioni di temperatura è attribuito alla quasi identica quantità di equilibrio dell'acqua assorbita, nonostante il tempo di essiccazione sia leggermente più breve a 85°C a causa di un tasso di essiccazione più rapido nella fase iniziale [17].

L'evaporazione dalla pasta avviene in un ambiente chiuso a temperatura costante, per cui l'evaporazione superficiale dell'acqua può continuare finché non viene raggiunto il punto di saturazione dell'aria. Pertanto, l'aria umida in eccesso deve essere estratta velocemente dall'essiccatore in quanto essendo più pesante dell'aria secca inviata dai ventilatori, tende a concentrarsi nella parte bassa degli essiccatori rendendo inevitabile il fenomeno della condensazione. È importate quindi l'aspirazione dall'interno dell'aria umida che richiama l'aria più secca e asciutta presente nella parte superiore, figura 3.7, dell'essiccatore creando la situazione ideale di equilibrio di evaporazione in tutte le zone superficiali della pasta. Questo processo è importante nella fase di rinvenimento quando la pasta non è più sottoposta a ventilazione e quindi potrebbe essere maggiormente soggetta a condensazioni.

3.4.2 Influenza delle caratteristiche di forma della pasta

Le caratteristiche di forma e massa della pasta influenzano le modalità di essiccazione e la definizione del diagramma di essiccazione. Di fatto il tempo richiesto per essiccare la pasta dipende dalla forma e dalla massa del prodotto e non solo dalla temperatura e umidità relativa dell'essiccatore. Tutti i processi

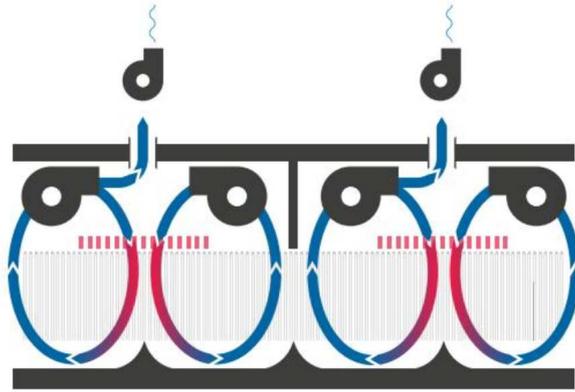


Figura 3.7: Ricircolo dell'aria all'interno di un essiccatore [18]

tecnologici dell'essiccazione, essendo l'evaporazione dell'acqua il fenomeno alla base dell'essiccazione, devono sostenere due condizioni:

- Corretta relazione tra la migrazione dell'acqua nel prodotto e la velocità di evaporazione superficiale
- Energia termica fornita adeguatamente per la migrazione delle particelle di acqua e l'evaporazione

Nelle prime fasi di essiccazione, la velocità di essiccazione dipende dell'evaporazione superficiale mentre per le successive fasi, quando ormai la superficie è secca, la velocità dipende dalla migrazione delle particelle di acqua che procedono dagli strati più interni a quelli più esterni. I tempi sono quindi diversi; tempi minori per l'evaporazione superficiale e tempi maggiori e più lunghi per la migrazione delle particelle. Le caratteristiche di forma e massa contribuiscono, insieme alla temperatura, al tempo necessario per l'essiccazione. Nella figura 3.8 è riportato un esempio di rapporto superficie e massa di un "fusillo" e di una "casareccia". È evidente che il "fusillo" ha una superficie più grande rispetto al proprio peso e quindi il tempo di essiccazione sarà favorito dalla superficie di scambio maggiore tra la pasta e l'aria. Al contrario, nella "casareccia", la superficie è più piccola rispetto al peso per cui il tempo di essiccazione risulterà più elevato [10].

Vi sono, inoltre, formati di pasta particolari che complicano maggiormente l'essiccazione, ad esempio le "trofie" o le "farfalle" hanno parti superficiale esposte diversamente all'essiccazione e quindi lo scambio termico potrebbe non essere simultaneo. Questi formati sono soggetti a fragilità e rottura poiché le

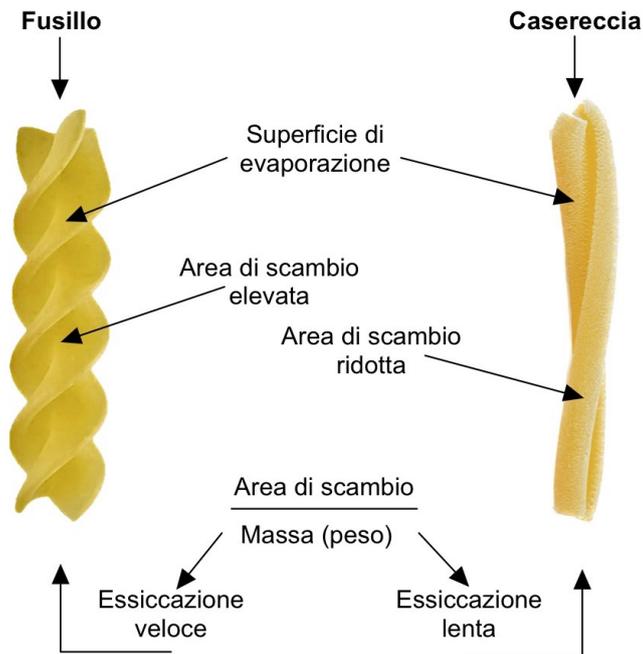


Figura 3.8: Rapporto tra superficie e massa di "fusillo" e "casareccia" [10]

zone più esposte allo scambio termico, con un'evaporazione superficiale troppo spinta, subiscono microfessurazioni con crepature. Per evitare che accada si devono adeguatamente impostare i parametri tecnologici nell'essiccatore al fine di favorire un equilibrio tra la velocità di essiccazione e la migrazione delle particelle d'acqua.

3.5 Controllo delle condizioni di essiccazione

Nella produzione della pasta industriale è fondamentale che ci sia un controllo dei parametri che intervengono durante le fasi di essiccazione. Le indicazioni indispensabili per il controllo delle linee di produzione della pasta riguardano i valori ambientali di temperatura ed umidità all'interno degli essiccatori e temperatura e contenuto di acqua nel prodotto. Le misure di umidità relativa e di temperatura nell'essiccatore sono effettuate in modo continuo durante la fase di essiccazione mediante delle sonde collegate a degli schermi che permettono di visionare, in modo generale, il processo. La misura della temperatura all'interno della linea di essiccazione avviene tramite delle termoresistenze. Le termoresistenze sono formate da un sottile filo di platino che a seconda della temperatura

varia la sua resistenza. Misurando il valore della resistenza e confrontandola con i dati registrati in un software si ottiene il valore della temperatura.

