

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di:

AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E  
AMBIENTE

Corso di laurea triennale in:

SCIENZE E CULTURA DELLA GASTRONOMIA

TESI DI LAUREA

**FARINA E PANIFICAZIONE: UN'ANALISI DEL SUO  
RUOLO CRUCIALE**

Relatore:

PROF. FRANCO TAGLIAPIETRA

Laureando:

ALESSANDRO ROMANO

MAT. 2052166

Anno accademico 2023/2024



## Sommario

<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>CAPITOLO 1: DAL FRUMENTO ALLA FARINA</b> .....	5
<b>1.1 Dall'antichità ad oggi il successo del frumento</b> .....	5
<b>1.2 Composizione della cariosside di frumento</b> .....	6
<b>1.3 La macinazione</b> .....	8
<b>1.3.1 La moderna molitura industriale a cilindri</b> .....	9
<b>1.3.2 La molitura a pietra tradizionale</b> .....	11
<b>1.4 Tasso di abburattamento</b> .....	12
<b>1.5 Definizione e Classificazione commerciale delle farine</b> .....	13
<b>CAPITOLO 2: QUALITÀ DELLA FARINA</b> .....	15
<b>2.1 Le proteine del frumento</b> .....	15
<b>2.2 Strumenti per misurare la qualità delle farine</b> .....	18
<b>2.2.1 Farinografo di Brabender</b> .....	19
<b>2.2.2 Indice di caduta di Hagberg o numero di caduta o Falling number</b> .....	22
<b>2.2.3 Alveografo di Chopin</b> .....	23
<b>CAPITOLO 3 IL PROCESSO PRODUTTIVO</b> .....	25
<b>3.1 Metodo diretto vs Metodo indiretto</b> .....	25
<b>3.2 L'impastamento</b> .....	28
<b>3.2.1 Le impastatrici</b> .....	30
<b>3.3 Dough Yield (DY) o Rendimento dell'impasto</b> .....	32
<b>3.4 Lievitazione dell'impasto</b> .....	33
<b>3.5 Spezzatura dell'impasto</b> .....	34
<b>3.6 Cottura dell'impasto</b> .....	36
<b>CONCLUSIONE</b> .....	38
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	39

## ABSTRACT

La tesi *"Farina e Panificazione: Un'Analisi del Suo Ruolo Cruciale"* approfondisce il ruolo fondamentale delle farine nella produzione del pane, esaminando come le diverse tipologie influenzino la qualità e le caratteristiche del prodotto finale. Si analizzano le proprietà chimico-fisiche delle farine, come il contenuto proteico e la qualità del glutine, che sono determinanti per la lavorazione degli impasti e per la struttura del pane. Le farine con un alto contenuto proteico e un forte glutine, ad esempio, sono ideali per pani a lunga lievitazione, mentre farine con minore contenuto proteico si prestano a prodotti più morbidi con tempi di lievitazione più brevi.

La tesi esplora anche la reologia degli impasti, ovvero il comportamento meccanico sotto sforzo, evidenziando come la giusta elasticità e plasticità siano cruciali per ottenere un pane con una buona alveolatura e una mollica soffice. Inoltre, vengono esaminati gli effetti delle diverse farine sulle fasi della panificazione, dalla miscelazione alla cottura, e come queste influenzino la crosta, la consistenza e la durata del pane.

The thesis *"Flour and Breadmaking: An Analysis of Its Crucial Role"* delves into the fundamental role of flour in bread production, examining how different types of flour influence the quality and characteristics of the final product. It analyzes the chemical-physical properties of flour, such as protein content and gluten quality, which are crucial for dough handling and bread structure. Flours with high protein content and strong gluten, for instance, are ideal for long-fermented breads, while flours with lower protein content are suited for softer products with shorter fermentation times.

The thesis also explores dough rheology, which is the mechanical behavior under stress, highlighting how the right elasticity and plasticity are essential for achieving bread with good crumb structure and a soft interior. Additionally, it examines the effects of different flours on the various stages of breadmaking, from mixing to baking, and how these influence the crust, texture, and shelf life of the bread.

## **CAPITOLO 1: DAL FRUMENTO ALLA FARINA**

### **1.1 Dall'antichità ad oggi il successo del frumento**

La coltivazione del frumento ha avuto inizio oltre 8000 anni fa tra le civiltà europee, nordafricane e dell'est asiatico, dove veniva utilizzato come alimento base. Oggi, il frumento è una delle tre principali colture cerealicole a livello mondiale, con una produzione annuale che supera i 600 milioni di tonnellate. Sebbene il frumento sia coltivato in tutto il mondo, la maggior parte della produzione avviene nell'Unione Europea, in India e in Russia (FAO, 2015).

L'ampia diffusione del frumento è stata possibile grazie ai suoi numerosi vantaggi agronomici. La pianta può crescere in un ampio range di latitudini, tra 30° e 60° N e tra 27° e 40° S. Inoltre, il frumento è in grado di adattarsi a un vasto intervallo di temperature, che varia dai 3° ai 32° C, con una temperatura ottimale di crescita di 25° C. La sua capacità di prosperare in aree con una piovosità annuale tra 250 mm e 750 mm contribuisce ulteriormente alla sua diffusione, rendendolo coltivabile in oltre tre quarti delle terre arabili del mondo.

Grazie alla ricerca sul miglioramento genetico, in pochi anni la resa del frumento aumentò da 1 tonnellata per ettaro, che era la resa media nei primi anni del Novecento, a oltre 1,5 tonnellate per ettaro nel 1935, continuando a crescere anche dopo la Seconda guerra mondiale. Tra il 1951 e il 1990, sebbene la superficie destinata alla coltivazione del frumento sia rimasta quasi invariata, la produzione mondiale è aumentata significativamente. Nel 1951, la resa media mondiale era di circa 1 tonnellata per ettaro, mentre nei primi anni '80 è salita a circa 2 tonnellate per ettaro, raggiungendo le 2,5 tonnellate per ettaro nel 1995.

Nelle due immagini di seguito è messa a confronto la produzione mondiale di frumento nella prima metà degli anni Settanta (figura 1) con quella del 2010 (figura 2).

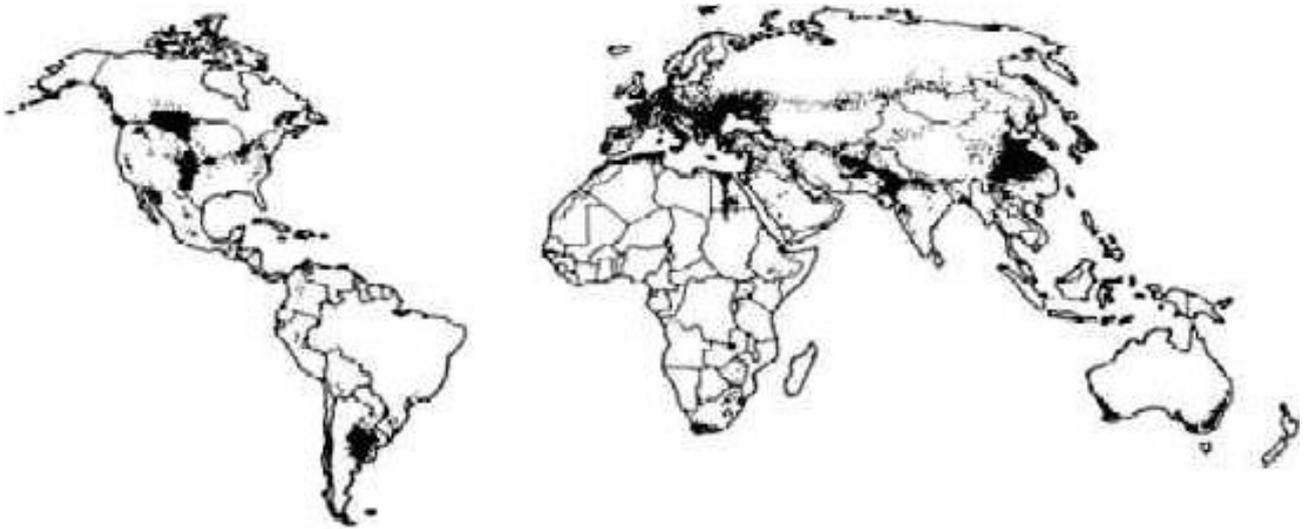


Figura 1: Produzione mondiale di frumento durante la prima metà degli anni '70.