La misura dell'umidità relativa interna all'essiccatore avviene tramite il principio dello psicrometro. Questo strumento permette di determinare l'umidità relativa in un ambiente grazie a due termometri, un termometro a bulbo umido e uno a bulbo secco, che forniscono delle misure di temperatura, e in relazione alle due letture con una tabella psicrometrica si ottiene il valore percentuale dell'umidità relativa. Il termometro a bulbo secco collegato con una sonda allo psicrometro permette di regolare la temperatura ambientale, allo stesso tempo se il termometro a bulbo umido misura un'umidità relativa diversa dal valore prefissato si attiverà per correggerla [5].

3.6 Nuovi metodi per essiccare la pasta

La grande maggioranza delle innovazioni legate alla fase di essiccazione mirano a ridurre i tempi di essiccazione senza compromettere la qualità della pasta.

3.6.1 Essiccazione a microonde

A questo proposito, ci sono stati lavori negli ultimi anni sull'uso delle microonde. Il processo di essiccazione della pasta con le microonde si è dimostrato molto efficace, non solo in termini di riduzione dei tempi di essiccazione, ma anche perché si traduce in un prodotto finale senza crepe, con densità maggiore e minore gelatinizzazione rispetto alla pasta essiccata ad aria calda. È possibile migliorare l'efficienza e l'economia del processo di essiccazione combinando adeguatamente entrambe le operazioni, essiccazione ad aria calda e a microonde, in un modo unico. È inoltre noto che l'essiccazione all'aria convenzionale, in particolare le alte temperature e i tempi di essiccazione più lunghi, può causare gravi danni al sapore, al colore e ai nutrienti e può ridurre la capacità di reidratazione dei prodotti alimentari essiccati. Il desiderio di eliminare questi problemi, prevenire una significativa perdita di qualità e ottenere un trattamento termico rapido ed efficace ha portato ad un uso crescente delle microonde per l'essiccazione degli alimenti [19].

3.6.2 Essiccazione sotto vuoto

Più recentemente è stata studiata anche l'essiccazione sotto vuoto. Durante l'essiccazione tradizionale, l'acqua evapora principalmente dalla superficie del prodotto, con conseguente formazione di una barriera superficiale. Di seguito, la naturale diffusione dell'umidità viene ostacolata e possono verificarsi tensioni interne al prodotto, con conseguente formazione di crepe e fratture nella pasta. Rispetto all'essiccazione convenzionale, l'essiccazione sottovuoto è caratterizzata da una temperatura di essiccazione più bassa, in quanto il vuoto creato determina un punto di ebollizione dell'acqua più basso, e da un tasso di evaporazione dell'acqua più elevato. Una pasta con un'alta qualità di cottura dovrebbe essere caratterizzata da un elevato assorbimento di acqua, basse perdite di massa, bassa collosità e alta densità. È stato dimostrato che la resa di cottura della pasta essiccata con il sotto vuoto è maggiore rispetto ad un essiccazione con alta e bassa temperatura. Con resa di cottura si intende la capacità di assorbimento dell'acqua durante la cottura della pasta. Questo effetto potrebbe essere correlato al processo di essiccazione a pressione ridotta, poiché il tasso di trasferimento dell'umidità dal nucleo alla superficie è più elevato a pressioni più basse rispetto alla pressione atmosferica. Il maggiore trasferimento di umidità dal nucleo della pasta durante l'essiccazione sottovuoto può portare alla prevenzione della formazione di barriere superficiali che causano stress interno al prodotto. Pertanto, l'uso dell'essiccazione sottovuoto può ridurre lo stress interno e prevenire il deterioramento della struttura, con conseguente migliore qualità di cottura.

Un'altra importante considerazione dell'essiccazione sottovuoto è stata fatta sulla densità. Il grafico 3.9 indica i risultati di misurazioni eseguite sulla densità della pasta ottenuta con essiccazione ad alta temperatura (VHT), bassa temperatura (LT) e sotto vuoto (VD). Dai risultati si può notare che la pasta essiccata sotto vuoto ha una densità maggiore rispetto a quella essiccata con le altre tecniche. Infatti, l'alta temperatura e la bassa pressione hanno creato una pasta più compatta rispetto ai campioni essiccati a bassa temperatura [20].

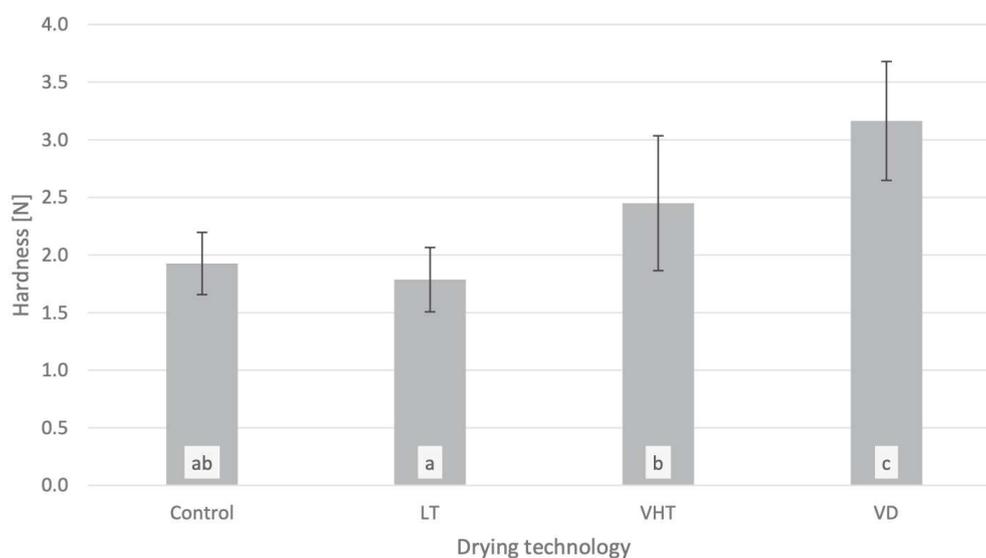


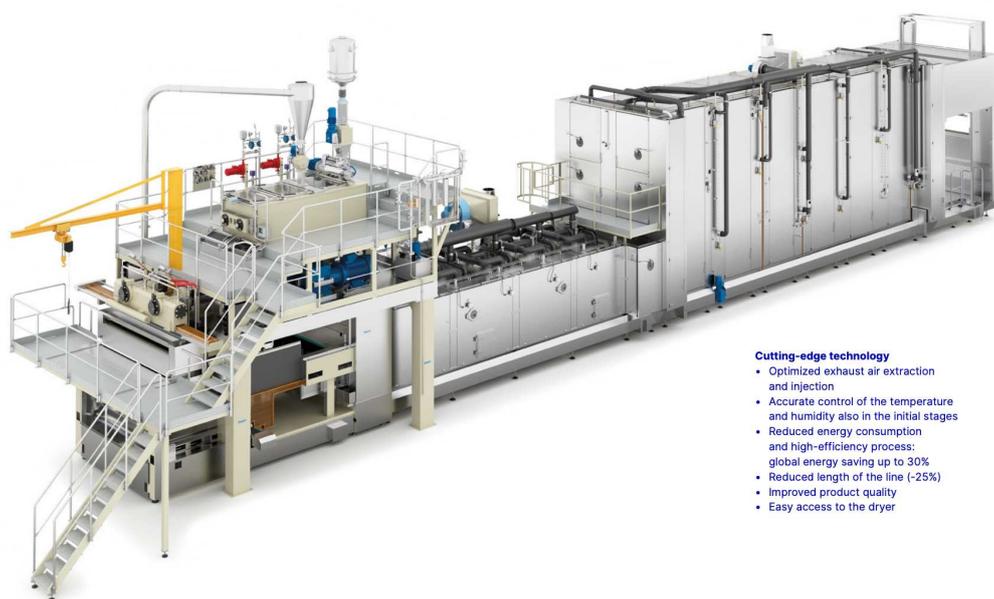
Figura 3.9: Densità della pasta essiccata con varie tecnologie [20]

3.7 Sviluppo tecnologico e produzione della pasta

La pasta è riconosciuta come un alimento sempre più presente nelle diete delle persone, per la sua nutrizione e qualità alimentare, conservabilità e facilità di preparazione. La combinazione delle caratteristiche intrinseche della pasta unite al costante sviluppo tecnologico degli impianti di produzione ha reso la pasta un alimento consumato a livello mondiale. Un gran numero di aziende produce impianti di essiccazione per la produzione di pasta secca con differenti caratteristiche tecnologiche che fanno sì che ogni pastificio scelga l'impianto che rispecchi in miglior modo le necessità produttive.

Il gruppo Pavan è un'azienda specializzata nella realizzazione di impianti industriali per la pasta alimentare. Grazie alla ricerca e allo studio condotto all'interno dei pastifici, Pavan riesce a creare impianti all'avanguardia caratterizzati da innovazioni tecnologiche oggi diventate standard nella produzione della pasta secca. Una nuova tecnologia brevettata da questa azienda è la tecnologia **Multidrive**. Essa si basa su un controllo continuo delle condizioni termo-igrometriche, mediante l'applicazione di gradienti molto elevati di aumento e diminuzione della temperatura, un'estrazione ottimizzata dell'aria di scarico e un sistema di ventilazione ad impulsi multipli. La nuova tecnologia Multidrive offre la migliore flessibilità per un prodotto di qualità superiore e

consente di produrre pasta lunga di qualità ineguagliabile a quella dei pastifici concorrenti, garantendo al contempo un risparmio energetico e una riduzione dell'ingombro. Questi risultati sono ottenuti grazie a una serie di caratteristiche innovative che consentono una maggiore precisione dei parametri di lavoro su tutta la linea, offrendo le migliori prestazioni nel processo di pre-essiccazione e di essiccazione. Il prodotto così ottenuto è eccellente in termini di stabilità, resistenza strutturale e qualità di cottura.



- Cutting-edge technology**
- Optimized exhaust air extraction and injection
 - Accurate control of the temperature and humidity also in the initial stages
 - Reduced energy consumption and high-efficiency process: global energy saving up to 30%
 - Reduced length of the line (-25%)
 - Improved product quality
 - Easy access to the dryer

Figura 3.10: Impianto Multidrive [21]

Un'altra azienda produttrice di macchinari professionali di uso industriale per la produzione di pasta è La Monferrina. Questa azienda ha sviluppato uno speciale design interno per la gamma di essiccatori che consente di ottenere l'uniformità del flusso d'aria, della temperatura e dell'umidità, con conseguente asciugatura uniforme in tutti i punti dell'essiccatore. L'intero ciclo di asciugatura è controllato da sonde di umidità e temperatura ed il sistema di essiccazione automatico è dotato di una gestione computerizzata touch screen che offre la possibilità di scelta fra nove differenti programmi di essiccazione a seconda del formato di pasta che si desidera essiccare [22].

Storci S.p.A, invece, propone celle di essiccazione adatte ad essiccare tutti i formati di pasta, dalla pasta corta alle lasagne. Per fare ciò ha sviluppato

una tecnologia che si basa sulla disposizione dei carrelli dotati di telai o canne. Questi carrelli garantiscono la migliore garanzia antigraffio e anticorrosione per una elevata resistenza a calore e umidità; quindi adatti anche all'essiccazione ad alta temperatura [23]. L'innovazione continua è un motore di business per molte aziende; tuttavia, solo l'adozione efficace di procedure accurate può trasformarla in un fattore di successo, consentendo il raggiungimento degli obiettivi e un effettivo vantaggio nei confronti dei concorrenti.

4

Qualità e difetti della pasta

Le condizioni di essiccazione e la qualità della semola impiegata sono molto studiate per definire qualità e difetti della pasta.

4.1 Influenza delle temperature di essiccazione

Sulla base degli studi condotti e delle esperienze dirette dei pastai, si può affermare che l'impiego delle alte temperature ha determinato numerosi vantaggi, elencati già nel terzo capitolo, rispetto all'uso delle basse temperature. L'essiccazione a basse temperature per lunghi periodi di tempo ricorda i trattamenti originali di essiccazione all'aria utilizzati nell'Italia meridionale. Per questo motivo, questo regime di essiccazione ha mantenuto una percezione di qualità spesso associata a prodotti artigianali o tradizionali. Tuttavia, diversi studi hanno concluso che l'essiccazione ad alta temperatura è effettivamente superiore a quella a bassa temperatura in termini di qualità di cottura e consistenza della pasta secca. Questi studi hanno anche rilevato che l'essiccazione ad alta temperatura, soprattutto se il grano duro utilizzato è di scarsa qualità, aumenta la qualità complessiva della pasta finita. Un regime di essiccazione a bassa temperatura enfatizza l'impatto della qualità della semola sulla pasta finale, mentre un regime di essiccazione ad alta temperatura minimizza l'impatto della qualità della semola sulla qualità finale [24].