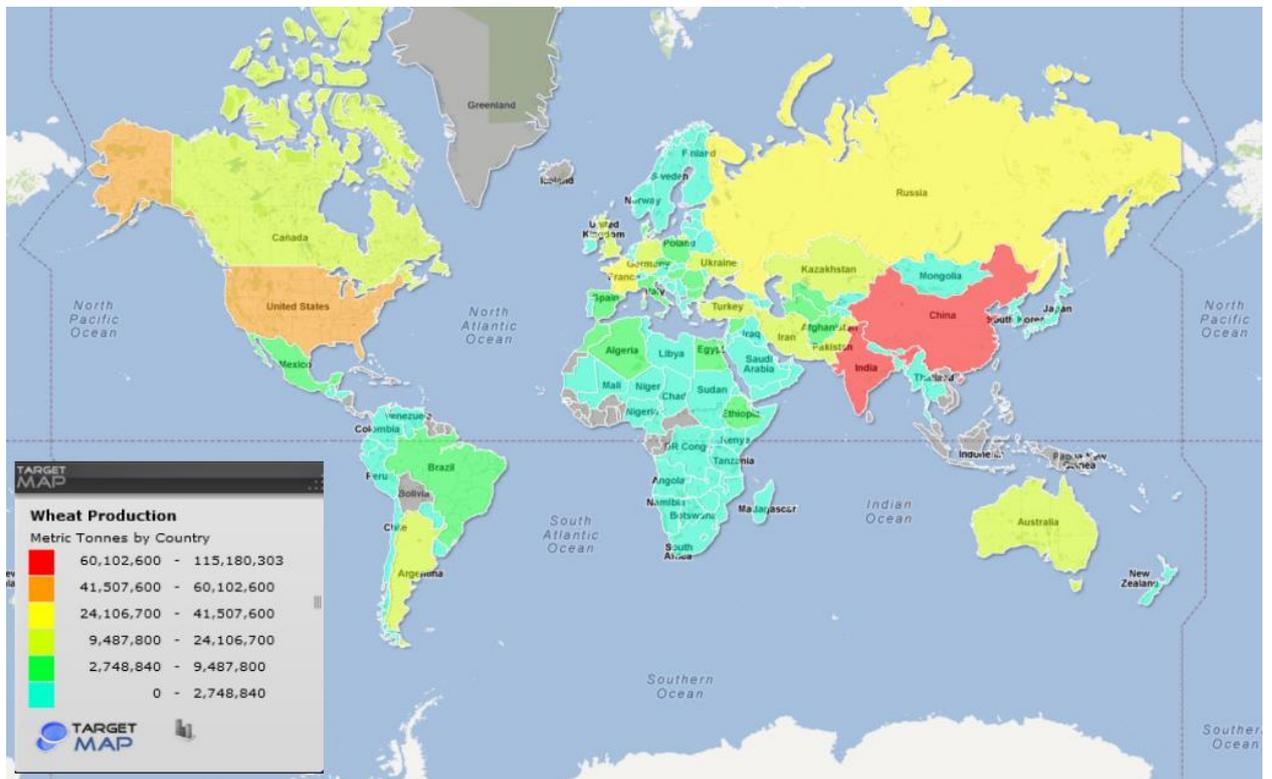


Figura 2: Produzione mondiale di frumento nel 2010.

## 1.2 Composizione della cariosside di frumento

Col termine cariosside si indica un frutto secco indeiscente monospermio tipico della famiglia delle Graminaceae. Nel linguaggio corrente è conosciuto come chicco mentre nel linguaggio tecnico-pratico come granella. In questo caso parliamo della cariosside di frumento.

All'interno della cariosside del grano si trova il frutto, la cui superficie dorsale presenta, alla base, la traccia dell'embrione, mentre quella ventrale è attraversata dall'ilo, un solco che corre lungo tutta la lunghezza. Nei cereali moderni, la cariosside misura circa 5-7 mm in lunghezza, 3-4 mm in larghezza, e pesa tra 30 e 50 mg. La forma può variare, ma nelle varietà attuali è comune quella globulare. Nei cereali antichi, la dimensione del seme rappresenta una delle caratteristiche distintive, essendo significativamente più grande. La forma della cariosside di ogni varietà di grano permette di prevedere la quantità di farina che si otterrà dalla molitura. Le cariossidi di forma prevalentemente globulare offrono una resa in farina superiore rispetto a quelle di forma lanceolata. Un'altra distinzione tra questi due tipi di cariossidi è la presenza o assenza della pula (glumella) attorno al seme. Per questo motivo, alcune varietà di cereali antichi sono chiamate "vestite", a differenza di quelle moderne, note come "nude". La presenza della pula assicura una maggiore conservabilità delle cariossidi. Tuttavia, col tempo, è diventato necessario eliminare la pula per rendere più efficienti le operazioni successive alla raccolta. Così, le cariossidi delle varietà moderne sono più facili da lavorare, ma anche più suscettibili al deterioramento.

Procedendo dall'esterno verso l'interno, il primo strato della cariosside è un rivestimento liscio e di colore variabile, chiamato **pericarpo**, si tratta di un involucro esterno costituito da più strati di cellule ricche in cellulosa e sali minerali. Subito sotto il pericarpo si trova lo **strato aleuronico**, che ha una composizione simile al pericarpo ma con un'aggiunta di proteine, di cui circa metà sono idrosolubili e presentano una struttura granulare; contiene inoltre grassi, enzimi e vitamine. Questo strato, insieme al pericarpo e ai tessuti embrionali separati dal resto del seme, forma la crusca, che rappresenta il 14-20% della cariosside. La crusca, rispetto al seme intero, contiene il 27% di proteine, il 24% di lipidi e il 49% di carboidrati. Sotto lo strato aleuronico si trova l'**endosperma**, che costituisce l'85% della cariosside. È composto principalmente dall'endosperma amidaceo da cui si ottiene la farina, che costituisce il 70-80% del chicco. L'endosperma funge da riserva energetica per l'embrione durante la germinazione e contiene amido, proteine, vitamina B5, vitamina B2 e vitamina B3. Le proteine contenute nell'endosperma, quando idratate, creano una matrice viscosa ed elastica, con una notevole percentuale di proteine del glutine. Il 2% restante della cariosside è composta dall'**embrione** che è composto principalmente da oli e grassi.

Le sostanze chimiche che compongono la cariosside sono distribuite in diverse parti. Sintetizzando i tegumenti contengono principalmente cellulosa e sali minerali, mentre l'endosperma è ricco di proteine, vitamine e lipidi.

## Cariosside di Grano

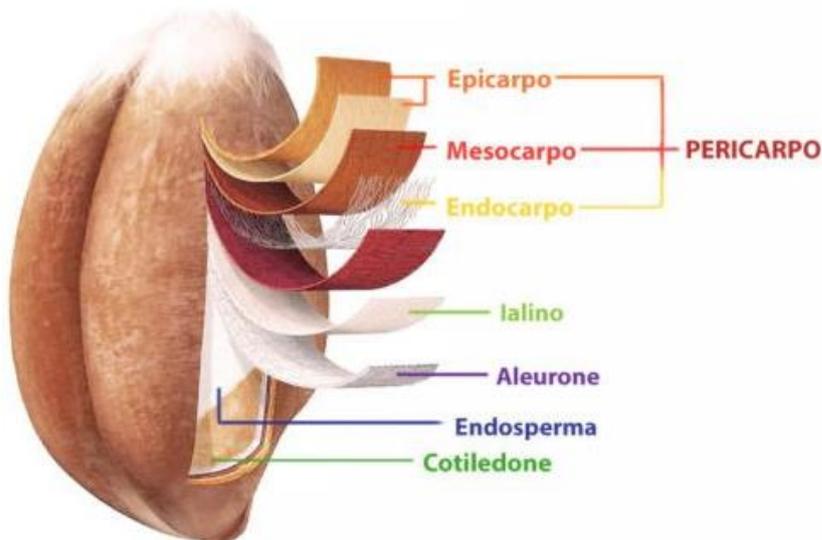


Figura 3: Cariosside del Grano.

### 1.3 La macinazione

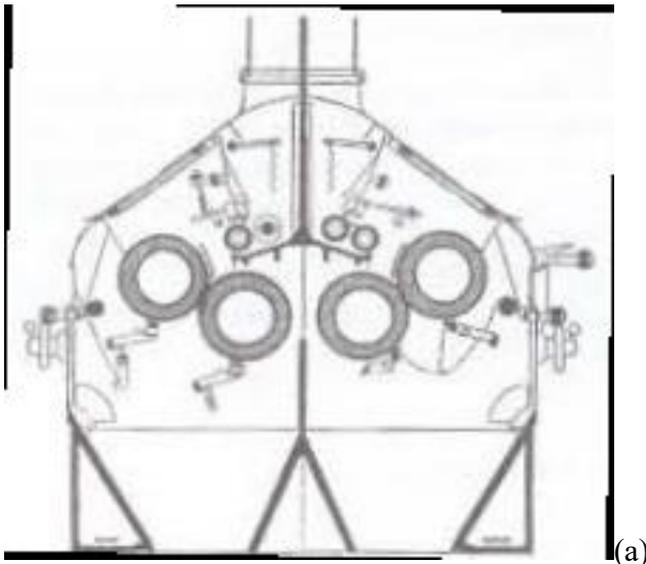
La macinazione del frumento ha lo scopo di separare l'endosperma amilaceo dalla parte corticale e dal germe. In questo senso può essere considerata un processo di estrazione e di separazione. Allontanando gli strati più esterni della cariosside si determina la rimozione dei composti bioattivi dello strato aleuronico. La trasformazione delle cariossidi di frumento in sfarinati comprende tre fasi: pulitura, condizionamento e macinazione.