L'essiccazione ad alta temperatura influisce positivamente sulle proprietà meccaniche della pasta, come la resistenza alla cottura. Di conseguenza, la

qualità di cottura del prodotto migliora, con una maggiore compattezza, una minore viscosità e voluminosità e una riduzione dell'assorbimento di acqua e della perdita di amido in cottura. D'altra parte, è noto che l'essiccazione HT induce, in varia misura, la formazione di diversi prodotti della reazione di Maillard, che a loro volta determinano effetti indesiderati come alterazioni del colore e consumo della lisina biodisponibile. Per evitare il più possibile la reazione di Maillard, l'industria della pasta pone particolare attenzione al controllo nella semola dell'attività amilasica presente e al monitoraggio delle condizioni igro-termiche degli essiccatori, poiché spesso si verificano condizioni rilevanti di non conformità della semola. È quindi necessario monitorare i processi che avvengono durante l'essiccazione della pasta, identificando i marcatori precoci di successivi difetti che si potrebbero verificare nella pasta [25].

4.1.1 Reazione di Maillard e colore

Il colore della pasta è influenzato dall'essiccazione ad alta temperatura e da altri componenti presenti nella semola. Il colore giallo è determinato principalmente dalla quantità di pigmenti carotenoidi nel grano, risultante dall'equilibrio tra la sintesi dei pigmenti e la loro degradazione da parte della lipossigenasi endogena, un enzima presente nel granulo di amido, che impedisce lo sbiancamento dei carotenoidi. L'attività della lipossigenasi della semola è altamente correlata con l'entità della diminuzione dei pigmenti, e la riduzione della sua attività durante la lavorazione della pasta è di interesse per scopi tecnologici e commerciali. La reazione della lipossigenasi potrebbe essere inibita dal β -carotene e un minor grado di sbiancamento della semola è stato osservato in campioni con un contenuto più elevato di carotenoidi, per cui si suggerisce che un elevato contenuto di carotenoidi nella semola è auspicabile per conferire un colore migliore, evitando lo sbiancamento dei carotenoidi durante la lavorazione della pasta [4]. Contrariamente però, nel caso in cui il diagramma di essiccazione risulti sbagliato, la pasta assumerebbe una colorazione brunastra oppure potrebbe instaurarsi la Reazione di Maillard.

La reazione di Maillard è una complessa cascata di reazioni chimiche che può essere promossa dal trattamento termico, soprattutto durante la lavorazione degli alimenti. Questa reazione porta alla formazione dei prodotti di Maillard responsabili di diverse proprietà degli alimenti: consistenza, sapore e colore.

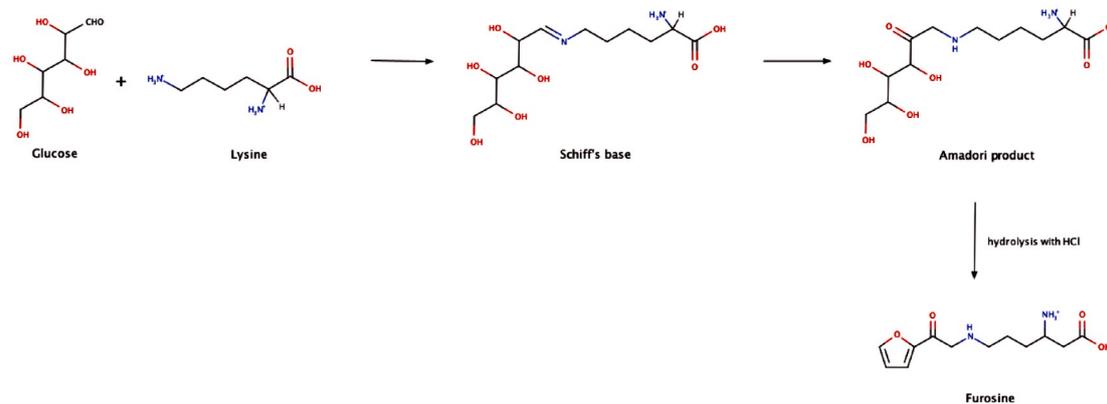


Figura 4.1: Formazione della molecola di furosina dalla reazione di Maillard [25]

Le altissime temperature e la conseguente formazione di composti di Maillard possono essere utilizzati come indici per valutare l'entità di questo fenomeno nella pasta secca. La reazione di Maillard è una reazione di imbrunimento non enzimatico che si verifica quando gli zuccheri riducenti, ad esempio glucosio, fruttosio, lattosio, maltosio, interagiscono con i gruppi amminici disponibili delle proteine o degli aminoacidi. La reazione di Maillard è promossa da alcuni fattori chiave: elevato contenuto proteico, elevato contenuto di zuccheri riducenti, contenuto di umidità intermedio, temperatura, pH, attività dell'acqua. In condizioni di essiccazione ad alta temperatura e con valori di umidità relativa di equilibrio che vanno dal 30 al 12%, la reazione può facilmente verificarsi, sebbene siano necessarie temperature molto elevate prima che vengano rilevati i prodotti di colore bruno come le melanoidine e gli "off-flavours" [25].

Furosina

La furosina, un aminoacido derivato dall'idrolisi acida dei composti di Amadori, si forma durante la fase iniziale della reazione di Maillard. Nel corso degli anni, è stata prestata particolare attenzione allo studio della furosina come marcatore del danno termico nella pasta secca di grano duro [25]. In uno studio del 2021, l'insieme dei campioni di pasta analizzati comprendeva pasta prodotta con metodo HT e VHT e pasta prodotta con il cosiddetto "metodo tradizionale o artigianale", cioè LT. La quantità di furosina nella pasta secca variava da 107 a 506 mg su 100 g di proteine. L'intervallo è piuttosto ampio e riflette le differenze nel processo di essiccazione. Nei campioni di pasta artigianale è stata rilevata una quantità inferiore, compresa tra 107 e 186 mg/100 g di proteine, a conferma che

il processo di essiccazione a bassa temperatura (LT) limita la formazione di furosina (figura 4.2). Tuttavia, alcuni campioni di pasta artigianale presentano livelli di furosina paragonabili a quelli della pasta essiccata rapidamente. I risultati della ricerca potrebbero spiegare da un lato l'uso improprio della dicitura "slow processing" o "prodotto artigianale" riportata in etichetta come caratteristica del prodotto ma non strettamente riferita al processo di essiccazione, dall'altro lato la valorizzazione di paste che pur essendo prodotte in stabilimenti industriali rispettano la tradizione italiana del processo a basse temperature. Questo quadro sottolinea l'importante ruolo della furosina come marcatore di qualità per identificare potenziali frodi commerciali e per promuovere prodotti che non hanno subito drastici trattamenti termici. La furosina è il marcatore più comune per monitorare la fase iniziale della reazione di Maillard. Tuttavia, altri composti possono essere utilizzati con successo come ulteriori indicatori degli stadi avanzati e finali di questa reazione, soprattutto se viene applicato un trattamento termico drastico per la produzione di pasta. L'alta temperatura potrebbe portare alla formazione di composti volatili che dovrebbero essere utilizzati come marcatori per valutare il potenziale danno da calore nella pasta. Per questo motivo, la combinazione di furosina e dei suddetti marcatori della reazione di Maillard potrebbe essere una strategia efficace per consentire la distinzione tra pasta prodotta con processo di essiccazione a basse ed alte temperature.

4.1.2 Modificazione dei granuli di amido

La qualità complessiva della pasta di grano duro è influenzata principalmente dalle proprietà della frazione proteica e dell'amido e dalla loro formazione durante l'estrusione, la disidratazione e la cottura. La valutazione dei profili idrici interni durante l'essiccazione della pasta è un punto critico per personalizzare le proprietà della pasta, ridurre al minimo la possibilità di formazione di crepe e ottenere condizioni uniformi del prodotto. Secondo diversi autori [4], le temperature di essiccazione più elevate migliorano generalmente le prestazioni di cottura della pasta, anche se tali temperature applicate alla pasta ad alta umidità possono causare un eccessivo rigonfiamento dei granuli di amido con conseguente rottura della rete proteica e una diminuzione delle prestazioni complessive di cottura. Nonostante ciò, è stato dimostrato che la distribuzione dell'umidità nella pasta dipende dalla temperatura di essiccazione e che la pasta essiccata al di sotto della temperatura di gelatinizzazione dell'amido assorbe

CAPITOLO 4. QUALITÀ E DIFETTI DELLA PASTA

Type of pasta ^a	Furosine (mg/100 g protein)	Other markers of MR	References
Durum wheat dried pasta (HT/VHT-St method)	226–482	–	Giannetti et al. (2013)
Durum wheat dried pasta (LT/Lt method)	107–260	–	
Einkorn dried pasta (LT/Lt method)	130–160	–	Brandolini et al. (2018)
Durum wheat dried pasta	87–438	HMF, glucosyl isomaltol, CML, pyrrolidine, formylpyrrolidine, glycated amino acid maltulose, maltose	Hellwig et al. (2018)
Durum wheat dried pasta (HT/St method)	207–880		Cavazza et al. (2013)
Spelt dried pasta (LT/Lt and HT/St method)	60–332	–	Marconi et al. (2002)
Durum wheat dried pasta (LT/Lt and HT/St method)	96–426	–	
Durum wheat pasta plus bean flour (HT method)	41–77	–	Gallegos-Infante et al. (2010)
Fresh filled pasta	12–38	–	Zardetto et al. (2003)
Whole grain dried pasta	229–836	pyrrolidine	Marti et al. (2017)
Gluten free dried spaghetti	19–134	–	Gasparre et al. (2019)
Durum wheat dried spaghetti (LT/Lt and HT/St method)	139–343	maltose	Stuknyte et al. (2014)
Fresh pasta	16–22	maltulose	García-Baños et al. (2004)
Durum wheat dried pasta	44–462		

Figura 4.2: Livello di furosina in diversi campioni di pasta [25]

meglio l'acqua. La pasta essiccata a una temperatura più alta (70°C) assorbe meno acqua nella parte interna; viceversa, la pasta essiccata ad una temperatura più bassa (50°C) si comporta in modo opposto [4]. Quando la temperatura di essiccazione è superiore alla temperatura di gelatinizzazione, non si riscontra più la dipendenza della distribuzione dell'umidità dalla temperatura di essiccazione. Questo fenomeno può essere attribuito alla formazione di granuli di amido sulla superficie della pasta essiccata ad una temperatura più elevata. La temperatura di essiccazione più elevata consente la gelatinizzazione dei granuli di amido, impedendo la diffusione dell'acqua all'interno. La pasta essiccata a LT mostra un maggiore assorbimento di acqua rispetto alla pasta essiccata a HT

in qualsiasi condizione di cottura. Aumentando la temperatura di essiccazione, il rigonfiamento dei granuli di amido è ostacolato dalla formazione di una rete di glutine più aggregata durante il processo. Inoltre, con temperature di essiccazione più elevate si osservano livelli più elevati di complessi amilosio-lipidi. L'aumento dei complessi amilosio-lipidi contribuisce a ridurre l'assorbimento di acqua e quindi di ottenere una pasta che non si spezza durante la cottura.

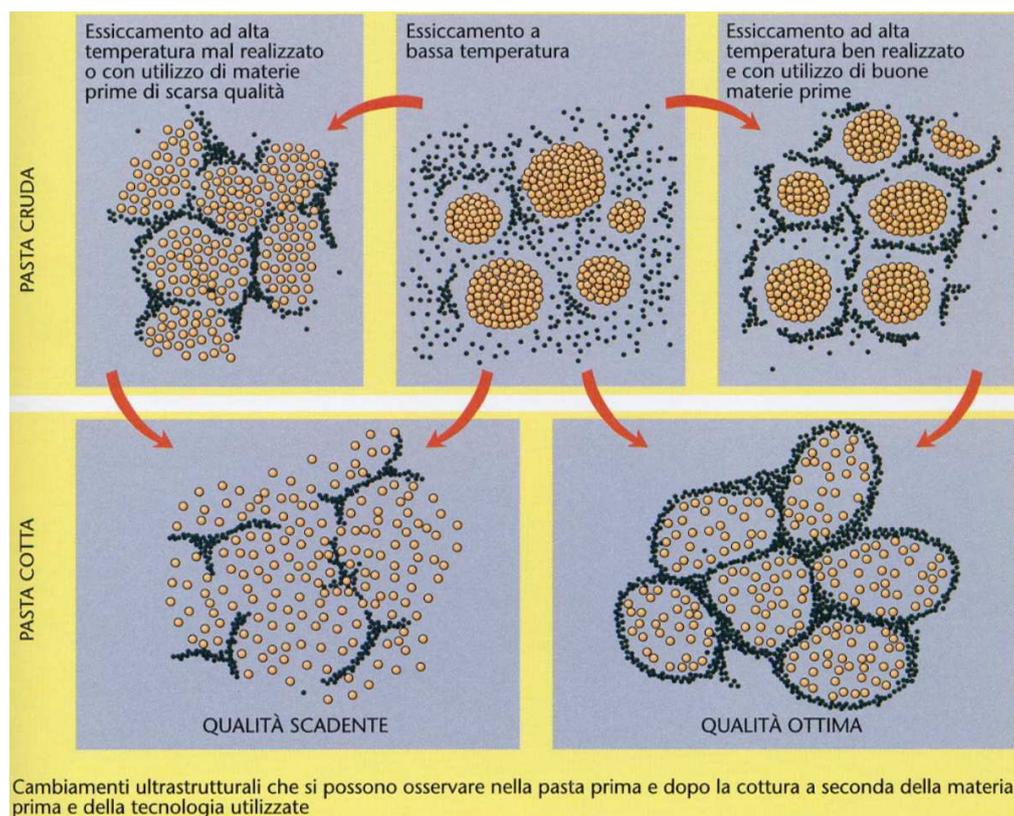


Figura 4.3: Redistribuzione glutine e amido [13]