La pulitura è finalizzata alla rimozione delle impurità di origine minerale o vegetale dal grano, riveste un ruolo fondamentale nella qualità dei prodotti semilavorati e finiti. Il frumento è successivamente bagnato con una quantità sufficiente di acqua per facilitare il distacco dei tegumenti dall'endosperma grazie alla loro maggiore elasticità e minore fragilità, ottenendo sfarinati con maggiore attitudine all'impastamento. L'operazione di molitura deve frantumare le cariossidi e toglierne l'endosperma, rimuovere le parti corticali dall'endosperma, ridurre l'endosperma in farina e setacciare i prodotti intermedi della macinazione.

### 1.3.1 La moderna molitura industriale a cilindri

I molini moderni sono completamente automatici e hanno un'elevata efficienza produttiva. Il processo di macinazione nei molini a cilindri, o laminatoi, consente di estrarre/separare l'endosperma dalle parti corticali della cariosside sotto forma di sfarinati. Si possono distinguere tre fasi principali: la rottura, lo svestimento e la rimacina. I laminatoi di rottura, costituiti da cilindri rigati, frantumano le cariossidi e cercano di staccare dalla parte farinosa (mandorla) la parte corticale, rimossa sotto forma di larghe scaglie di crusca (frazione non digeribile comunemente chiamata fibra). I laminatoi di svestimento separano le parti tegumentali dall'endosperma, mentre i laminatoi di rimacina riducono i frammenti di mandorla farinosa, provenienti dalla rottura, in farina fino alla granulometria desiderata, attraverso il passaggio su cilindri lisci. Ogni passaggio di macinazione è seguito da un'operazione di separazione per setacciamento attraverso i plansichters, ossia dei setacci a maglie decrescenti che oscillano, utilizzati per dividere i prodotti della macinazione in base alla granulometria e al peso specifico. In genere, i plansichters sono posti sotto i laminatoi per comodità.

Per il grano duro sono utilizzate anche le semolatrici che, vibrando, fanno sì che la semola si muova lentamente, investita da una corrente d'aria ascensionale. In questo modo la semola viene sollevata e la corrente d'aria rimuove le particelle più fini. I prodotti principali che si ottengono dalla macinazione del frumento duro e del frumento tenero sono, rispettivamente, semola e farina, mentre i sottoprodotti sono crusca, cruschetto, tritello, farinaccio e farinette.

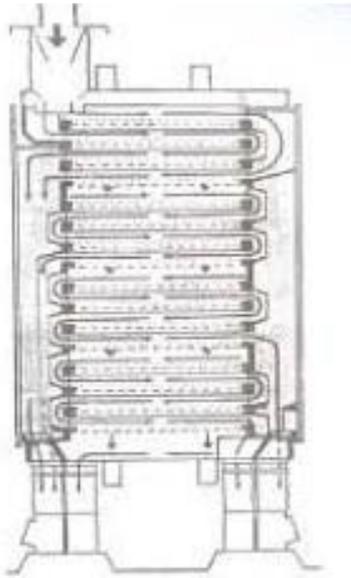


(a)



(b)

Figura 4: Laminatoio a cilindri (a) e sala laminatoi in un molino (b).



(c)



(d)

Figura 5: Planschifter (c) e sala plansichters (d).

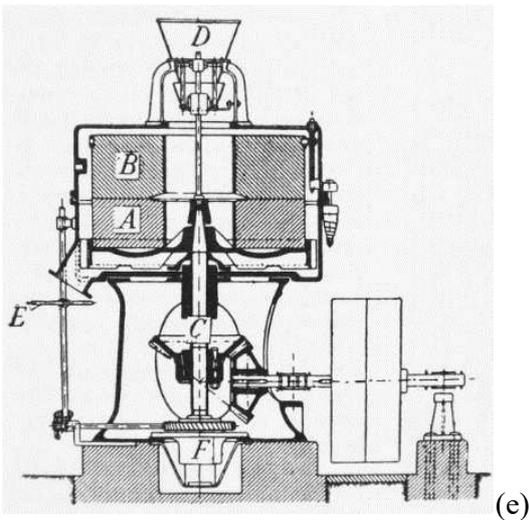
### 1.3.2 La molitura a pietra tradizionale



Figura 6: Molino a pietra.

Il molino a pietra (o molino “a palmenti”) è costituito da due mole orizzontali che si muovono in senso inverso. Il grano entra da un’apertura mediante una tramoggia collocata al centro della mola superiore. Le mole sono dotate di scanalature o “raggi” per forzare il grano a compiere un lungo percorso. Per evitare un surriscaldamento del prodotto le mole utilizzate per la macinazione del grano tenero presentano un maggior numero di raggi abbastanza profondi.

Nel molino a pietra si esercita una forte pressione e contemporaneamente un forte sfregamento, al contrario del laminatoio a cilindri in cui prima viene frantumata la cariosside e poi si rimacina l’endosperma. Anche nel caso della macinazione a pietra è necessario un passaggio di selezione in un buratto, ottenendo farine integrali, di tipo “1” e di tipo “2”.



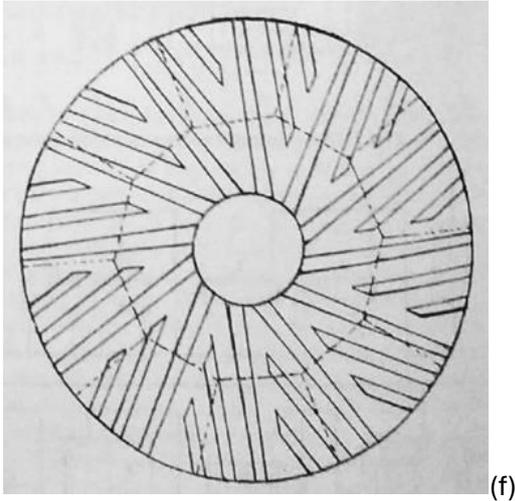


Figura 7: Schema di un molino a pietra (e) e della superficie di una mola (f).

#### 1.4 Tasso di abburattamento

Dalla macinazione si possono ottenere farine più o meno raffinate o integrali che differiscono per il diverso contenuto di fibra e nutrienti.

La composizione della farina, che come già detto proviene dalla parte più interna della cariosside, detta endosperma, dipende dal grado di abburattamento (dal nome buratto o setaccio). Il tasso di abburattamento di una farina è il quantitativo di farina in kg ottenuto da 100 kg di grano ed equivale al rendimento delle operazioni di pulitura, molitura e setacciatura.

In teoria, poiché l'endosperma rappresenta circa l'85% in peso della cariosside, sarebbe possibile ottenere 85 parti di farina da 100 parti di frumento, ma in realtà la "resa di macinazione", ossia la quantità di farina ottenibile da 100 kg di grano, è molto bassa.

Più alta è la resa di macinazione, quindi all'aumentare del tasso di abburattamento, maggiore è la percentuale di proteine, sali minerali e vitamine nelle farine, perché aumenta la quantità di farina estratta dalla parte più esterna dell'endosperma.

Le farine a più basso tasso di abburattamento saranno perciò le più raffinate, povere in fibra, sali minerali e vitamine. Invece, le farine integrali includono l'endosperma amidaceo, il germe e i tegumenti della granella, risultando quindi più nutrienti rispetto a quelle raffinate, in particolar modo per il contenuto di fibre.

Dalla lavorazione (molitura) si ottengono:

- Farina: 75-78%. Questo è il tasso di abburattamento più frequente per le farine destinate alla panificazione. Ovviamente è minore nelle farine per dolci o per pane di lusso, a causa della maggiore raffinazione.
- Farinette: 2,5-3%;
- Crusca: 20-22%;
- Scarti: 0,5-2%.

### 1.5 Definizione e Classificazione commerciale delle farine

La farina è quel prodotto ottenuto dalla macinazione dei frutti secchi o dei semi di varie piante. Comunemente viene indicato col nome farina, senza specificarne l'origine, quella ottenuta dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano tenero, detto *Triticum aestivum* (esaploide), liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità. Viene coltivato principalmente nella parte nord e presenta semi più piccoli. È usato soprattutto per la produzione di dolci, biscotti, panettoni, pane, pizza ecc...

Invece il frumento duro, chiamato *Triticum durum* (tetraploide) viene coltivato principalmente nel centro-sud e viene utilizzato prevalentemente per la produzione di pasta ma anche per la panificazione e prende il nome di "semola".

Il D.P.R 9 febbraio 2001 n.187 comporta la revisione della legge n.580 del 4 luglio 1967, riguardante la produzione e la commercializzazione degli sfarinati. Gli sfarinati di grano tenero possono essere classificati in:

- farina di grano tenero di tipo 00;
- farina di grano tenero di tipo 0;
- farina di grano tenero di tipo 1;
- farina di grano tenero di tipo 2;

È denominato “*farina di grano tenero*” il prodotto ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano tenero liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

- Farina integrale di grano tenero.

È denominato “*farina integrale di grano tenero*” il prodotto ottenuto direttamente dalla macinazione del grano tenero liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

La normativa prevede anche una classificazione per gli sfarinati di grano duro in:

- Semola di grano duro. È denominato “*semola di grano duro*”, o semplicemente “*semola*”, il prodotto granulare a spigolo vivo ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano duro, liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.
- Semolato di grano duro. È denominato “*semolato di grano duro*”, o semplicemente “*semolato*”, il prodotto ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.
- Semola integrale di grano duro. È denominato “*semola integrale di grano duro*”, o semplicemente “*semola integrale*”, il prodotto granulare a spigolo vivo ottenuto direttamente dalla macinazione del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.
- Farina di grano duro. È denominato “*farina di grano duro*” il prodotto non granulare ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità.

Nelle seguenti tabelle sono indicati i requisiti richiesti per i vari tipi di farina e di semola in riferimento a cento parti di sostanza secca:

Denominazione	Umidità max	Ceneri min	Ceneri max	Proteine
Farina di tipo 00	14,5	-	0,55	9
Farina di tipo 0	14,5	-	0,65	11
Farina di tipo 1	14,5	-	0,8	11
Farina di tipo 2	14,5	-	0,95	12
Farina integrale	14,5	1,3	1,7	12

Tabella caratteristiche compositive delle farine di frumento tenero secondo il DPR 187/2001.

In generale, all'aumentare della raffinazione della farina (ad esempio, il tipo '00', che rappresenta il massimo livello di raffinazione), diminuisce il contenuto di ceneri e cellulosa, componenti principalmente presenti nel pericarpo e negli strati immediatamente sottostanti. Anche il contenuto proteico si riduce con l'aumentare della raffinazione, poiché la percentuale di proteine è maggiore nelle zone periferiche dell'endosperma rispetto a quelle centrali.

Denominazione	Umidità max	Ceneri min	Ceneri max	Proteine
Semola	14,5	-	0,9	10,5
Semolato	14,5	0,9	1,35	11,5
Semola integrale	14,5	1,4	1,8	11,5
Farina di grano duro	14,5	1,36	1,7	11,5

Tabella caratteristiche compositive delle farine di frumento duro secondo il DPR 187/2001.

## CAPITOLO 2: QUALITÀ DELLA FARINA

### 2.1 Le proteine del frumento

La qualità della farina, intesa come qualità per la panificazione e qualità nutrizionale, dipende soprattutto dal contenuto di proteine. Le proprietà funzionali uniche degli impasti di frumento dipendono principalmente dalla quantità e qualità (composizione) delle proteine. Il contenuto proteico della cariosside si estende in un intervallo piuttosto ampio, dall'8 al 18%, poiché dipende da diversi fattori (genetici, ambientali e agronomici). Le proteine sono diffuse specialmente nella parte esterna della cariosside. Troviamo due principali categorie di proteine: le solubili e le prolamine.

Le proteine solubili comprendono le **albumine** e le **globuline**, sono proteine solubili in soluzioni acquose neutre, rispettivamente a bassa e alta concentrazione salina (le albumine sono solubili anche in acqua distillata). Queste proteine costituiscono circa il 20% delle proteine di riserva del chicco di grano. Sono principalmente proteine enzimatiche, di grande importanza nutrizionale grazie alla loro composizione amminoacidica equilibrata, simile a quella delle proteine animali di alta qualità. Tuttavia, hanno un'importanza limitata dal punto di vista tecnologico, ed essendo prevalentemente presenti nello strato aleuronico e nel germe del chicco di grano (embrione) vengono per la maggior parte rimosse durante la macinazione e la setacciatura del grano per ottenere farine raffinate, finendo per far parte della crusca.

La qualità delle proteine è determinata dalle prolamine che includono le **gliadine** e le **glutenine** sono proteine insolubili in acqua ma solubili in solventi polari come alcol (le gliadine sono solubili in soluzioni di etanolo al 70%) e acetone (le glutenine sono solubili in soluzioni di acido acetico). Queste proteine costituiscono circa l'80% delle proteine

totali dell'endosperma del grano e sono fondamentali per le sue proprietà tecnologiche. Nonostante la loro insolubilità in acqua, le gliadine e le glutenine hanno una notevole capacità di idratazione. Sono proteine di riserva che, grazie alla loro struttura quando entrano in contatto con l'acqua, possiedono la capacità di interagire tra di loro formando legami intermolecolari durante l'impastamento che creano un reticolo proteico tridimensionale noto come glutine, simile a una gomma da masticare. Questo reticolo intrappola l'amido, conferendo all'impasto caratteristiche di plasticità, elasticità e tenacità.

Le gliadine sono proteine monomeriche, cioè, sono costituite da una singola catena di aminoacidi, quindi, hanno un minor peso molecolare rispetto alle glutenine. Il loro peso molecolare medio è di 25.000-45.000 Da. Le  $\omega$ -gliadine possono arrivare a 60.000-80.000 Da. Le  $\omega$ -gliadine quasi prive di AA solforati non partecipano alla formazione del reticolo glutinico. Le glutenine sono proteine polimeriche, cioè catene proteiche elementari unite da legami intermolecolari. Si dividono a seconda del peso molecolare delle loro subunità in:

- LMW (low molecular weight: 30.000-50.000) (> idrofobiche)
- MMW (medium molecular weight) (< idrofobiche)
- HMW (high molecular weight 90.000-170.000)

Le glutenine sono dei polimeri nei quali i polipeptidi individuali (subunità) sono legati tra di loro da legami disolfuro (legami S-S inter-polipeptidici). A differenza delle gliadine, le glutenine possono formare legami disolfuro intermolecolari, consentendo la formazione di ampi reticoli proteici. Le glutenine, interagendo tra loro, creano una rete tridimensionale. Questa rete è composta da unità HMW e LMW di glutenina, caratterizzate da una struttura a spirale. Tale configurazione conferisce agli impasti maggiore resistenza, migliore consistenza durante la cottura e minore tendenza ad appiccicarsi.

La qualità delle proteine del glutine è fondamentale per determinare le proprietà viscoelastiche degli impasti di frumento (estensibilità ed elasticità). L'estensibilità assicura l'espansione in volume della massa di impasto durante la lievitazione e nelle prime fasi di cottura, mentre l'elasticità permette un controllo della forma desiderata. Le proprietà viscoelastiche dell'impasto sono influenzate principalmente dalle proprietà del glutine idratato. Da un lato c'è la funzione plasticizzante delle gliadine, dall'altro il contributo elastico delle glutenine, che cresce all'aumentare della grandezza del polimero.

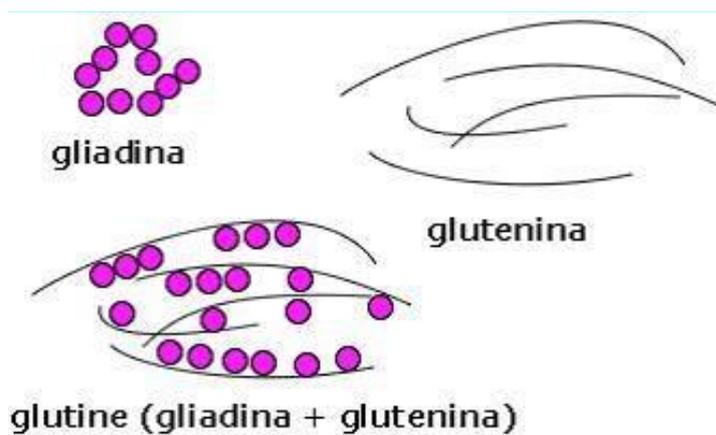


Figura 8: Struttura del glutine.

La Figura 9 rappresenta un'immagine della microstruttura dell'impasto per pane ottenuta mediante microscopia CSLM (Confocal Scanning Laser Microscopy). Questa tecnica permette di evidenziare chiaramente i due componenti principali dell'impasto: granuli di amido (verde) e proteine (rosso), oltre a eventuali bolle d'aria (nero). Le proteine della farina hanno il ruolo di creare una rete proteica omogenea nell'impasto, rappresentata dal glutine, che avvolge gli altri componenti. È particolarmente importante la struttura proteica che circonda le bolle d'aria inglobate durante l'impastamento. Durante la lievitazione, queste bolle si espandono per la diffusione di anidride carbonica, causando l'aumento del volume dell'impasto. Un glutine ottimale per la panificazione deve essere capace di resistere alla pressione del gas, grazie a numerose interazioni tra le catene proteiche, e di mostrare una buona elongazione biassiale. La presenza di un'elevata quantità di glutenine, in particolare quelle a peso molecolare più elevato, è fondamentale per la formazione di un glutine con numerose interazioni sia covalenti (legami disolfuro) sia non covalenti (aggrovigliamenti), che conferiscono all'impasto resistenza e forza.