4.1.3 Gelatinizzazione dell'amido

Il termine "gelatinizzazione" dell'amido descrive generalmente un cambiamento strutturale irreversibile indotto dal calore. I granuli di amido iniziano ad assorbire acqua a partire da 50-60°C, una volta superato questo intervallo il rigonfiamento dell'amido continua fino a raggiungere la sua massima intensità a 85-95°C. A queste temperature si ottiene una "disorganizzazione" dei granuli di amido in ambiente acquoso ed una parziale solubilizzazione delle molecole contenute al loro interno [26]. Queste trasformazioni strutturali dell'amido durante

l'impatto termico e nelle successive fasi di produzione dipendono fortemente da diversi aspetti: proprietà della materia prima e parametri di processo. Dal punto di vista delle proprietà della materia prima, il processo di gelatinizzazione è influenzato dalle caratteristiche dei granuli di amido: composizione, morfologia, struttura molecolare e peso molecolare. Quando l'amido viene riscaldato in acqua, le interazioni fisico-chimiche tra amilosio e amilopectina modificano la struttura del granulo di amido. Di conseguenza, si possono rilevare diversi cambiamenti strutturali quali transizione vetrosa, gelatinizzazione e fusione del complesso amilosio-lipide.

Durante il processo produttivo dell'essiccazione della pasta la gelatinizzazione dell'amido è diversa a seconda delle temperature usate. Le alte temperature, quando la pasta ha una umidità al di sotto del 18 %, fanno coagulare le proteine del glutine che in presenza di pochissima acqua bloccano la maglia glutinica e i granuli di amido cosicché l'amido non ha più la possibilità di gelatinizzare in quanto non c'è sufficiente acqua. Durante la fase di raffreddamento l'amido subirà la retrogradazione che gli impedirà di solubilizzare nell'acqua durante la cottura. Nel caso delle basse temperature invece, la qualità della semola è molto importante, perché se l'amido contiene granuli troppo grossi questo tenderà a gelatinizzare prima della formazione del reticolo glutinico che non potrà impedire la solubilizzazione dell'amido in acqua e di conseguenza durante la cottura la pasta sarà collosa e morbida e non rispetterà più la classica definizione di cottura "al dente" [14].

4.1.4 Modificazione delle proteine

La struttura proteica della pasta è fortemente influenzata dal regime di essiccazione. Quando si utilizzano regimi di essiccazione ad alta o altissima temperatura, le proteine della pasta si coagulano, impedendo così ai granuli di amido di fuoriuscire dalla pasta e di finire nell'acqua di cottura [24]. Inoltre, è stato riscontrato che con l'essiccazione ad alta temperatura la qualità del glutine e del contenuto proteico è meno importante a differenza dell'essiccazione a bassa temperatura che gioca molto sia sul contenuto proteico che sulla qualità del glutine. Un glutine di scarsa qualità ha un impatto maggiore sul prodotto finale se l'essiccazione avviene a basse temperature. In questo caso il glutine tenderà a coagulare più lentamente dell'amido, permettendo così ad esso di gelatinizzare.

I regimi di essiccazione ad alta temperatura causano cambiamenti sostanziali nella struttura proteica e amidacea della pasta, che si manifestano nella cottura finale e nelle proprietà fisiche della pasta. A livello microscopico, l'essiccazione ad alte temperature ha contribuito ad una migliore conservazione del reticolo proteico e ha ridotto il rigonfiamento dell'amido e la disintegrazione dei granuli. A livello macroscopico, invece, ha migliorato la compattezza della pasta cotta e ha ridotto l'appiccicosità superficiale. Essendo il ruolo centrale la coagulazione delle proteine per contrastare il rigonfiamento dell'amido è necessario porre attenzione al fatto che la filiera della pasta pone sempre più accuratezza alla qualità del glutine della semola di grano duro. Da sempre il frumento di grano duro prevale sul frumento di grano tenero grazie al contenuto percentuale medio di proteine del glutine più alto, così da essere più idoneo alla trasformazione in pasta. Questo contenuto maggiore di proteine porta alla formazione di una maglia glutinica più fitta che permette di intrappolare in miglior modo i granuli di amido impedendo il rigonfiamento.

È stato condotto un esperimento per valutare le relazioni tra la quantità e la qualità del glutine nella semola e la qualità di cottura della pasta essiccata seguendo diversi programmi di essiccazione [27]. Nel presente studio sono state utilizzate due cultivar italiane di grano duro molto popolari, *Ofanto* e *Simeto*, e ampiamente utilizzate dall'industria della pasta, note rispettivamente per la buona e la scarsa qualità del glutine. I campioni di semola ottenuti sono stati trasformati in spaghetti essiccati a bassa (60°C), media (75°C) e alta (90°C) temperatura. I più importanti parametri tecnologici di qualità dei grani duri e delle semole appartenenti all'*Ofanto* e al *Simeto* sono riportati nella tabella in figura 4.4. Dalla tabella si evidenzia che la cultivar *Simeto* ha un contenuto proteico totale minore rispetto a *Ofanto*. Tuttavia, i test di qualità sulle proteine del glutine, in particolare l'indice di glutine e il test di sedimentazione, hanno confermato che il glutine del *Simeto* era, come previsto, più forte di quello dell'*Ofanto*.

Il diverso contenuto proteico delle due cultivar ha influenzato la qualità sensoriale e chimica della cottura della pasta. È stato visto che a parità di proteina glutinica e di programmi di essiccazione, il tempo di cottura ottimale è determinato dalla qualità del glutine. Sulla base dei risultati di questo studio, in cui è stato testato l'effetto di diversi programmi di essiccazione sulla qualità di cottura della pasta su semole con diverse quantità e qualità di glutine, si può

Parameter ^a	Ofanto		Simeto	
	Grain/Wholemeal	Semolina	Grain/Wholemeal	Semolina
Protein content (% dm)	11.7	11.1	11.2	10.5
Gluten content (% dm)	9.4	9.9	8.5	9.1
Ash (% dm)	1.71	0.86	1.62	0.83
Gluten index (%)	16	21	71	91
SDS sedimentation test (mL)	21	20	45	43
Alveograph <i>W</i>	–	80	–	171
Alveograph <i>P/L</i>	–	1.40	–	3.67

^a Alveograph indices: *W* = dough strength ($\times 10^{-4}$ J); *L* = extensibility (mm); *P* = tenacity (mm); *P/L* = tenacity-to-extensibility ratio.