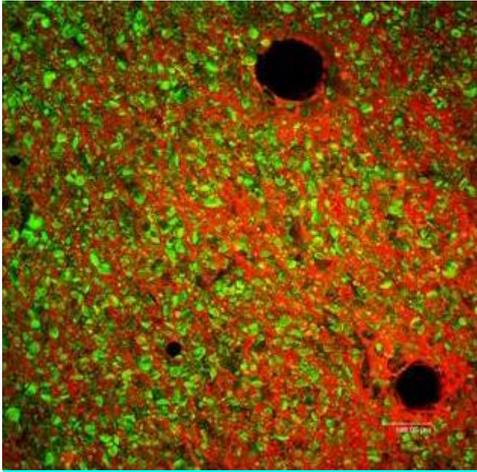


Figura 9: Microstruttura dell'impasto.

## 2.2 Strumenti per misurare la qualità delle farine

Per determinare la qualità degli sfarinati si devono effettuare analisi chimico-fisiche e reologiche. Le analisi chimico-fisiche permettono di individuare i componenti delle cariossidi e degli sfarinati, tra cui il tenore di ceneri, il contenuto di proteine e glutine, il rapporto amilosio/amilopectina, il contenuto di lipidi, la composizione amminoacidica, ecc. Con le analisi reologiche si effettua la simulazione del comportamento degli impasti durante la lavorazione, attraverso appositi strumenti. Gli aspetti che vengono valutati in queste analisi sono: qualità del glutine (indice di glutine, indice di sedimentazione, alveografo di Chopin, farinografo di Brabender, estensografo, ecc.), attività enzimatiche (indice di caduta di Hagberg, test amilografico ecc.), test sperimentali di pastificazione e panificazione.

Nello specifico, alcune analisi effettuate per determinare la qualità di farine e semole sono:

- Hardness o durezza delle cariossidi: viene misurata la granulometria delle semole o farine tramite i metodi PSI (*Particle Size Index*), NIR (*Near Infrared Reflectance*) o attraverso un metodo più recente (*Single Kernel Characterization System*, SKCS) il quale va a verificare la resistenza che le cariossidi oppongono alla frantumazione, il risultato viene espresso con un numero da 1 a 120 che aumenta all'aumentare della durezza;
- Volume di sedimentazione: procedimento che permette di valutare la qualità e la quantità delle proteine tramite l'osservazione del rigonfiamento e della flocculazione di queste in una soluzione di acido lattico, il risultato viene espresso in ml, valore che aumenta al migliorare delle caratteristiche qualitative;

- Contenuto in glutine: questo indice viene determinato impastando lo sfarinato con una soluzione salina di cloruro di sodio al 2% e lavandolo successivamente con acqua in modo da eliminare l'amido e le proteine solubili, il glutine umido viene poi asciugato e viene quantificata la quantità in percentuale;
- Indice di glutine: con questo metodo viene valutata la qualità del glutine, il quale, una volta estratto, viene posto in centrifuga e viene spinto a passare attraverso un apposito setaccio; in base alla percentuale di glutine che rimane sul setaccio lo possiamo definire da molto debole (passa interamente, l'indice di glutine è 0) a molto forte (non passa attraverso il setaccio, l'indice di glutine è 100).

### 2.2.1 Farinografo di Brabender

Il Farinografo di Brabender è lo strumento più utilizzato per valutare la qualità delle farine di frumento destinate alla panificazione. È un dispositivo dinamico, poiché effettua misurazioni durante la fase di mescolamento dell'impasto. Questo strumento consente di valutare le proprietà d'impastamento monitorando i cambiamenti di consistenza dell'impasto provocati dalle sollecitazioni meccaniche dell'impastatrice. In sostanza misura la resistenza al mescolamento dell'impasto che viene registrata su carta farinografica (diagramma sforzo-tempo detto Farinogramma, fig. 11). Lo sforzo si misura in Unità Brabender (UB).

Il Farinografo è costituito da: impastatrice, dinamometro, sistema di leve, sistema di scala, registratore (carta e pennino o Computer) e smorzatore a olio (Fig. 10).



*Figura 10: Farinografo di Brabender (sinistra) e un dettaglio della cella impastatrice (destra).*

Vengono misurati diversi parametri (tempi: valori dell'asse X del farinogramma):

- Tempo di arrivo (tra 0 e 500 UB): è il tempo che occorre per raggiungere le 500 UB;
- Tempo di picco (o di sviluppo dell'impasto o di mescolamento) tra 0 e max.: è il tempo necessario per arrivare al valore massimo di UB (picco);
- Tempo di partenza (tra 0 e il momento in cui la curva scende sotto le 500 UB): tempo necessario affinché il farinogramma scenda sotto 500 UB. Si indica con la lettera B;
- Stabilità dell'impasto (differenza tra tempo di partenza e tempo di arrivo): è il tempo espresso in minuti durante il quale il farinogramma resta sopra le 500 UB. Più è lungo questo tempo maggiore sarà la stabilità dell'impasto (mantiene le sue proprietà reologiche).

Altri parametri meno importanti:

- Larghezza farinogramma: tempo complessivo dell'esperimento;
- Indice di tolleranza meccanica: differenza in UB tra il valore misurato al tempo di picco ed il valore misurato dopo 5 minuti;
- Caduta al 20° minuto: viene indicato con la sigla E20 e si calcola facendo la differenza in UB tra il valore misurato al tempo di picco ed il valore misurato 20 minuti dopo. Talora si usa anche E10 (usando la misura dopo 10 minuti).



Figura 11: Caratteristico farinogramma rilevato con software e PC (3 diverse curve) con evidente picco e diminuzione progressiva di resistenza all'impastamento.

Indici ricavabili dal farinogramma:

1. assorbimento di acqua: (si indica con la lettera A). La quantità di acqua ottimale per la panificazione è molto vicina alla quantità di acqua necessaria per ottenere 500 UB: Per ogni incremento dell'1% di proteine l'assorbimento di acqua aumenta dell'1,5%.
2. tempo di arrivo: se breve significa che l'idratazione è molto breve (indice di farina mal conservata o danneggiata o proveniente da cariossidi pregerminate) e viceversa. L'amido intatto assorbe 0,44 grammi di acqua per grammo mentre l'amido danneggiato molto di più: 2 g/g.
3. tempo di picco: è correlato con il contenuto di proteina (caratteristica varietale).
4. tempo di partenza: stima della velocità con cui l'impasto perde di consistenza.
5. stabilità: stima della tolleranza al mescolamento.
6. larghezza del farinogramma: tanto più è larga tanto più alta è l'estensibilità dell'impasto.

I parametri 3 e 5 sono i parametri più usati.

A seconda della forza delle farine si classificano 7 tipi diversi:

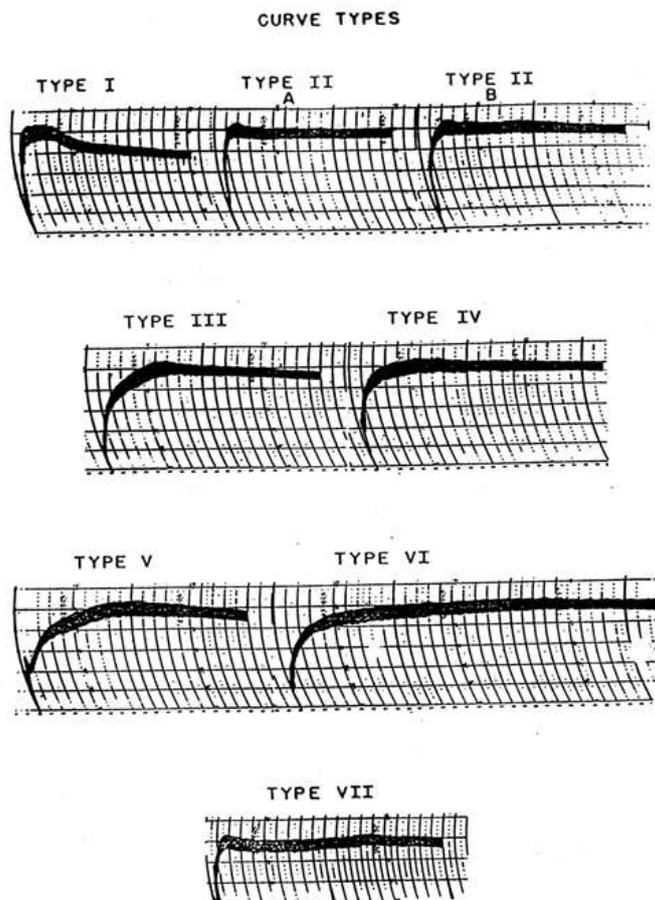


Figura 12: Tipi di farina in base alla loro forza.

	TEMPO PICCO	STABILITÀ
Tipo I	Breve	Breve
Tipo II	Breve	Lungo
Tipo III	Medio	Breve
Tipo IV	Medio	Lungo
Tipo V	Lungo	Breve
Tipo VI	Lungo	Lungo
Tipo VII	Doppio picco (frumenti molto forti)	

I e II sono i frumenti più comuni. V e il VI sono i frumenti di forza canadesi, utilizzati per correggere le farine italiane.

### 2.2.2 Indice di caduta di Hagberg o numero di caduta o Falling number

La pre-germinazione delle cariossidi determina un'elevata presenza di  $\alpha$ -amilasi, enzima che idrolizzando l'amido produce zuccheri utilizzati dal lievito per la fermentazione; la presenza di questo enzima rende gli impasti collosi e l'indice di caduta ci indica informazioni sulla viscosità della farina in acqua; maggiore è la velocità di caduta, minore è il contenuto in  $\alpha$ -amilasi.

Gli zuccheri fermentescibili, necessari per la fermentazione, diventano disponibili solo durante la fase dell'impasto: devono essere presenti in quantità sufficiente, altrimenti la produzione di CO<sub>2</sub> sarà scarsa e il pane presenterà alveoli irregolari e di grandi dimensioni.

La misura dell'attività  $\alpha$ -amilasica si ottiene con il numero di caduta, con uno strumento detto amilografo. È determinato su circa 7 grammi di farina (con piccole variazioni in base all'umidità) secondo la tecnica di Hagberg e Perten utilizzando l'apparecchio Falling Number (Fig. 13).

Il contenuto di amilasi si misura indirettamente dalla più o meno rapida gelatinizzazione di una sospensione di farina in acqua bollente (la T° ottimale delle amilasi è 72°C) e la liquefazione del gel da parte delle  $\alpha$ -amilasi. Il numero di caduta rappresenta il tempo, misurato in secondi, necessario affinché l'agitatore dello strumento scenda attraverso il gel bollente di acqua e farina su un tratto di lunghezza specifica. Tanto più elevata è l'attività amilasica tanto più bassa sarà la viscosità del gel ottenuto poiché l'amido verrà degradato più velocemente dalle amilasi che tagliano le catene lunghe. Il gel sarà attraversato più velocemente dall'agitatore quindi il numero di caduta risulterà minore.

Possibili intervalli di valori del numero di caduta:

< 200 secondi → troppe amilasi. Impasto molle e appiccicoso;

250 secondi → valore ottimale;

> 300 secondi → poche amilasi. L'impasto a pochi zuccheri fermentescibili, si ha un prodotto più compatto e più duro a cui serve aggiungere malto o farine maltate.



Figura 13: Strumento per misurare l'Indice di caduta.

### 2.2.3 Alveografo di Chopin

Le proprietà reologiche del sistema dopo l'impastamento vengono valutate utilizzando strumenti che misurano la relazione tra sforzo e deformazione. L'alveografo di Chopin è uno strumento ampiamente utilizzato a livello internazionale per la caratterizzazione reologica degli impasti, grazie alla sua capacità di misurare simultaneamente forza, tenacità ed estensibilità o elasticità. La tecnica alveografica consiste in un'analisi imitativa delle proprietà fisiche di un impasto, sottoponendolo a rigonfiamento tramite insufflazione d'aria fino alla rottura della bolla, simulando così il processo di lievitazione. La pressione all'interno della bolla d'impasto viene registrata dallo strumento. Dal tracciato ottenuto (fig. 14) si possono ottenere diversi parametri:

- tenacità dell'impasto (P): pressione massima necessaria a deformare il campione. Corrisponde all'altezza massima della curva;
- estensibilità dell'impasto (L): più la bolla resiste più l'impasto è estensibile, maggiore è il volume del pane. Corrisponde alla lunghezza della curva;
- forza della farina/semola (W): corrisponde all'area al di sotto della curva. indica la resistenza alla rottura, cioè, fornisce informazioni sull'energia necessaria a deformare l'impasto fino alla sua rottura;
- rapporto tra tenacità ed estensibilità della farina esprime l'equilibrio (P/L).

Tra 0,40 e 0,70 si trova il valore ottimale di P/L. Se questo valore scende sotto 0,40 (alveogramma lungo e basso), le farine risultano molto estensibili e collose, causando una scarsa lievitazione del pane poiché la maglia glutinica non riesce a trattenere l'anidride carbonica prodotta dai lieviti. Quando P/L è superiore a 0,70 (alveogramma corto e alto) le farine sono molto tenaci e difficili da impastare e si ottiene un pane poco sviluppato in volume.

W è l'indice sintetico che tiene conto di P e L, e si ottiene moltiplicando S (superficie della bolla alla rottura) per 6,54 ( $W=S*6,54$ ). Il valore di W indica la forza dell'impasto e la qualità tecnologica della farina. Generalmente valori inferiori a 150 indicano farine deboli e poco adatte alla panificazione, impasti collosi e difficili da lavorare e pane con alveolatura irregolare. Per valori compresi tra 150 e 170 le farine hanno forza mediocre e sono adatte a panificazioni con metodo diretto. Per valori compresi tra 170 e 250 le farine si prestano alla panificazione. Farine con valori compresi tra 250 e 310 sono farine forti e si prestano a panificazioni anche con metodo indiretto. Per valori superiori a 310 le farine sono molto forti, forniscono impasti difficilmente lavorabili e che richiedono tempi di lievitazione molto lunghi. I grani attuali possono raggiungere fino a 350 di W, un valore ottimale per la produzione di prodotti lievitati a lunga fermentazione come pandori e panettoni, sia perché questi prodotti devono lievitare tanto ma anche perché devono mantenere il volume raggiunto in cottura. In sostanza all'aumentare dei valori di W si ottiene un impasto più performante sotto il profilo reologico, più tenace e più elastico.

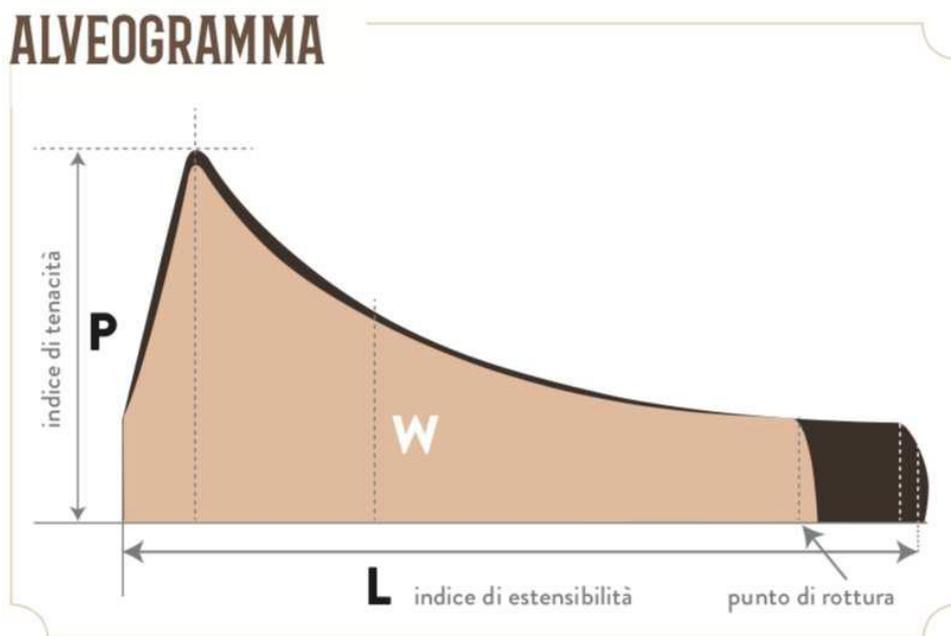


Figura 14: Tipico tracciato che si ottiene dall'alveogramma.

Come funziona l'Alveogramma?

Si preparano 5 dischetti di impasto (servono 5 repliche) e si mettono a rigonfiare lentamente nello strumento, mentre un sensore misura la pressione dentro la bolla. Il dischetto di impasto viene opportunamente fissato lungo il margine esterno con una ghiera metallica. Normalmente l'alveogramma fornisce i dati di ascissa e ordinata in lunghezza (mm). La pressione aumenta fino ad un massimo (picco), poi diminuisce fino ad un minimo, per poi scendere rapidamente a zero alla rottura della bolla d'impasto (Fig. 14).



*Figura 15: Esempio di alveografo in funzione. Si noti la formazione della bolla di impasto, mentre lo strumento registra l'alveogramma.*

## **CAPITOLO 3 IL PROCESSO PRODUTTIVO**

### **3.1 Metodo diretto vs Metodo indiretto**

In Italia, la produzione di pane, sia a livello artigianale che industriale, avviene tramite un processo discontinuo, caratterizzato da fasi di impastamento, lievitazione/fermentazione e cottura che vengono eseguite su quantità limitate di impasto e in impianti separati. Questi processi di panificazione discontinui possono essere attuati utilizzando il "metodo diretto" (straight-dough) o il "metodo indiretto" (sponge and dough).

Esiste anche un approccio intermedio chiamato "metodo semidiretto" che prevede il riutilizzo della "pasta di riporto", ossia un pezzo di impasto già fermentato, utilizzato come lievito per preparare un nuovo impasto.

Il **metodo diretto** consiste nell'aggiungere e mescolare tutti gli ingredienti in una sola fase di impastamento. La prima lievitazione, chiamata "puntata", dura da 30 minuti a 3 ore, a seconda del processo specifico. Questa fase ha due obiettivi principali: apportare modifiche significative alle proprietà reologiche dell'impasto e farlo aumentare di volume. La puntata migliora la lavorabilità dell'impasto, permettendogli di mantenere la forma assegnata durante la seconda fermentazione, nota come "appretto". Durante l'appretto, che dura circa un'ora, l'impasto è mantenuto a temperatura e umidità controllate per raggiungere il massimo sviluppo in volume.