Figura 4.4: Proprietà tecnologiche dei grani Ofanto e Simeto e della semola [27]

affermare che la capacità di rigonfiamento dell'amido e la resistenza della rete proteica governano la qualità di cottura della pasta espressa come collosità e compattezza. Tutti i fattori che promuovono la formazione di una rete glutinica forte e resistente fin dalle prime fasi dell'essiccazione, come l'elevato contenuto di glutine, il glutine forte e l'essiccazione ad alte temperature, hanno un effetto positivo sulla qualità di cottura della pasta. Pertanto, la qualità del glutine può essere un criterio importante per determinare fino a che punto aumentare la temperatura di essiccazione se si vuole controllare la collosità e la compattezza della pasta cotta [27].

Conclusioni

Le modificazioni indotte dalle alte temperature nella pasta portano notevoli benefici nel prodotto finito ma possono avere effetti non desiderabili. Spesso, una temperatura troppo elevata favorisce sia l'interazione proteina-proteina tra il glutine e le altre proteine della semola e anche interazioni tra zuccheri e proteine che danno il fenomeno di Maillard responsabile del "danno termico della pasta". Le diverse modificazioni sono riassunte nella tabella (figura 4.5) permettono di capire che per ottenere una pasta di elevata qualità è necessario analizzare con cura le caratteristiche della materia prima impiegata e gli effetti delle variabili tecnologiche su di essa [26]. Il cambiamento della struttura proteica e la gelatinizzazione dell'amido che contribuiscono alla formazione di una maglia glutinica omogenea nella pasta cruda è associata ad un'umidità del prodotto inferiore al 15 % insieme all'esposizione alle alte temperature. Per questo motivo i cicli di essiccazione vengono chiamati HT-LM (High Temperature and Low Moisture) e HT-HM (High Temperature and High Moisture).

CICLO ESSICCAZIONE (sigla e condizioni)	FENOMENI A CARICO DEI COMPONENTI			EFFETTI SULLA PASTA		
	AMIDO	GLUTINE	PROTEINE SOLUBILI	QUALITÀ COTTURA	COLORE	REAZIONE DI MAILLARD
LT T < 60° C	nessuna modificazione significativa	nessuna modificazione significativa	nessuna modificazione significativa	correlata alla qualità della semola	correlato alla qualità della semola	trascurabile
HT - HM T > 75-80° C Umidità pasta >20%	rigonfiamento	massima denaturazione termica	massima insolubilità	modesto miglioramento	correlato alla qualità della semola	media intensità
HT - LM T > 75-80° C Umidità pasta <15-17%	possibile interazione con proteine; nessuna gelatinizzazione ma nuova organizzazione	forte interazione reciproca; reticolo denaturato preformato già nella pasta cruda	massima interazione con proteine	generale miglioramento (soprattutto per materie prime bassa qualità)	miglioramento per pigmenti di neoformazione; rischio imbrunimento	massima intensità

Figura 4.5: Fenomeni a carico dei componenti ed effetti osservabili sulla pasta secca [26]

4.2 Principali difetti della pasta

I difetti di essiccazione che si possono verificare nella pasta derivanti dal processo di produzione sono molteplici. A seconda del punto in cui si manifestano, i difetti si possono indicare come difetti da estrusione, pre-essiccazione, essiccazione e raffreddamento. Durante l'estrusione dell'impasto con la trafilatura in bronzo è probabile che si verifichi il difetto di "**sbiancatura**" della superficie della pasta. L'aspetto della pasta è biancastro e la colorazione paglierina viene molto alterata anche nel prodotto finito. Si tratta di un difetto visivo che non interferisce con le caratteristiche nutrizionali e sensoriale della pasta ma ha un impatto a livello estetico durante l'acquisto del prodotto. Questo difetto è individuabile nelle condizioni di umidità e temperatura dell'impasto al momento della miscelazione e soprattutto durante la velocità di trafilatura [4].

I più importanti difetti che si ritrovano nella pasta sono dovuti al mancato controllo dei parametri di essiccazione durante la fase di incartamento ed essiccazione. Un noto difetto comune all'industria della produzione della pasta è la "**bottatura**". Con questo termine si intende indicare la presenza di striature bianche che penetrano in profondità nella pasta. Queste striature portano a delle tensioni non omogenee nella struttura della pasta che creano delle microfessurazioni interne che poi causeranno la rottura del prodotto durante la cottura [11]. L'umidità del prodotto rappresenta un grosso ostacolo alla stabilità della



(a) Spaghetto con difetto di bottatura

(b) Spaghetto di buona qualità

Figura 4.6: Comparazione di spaghetti con bottatura e spaghetti senza difetto

pasta in quanto l'insorgere delle bottature è molto favorito dall'aumento del contenuto d'acqua. Il raffreddamento della pasta uscita dalla zona di essiccazione a temperature elevate provoca degli squilibri nell'umidità del prodotto. Il problema principale di questo difetto è che non si manifesta nel momento in cui la pasta esce dalla fase di stabilizzazione ma in ritardo, anche dopo il confezionamento del prodotto per cui non è direttamente rilevabile [15]. Un altro difetto da evidenziare sono i "**segni da bruciatura**". Un'aria troppo secca o la permanenza in un luogo particolarmente caldo provocano un'evaporazione all'interno della pasta stessa. L'aumento di volume determinato dal passaggio dell'acqua allo stato di vapore crea delle bolle che risultano come segni bianchi alla vista. La forma, la quantità e la distribuzione dei segni dipendono sia dall'umidità del formato sia dalle caratteristiche dell'ambiente che determina tale fenomeno. La bruciatura solitamente è frequente nella fase di incarto quando le temperature sono più alte.

5

Conclusioni

La pasta secca può essere considerata un alimento iconico italiano ed è oggi apprezzata in tutto il mondo per le sue caratteristiche nutrizionali e sensoriali, oltre che per la sua versatilità. Sebbene sia una tecnologia consolidata, il processo di produzione della pasta deve essere ottimizzato, tenendo conto dei cambiamenti nello stile di vita e nelle richieste dei consumatori. In conseguenza delle variabili che influenzano il processo di essiccazione, dalle proprietà chimico-fisiche della materia prima utilizzata alle caratteristiche funzionali e tecniche dell'impianto usato, la dinamica dell'essiccazione della pasta è relativamente complessa. Si è dimostrato che per ottenere una pasta di qualità, dal punto di vista organolettico e di sicurezza igienico sanitaria, è necessario gestire in modo approfondito l'equilibrio tra umidità e temperatura all'interno dell'essiccatore, poiché questi due parametri risultano cruciali per la realizzazione ottimale del processo di essiccazione. La qualità della pasta viene discussa anche in relazione alle condizioni di essiccazione che tengono conto sia dei cambiamenti ultrastrutturali nell'organizzazione delle proteine e dell'amido, sia della comparsa di molecole derivanti dalla reazione di Maillard. L'obiettivo dei moderni pastifici industriali è quello di garantire una pasta di alta qualità sensoriale, gestendo tutto il processo di produzione, dalla materia prima all'essiccazione, in modo tale che i parametri di processo non influiscano negativamente sul prodotto finito.