Figura 16: Diagramma di panificazione con metodo diretto.

Nel **metodo indiretto** gli ingredienti sono aggiunti in più riprese, durante i cosiddetti “rinfreschi” dell’impasto. Viene utilizzato un pre-impasto (starter) che inizia a fermentare e viene successivamente aggiunto agli altri ingredienti. I pre-impasti più utilizzati sono la biga e il poolish.

La biga un pre-impasto asciutto ottenuto da una farina forte ( $W > 300$ ). In base al tempo di maturazione, la biga può essere classificata come corta, se fermenta per 16-20 ore, o lunga, se la fermentazione dura 36-48 ore. L’impastamento della biga deve essere brevissimo, infatti, appena la massa è amalgamata bisogna fermare l’impastatrice, senza

far allisciare l'impasto. La temperatura finale deve essere intorno ai 18-20°C e, a maturazione avvenuta, per l'impasto finale se ne utilizza fino al 50% in inverno e al 40% in estate.

Il poolish è un impasto di consistenza semi-liquida (stessa quantità di acqua e farina) ottenuto da farina di media forza (W=240) a cui viene aggiunta una percentuale variabile di lievito in base al tempo: 1,5% per una fermentazione di 3 ore a temperatura ambiente, 0,7-0,8% per una fermentazione di 6 ore, e 0,5% per una fermentazione di 8 ore. Solo dopo aver fermentato viene aggiunto agli altri ingredienti. Il poolish dona ai prodotti grande croccantezza, motivo per il quale viene preferito nelle pizzerie al taglio o alla pala.

Differenze tra biga e poolish:

- la differenza sostanziale è la consistenza, infatti, la biga è un impasto solido, invece, il poolish è un impasto liquido. A parità di quantità di lievito, un impasto liquido fermenta in meno tempo, pertanto, il poolish fermenta più rapidamente della biga;
- utilizzando il poolish si ottengono alveoli più piccoli e regolari, mentre con la biga si formano alveoli più grandi e irregolari, risultando in un maggiore sviluppo durante la cottura;
- il pane preparato con la biga ha un sapore meno acidulo rispetto al pane preparato con il poolish.

Il metodo indiretto consente uno sviluppo più rapido dei lieviti e la produzione di un pane con un'alveolatura con numerose bolle (alcune delle quali di dimensioni significative) che conferiscono una notevole sofficità, mantenuta per un periodo più lungo rispetto al pane ottenuto con lo stesso tipo di farina ma mediante il metodo diretto.

Il metodo indiretto è utilizzato anche nella panificazione industriale continua, diffusa principalmente nei paesi anglosassoni.

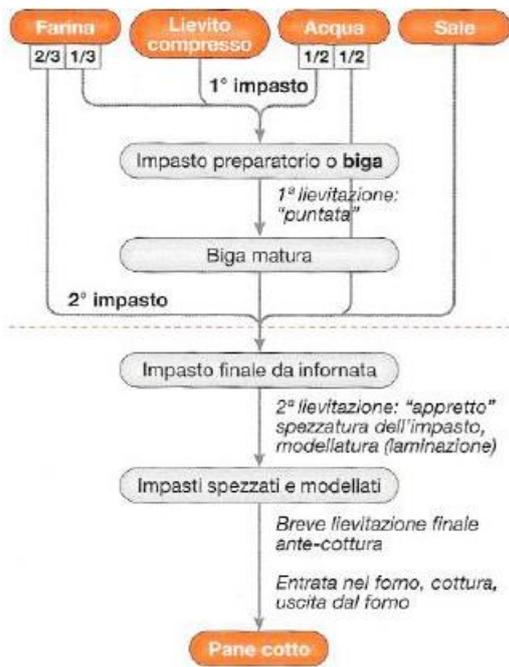


Figura 17: Diagramma di panificazione con metodo indiretto.

### 3.2 L'impastamento

L'impastamento rappresenta una delle fasi cruciali nel processo di panificazione poiché determina la qualità e le caratteristiche del prodotto finale. Durante questa fase, la farina assorbe acqua in quantità variabile, influenzata dalla sua granulometria, dalla qualità e quantità delle proteine presenti, nonché dall'umidità ambientale e della farina stessa. La quantità di acqua aggiunta, conosciuta anche come livello di assorbimento o idratazione, costituisce la variabile più significativa nel processo di "sviluppo dell'impasto". Tipicamente, l'idratazione della farina è calcolata in base all'indice di assorbimento farinografico, anche se non coincide sempre con il valore ottimale determinato dal test farinografico.

L'obiettivo dell'impastamento è conferire una struttura omogenea all'impasto: gli ingredienti si distribuiscono uniformemente all'interno della massa e viene fornita l'energia necessaria per la formazione del glutine. Le proteine del glutine, gliadine e glutenine, interagendo tra loro, creano un reticolo viscoelastico che conferisce elasticità e tenacità all'impasto, rendendolo capace di lievitare. Questo significa che l'impasto può trattenere la CO<sub>2</sub> prodotta durante la fermentazione alcolica ed eterolattica dei carboidrati solubili, derivanti dalla parziale idrolisi dell'amido. Durante questo processo, l'impasto aumenta di volume diventando più morbido, migliorando contemporaneamente le

proprietà sensoriali e nutrizionali grazie all'arricchimento con i prodotti delle fermentazioni lattica ed alcolica, come CO<sub>2</sub>, acidi organici e alcoli.

Nella fase iniziale della formazione dell'impasto, si esegue un impastamento a bassa velocità per circa cinque minuti, durante il quale farina, acqua e lievito vengono mescolati insieme. Successivamente, l'impasto riposa nella vasca dell'impastatrice per 30 minuti a temperatura ambiente per favorire l'autolisi. Il termine "autolisi" deriva dal greco "lysis", che significa "scissione", e si riferisce alla scissione enzimatica di una sostanza. Questa tecnica permette di sfruttare l'autoevoluzione delle caratteristiche del glutine. Durante questo periodo di riposo, la farina si idrata completamente e inizia lo sviluppo della rete glutinica. Questa fase conferisce numerosi benefici al prodotto finale, principalmente grazie alle caratteristiche dell'impasto, che diventa liscio, elastico e malleabile, in grado di assorbire quantità maggiori di acqua. Il risultato è un prodotto finito con un volume maggiore e una mollica molto sviluppata e soffice. Si riscontrano anche benefici significativi a livello organolettico, come miglioramenti nel gusto e nel profumo, oltre a una maggiore conservabilità del pane.

Al termine della fase di riposo e autolisi, vengono aggiunti gli ingredienti rimanenti, ossia il sale e il restante 20% dell'acqua. La massa viene quindi impastata per altri 2 minuti a velocità elevata, incorporando aria per formare bolle. Al completamento dell'impastamento, l'impasto pronto viene estratto dall'impastatrice e trasferito nelle bacinelle per la lievitazione.

Nel processo di formazione dell'impasto, si verificano diversi cambiamenti sia macroscopici che reologici nella massa, che all'inizio è umida e appiccicosa, per poi trasformarsi in un impasto setoso e vellutato, privo di collosità. Durante questo processo, si formano legami chimici e intermolecolari di diversa natura.

I legami disolfuro si formano per deidrogenazione tra due amminoacidi contenenti un gruppo sulfidrico (-SH). Questo permette ai residui di cisteina di reagire tra loro, sia all'interno della stessa catena proteica (legame intracatena) sia tra catene proteiche diverse (legame intercatena), formando ponti -S-S-. Durante l'impastamento, si formano nuovi ponti disolfuro tra gruppi sulfidrico precedentemente non legati o in sostituzione di legami disolfuro già esistenti, i quali possono essere rotti dall'estensione meccanica dell'impasto.

La presenza di sostanze che inducono l'ossidazione dei gruppi sulfidrico a ponti disolfuro rinforza la coesione della rete glutinica, aumentando la tenacità del glutine. L'ossigeno

presente nell'aria incorporata durante l'impastamento agisce come agente ossidante sui gruppi tiolici (-SH), contribuendo a conferire maggiore resistenza al glutine. Le proteine, essendo molto vicine, formano così una trama più compatta in grado di trattenere efficacemente l'anidride carbonica prodotta durante la fermentazione.

I legami ionici si formano tra i sali minerali naturalmente presenti nella farina e quelli aggiunti, come il cloruro di sodio, o presenti nell'acqua utilizzata. Questi sali sono essenziali per la formazione del glutine, ma devono essere utilizzati in quantità moderate per evitare la formazione di impasti troppo rigidi con una rete glutinica eccessivamente rigida.

Altri tipi di legami fondamentali per la struttura del glutine includono le interazioni di Van der Waals, le forze di attrazione dipolo-dipolo e i legami a idrogeno.