Bibliografia

- [1] Andrea Bresciani, Maria Ambrogina Pagani e Alessandra Marti. «*Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality.*» In: *Cereal Chem* 11.256 (2022). URL: <https://www.mdpi.com/journal/foods..>
- [2] Decreto del Presidente della Repubblica 9 febbraio 2001 n. 187. *Regolamento per la revisione della normativa sulla produzione e commercializzazione di sfarinati e paste alimentari, a norma dell'articolo 50 della legge 22 febbraio 1994, n. 146.* URL: <https://www.politicheagricole.it/>.
- [3] Professore C. Maucieri. *Qualità del frumento e valutazione degli effetti sui prodotti derivati.*
- [4] Angelo Sicignano et al. «*From raw material to dish: pasta quality step by step.*» In: *J Sci Food Agric* 95 (2015), pp. 2579–2587. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.717>.
- [5] L. Milatovich e G. Mondelli. *La tecnologia della pasta alimentare.* Chiriotti Editori, 1990, pp. 63–250. ISBN: POL080007028.
- [6] Paolo Amirante. *Macchine ed Impianti per la produzione della Pasta.* 2016. URL: <https://www.researchgate.net/publication/309589868>.
- [7] Qingfa Wang, Limin Li e Xueling Zheng. «*A review of milling damaged starch/ Generation, measurement, T functionality and its effect on starch-based food systems.*» In: *Food Chemistry* 76.126267 (2020). URL: www.elsevier.com/locate/foodchem.
- [8] Gianni Mondelli. «*L'essiccazione statica della pasta.*» In: *Pasta & Pastai. L'informazione professionale per la pasta fresca e secca.* 150 (2017), pp. 10–21. URL: https://issuu.com/avenuemedia.srl/docs/150_pasta___pastai..

- [9] Agatha Di Bella. «*I parametri corretti per un'essiccazione di qualità.*» In: *Pasta & Pastai. L'informazione professionale per la pasta fresca e secca.* 173 (2020), pp. 6–15. URL: <https://www.pastaepastai.it/>.
- [10] Gianni Mondelli. «*Principali parametri di processo nell'essiccazione della pasta.*» In: *Pasta & Pastai. L'informazione professionale per la pasta fresca e secca.* 87 (2010), pp. 5–17. URL: <https://issuu.com/avenuemedia.srl/docs..>
- [11] Pizzi. Gruppo Barilla. «*LA PASTA. Storia, tecnologia e segreti della tradizione italiana.*» In: 4 (2002), pp. 121–160. URL: <https://www.archiviohistoricobarilla.com/wp-content/uploads/2018/04/STORIA-PASTA-4.pdf>.
- [12] Giacomo Padovan. *Verifica sperimentale di modelli di trasporto di acqua nell'essiccazione di pasta lunga. Tesi di Laurea in Ingegneria Chimica.* 2010/2011.
- [13] Professor Zeppa Giuseppe. *Appunti di tecnologia della pasta.*
- [14] C. Zweifel et al. «*Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta.*» In: *Cereal Chem* 80.2 (2003), pp. 159–167. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1094/CCHEM.2003.80.2.159..>
- [15] Y. H. Hui e Frank Sherkat. *Handbook of food science technology and engineering.* Cleup sc, 2005, pp. 158-11–158-13. ISBN: 9780429096112. URL: <https://doi.org/10.1201/b15995>.
- [16] Dario Frisio. *Ingegneria dell'Industria Agroalimentare, volume II: Teoria, Applicazioni e Dimensionamento delle Macchine e Impianti per le Operazioni Unitarie.* Cleup sc, 2018, pp. 47–94. ISBN: 9788867878321.
- [17] Takenobu Ogawa et al. «*Effects of drying temperature and relative humidity on spaghetti characteristics.*» In: *Drying Technology.* 35.10 (2017), pp. 1214–1224. URL: <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1236812..>
- [18] Pavan S.p.A. «*Impianti per la produzione di pasta secca.*» In: (2019). URL: https://issuu.com/pavangroup/docs/pavan_dry_pasta_ita.
- [19] Aylin Altan e Medeni Maskan. «*Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni: Drying characteristics and effect of drying processes on starch properties.*» In: *Food Research International* 38 (2005), pp. 787–796. URL: www.elsevier.com/locate/foodres.

- [20] Monika Piwińska et al. «*Effect of drying methods on the physical properties of durum wheat pasta.*» In: *Journal of Food* 14.4 (2016), pp. 523–528. URL: <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1149226..>
- [21] GEA Group. *Come lo sviluppo tecnologico ci ha permesso di produrre una pasta di qualità in tutto il mondo.* 2020. URL: <https://www.gea.com/it/stories/technology-making-high-quality-pasta-available-worldwide.jsp>.
- [22] La Monferrina. *Essiccatoi EC/NG.* URL: <https://www.la-monferrina.com>.
- [23] Storic S.p.A. *Celle di essiccazione HW.* URL: <https://www.storci.com>.
- [24] Jessica C. Murray, Alecia M. Kiszonas e Craig F. Morris. «*Pasta Production: Complexity in Defining Processing Conditions for Reference Trials and Quality Assessment Methods.*» In: *Cereal Chem* 94.5 (2017), pp. 791–797. URL: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-17-0072-RW..>
- [25] Vanessa Giannetti, Maurizio Boccacci Mariani e Sonia Colicchia. «*Furosine as marker of quality in dried durum wheat pasta: Impact of heat treatment on food quality and security.*» In: *Food Control* 125 (2021). URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108036>.
- [26] Alessandra Marti e M. Ambrogina Pagani. «*Struttura e qualità della pasta di semola.*» In: *Pasta & Pastai. L'informazione professionale per la pasta fresca e secca.* 188 (2022), pp. 8–18. URL: <https://www.pastaepastai.it/>.
- [27] Raimondo E. Cubadda et al. «*Influence of Gluten Proteins and Drying Temperature on the Cooking Quality of Durum Wheat Pasta.*» In: *Cereal Chem* 84 (2007), pp. 48–55. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1094/CCHEM-84-1-0048>.