### 3.2.1 Le impastatrici

Esistono diversi tipi di impastatrici adatte alla preparazione del pane, ognuna con caratteristiche specifiche che la rendono più o meno adatta a particolari tipi di impasto. Ecco i principali tipi di impastatrici:



*Figura 18: Impastatrice a forcella.*

Questa macchina è adatta per ogni tipo di impasto, con una particolare efficacia per quelli più duri (32%-35% di acqua) o medio duri (45%-50% di acqua). Grazie al movimento inclinato rispetto all'asse di rotazione della vasca e della forcella, l'impasto viene lavorato senza surriscaldarsi e con il giusto apporto di ossigeno, rendendola perfetta per impasti delicati. Il prodotto finale viene miscelato rapidamente e in modo omogeneo, con un aumento della temperatura della pasta che va solo da +3°C a +18°C.



*Figura 19: Impastatrice a braccia tuffanti.*

Questa impastatrice funziona imitando il movimento delle mani durante l'impasto. Il braccio della macchina si muove con un movimento a tuffo, mescolando gli ingredienti in modo efficace e uniforme. È perfetta per manipolare impasti altamente idratati e ha la capacità di garantire un'ottima ossigenazione finale dell'impasto.



*Figura 20: Impastatrice a spirale.*

Il macchinario è disponibile in due versioni: una con vasca estraibile e l'altra con testa fissa. Nella variante con testa fissa, la testa non può essere inclinata e la vasca non è rimovibile. Durante il funzionamento, sia la vasca che la spirale ruotano attorno al proprio asse con un movimento costante. Questa doppia rotazione consente una distribuzione uniforme degli ingredienti, permettendo di ottenere un impasto omogeneo in pochi minuti. Questo tipo di macchina conferisce forza all'impasto, rendendola ideale per la produzione di impasti per il pane. L'intensità del movimento genera un riscaldamento degli ingredienti, mentre la tecnica utilizzata favorisce l'ingresso di ossigeno nell'impasto, migliorandone la capacità di trattenere gas, essenziale per la produzione della pasta.



*Figura 21: Impastatrice a planetaria.*

È dotata di una vasca e tre accessori diversi (frusta, gancio e foglia), che ruotano attorno al proprio asse. Questa macchina è utile per preparare impasti come quelli per pizza e pane, ma è particolarmente impiegata nella produzione di prodotti da pasticceria, come biscotti, croissant, brioche, oltre che per salse varie e panna montata.

### **3.3 Dough Yield (DY) o Rendimento dell'impasto**

L'impasto può avere una consistenza diversa a seconda del rapporto tra acqua e farina e della capacità della farina o semola di assorbire acqua. Questa capacità dipende da vari fattori, principalmente dalla quantità, composizione e grado di frantumazione dei granuli di amido, dalla quantità di glutine e pentosani, e da fattori chimico-fisici come pH e temperatura. Il parametro DY è definito dalla formula:

$$DY = (\text{peso totale dell'impasto} \times 100) / \text{peso della farina}$$

Il "peso totale dell'impasto" include, oltre al peso della farina e dell'acqua, anche il peso degli altri ingredienti. Un valore più alto di DY indica una maggiore quantità di acqua utilizzata nella preparazione dell'impasto. Gli impasti compatti e di consistenza sostenuta hanno valori di DY pari a 150-160, mentre gli impasti liquidi hanno valori di DY pari a circa 200.

Diverse prove sperimentali hanno dimostrato che bassi valori di DY e temperature comprese tra 25 e 30°C portano a una maggiore produzione di acido acetico. Al contrario, valori elevati di DY, tipici di impasti più soffici, e temperature più alte (circa 35-37°C) favoriscono un'acidificazione prevalentemente lattica, dovuta al rapido sviluppo dei batteri lattici omofermentanti.

### 3.4 Lievitazione dell'impasto

Il processo di lievitazione dell'impasto, sia con lievito di birra che con lievito naturale, è fondamentale non solo per ottenere proprietà reologiche e sensoriali ottimali, ma anche per le significative implicazioni nutrizionali.

La fase di lievitazione degli impasti coinvolge una serie di processi enzimatici che scompongono progressivamente le strutture complesse, come proteine e amidi, in elementi più semplici, come aminoacidi e zuccheri fermentabili per i lieviti (*S. cerevisiae*). Durante la lievitazione, il metabolismo del lievito passa dalla respirazione alla fermentazione, convertendo gli zuccheri fermentabili in etanolo, anidride carbonica e altri metaboliti. L'aumento di CO<sub>2</sub> prodotto dai lieviti provoca un incremento del volume dell'impasto durante la lievitazione, poiché gli alveoli formati nella fase di miscelazione degli ingredienti si espandono. Con tempi di lievitazione prolungati, si verifica l'allungamento della rete glutinica, nella quale sono intrappolate le molecole di amido.

Il lievito naturale è un impasto composto da farina acqua e sale, che fermenta senza l'aggiunta di microrganismi selezionati. Questo processo avviene attraverso una serie di rinfreschi successivi, che migliorano la capacità di acidificazione e lievitazione dell'impasto. La fermentazione è guidata da lieviti e batteri lattici presenti naturalmente nella farina, a cui si possono aggiungere quelli presenti nell'ambiente circostante.

La caratteristica distintiva del lievito naturale è la combinazione di batteri lattici (principalmente eterofermentanti facoltativi e obbligati) e lieviti, ognuno con un ruolo specifico nel processo di lievitazione. I batteri lattici sono responsabili dell'acidificazione dell'impasto, mentre i lieviti sono essenziali per la lievitazione, grazie alla produzione di anidride carbonica.

Durante la fermentazione con lievito naturale, le proteine solubili (albumine e globuline) e il glutine subiscono una parziale degradazione. Questo avviene sia a causa dell'attivazione delle proteinasi endogene della farina, dovuta all'acidificazione, sia per l'azione proteolitica dei batteri lattici. L'impasto lievitato mostra un contenuto totale di aminoacidi quasi triplo rispetto a quello della farina. Inoltre, si osserva un notevole aumento della concentrazione di aminoacidi liberi, il che può avere effetti positivi sulla digeribilità dei prodotti da forno lievitati.

Il pane con lievito naturale presenta una maggiore conservabilità grazie all'azione di alcuni enzimi che ritardano il raffermaimento del pane e all'aumento di acidità che contrasta lo sviluppo di muffe e protegge il pane dal deterioramento batterico. Inoltre, il pane prodotto con lievito naturale ha una maggiore digeribilità grazie alla trasformazione, da parte dei microrganismi, delle sostanze complesse dell'impasto in sostanze più semplici e facilmente assimilabili.

### 3.5 Spezzatura dell'impasto

La spezzatura è il processo mediante il quale l'impasto viene suddiviso in porzioni della dimensione desiderata. Questa operazione richiede una certa precisione, poiché una suddivisione imprecisa può rendere difficile una cottura uniforme. Le operazioni di spezzatura e formatura hanno lo scopo di conferire al prodotto una struttura omogenea e di aiutare a eliminare le bolle d'aria di grandi dimensioni, permettendo una distribuzione più uniforme degli alveoli prima della lievitazione finale.

La spezzatura può essere condotta manualmente o con macchine spezzatrici. In passato questa fase era completamente manuale mentre oggi molti si avvalgono dell'aiuto di macchine specifiche automatizzate. Le spezzatrici si distinguono in diverse tipologie, in base al prodotto finale desiderato.

Le spezzatrici tipo pizzeria sono progettate per suddividere l'impasto in piccole porzioni che, grazie a un sistema oscillante, vengono arrotondate fino a ottenere pezzi di dimensioni ridotte e uniformi. Queste macchine possono essere realizzate sia per gestire grandi volumi di produzione a livello industriale, sia per lavorare quantità minori in forni artigianali.

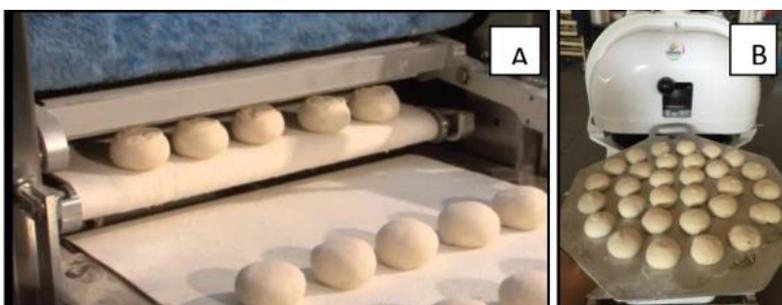


Figura 22: Spezzatrici per impianti industriali (A) o per piccole pizzerie (B).

Le spezzatrici quadre, conosciute anche come spezzatrici tipo baguette, sono macchine utilizzate per tagliare l'impasto crudo in pezzi di peso uniforme e forma quadrata. Queste

spezzatrici sono particolarmente impiegate nella panificazione per produrre baguette destinate alla grande distribuzione.



*Figura 23: Spezzatrici per la produzione di baguette destinate alla grande distribuzione.*

Le spezzatrici esagonali sono progettate per tagliare l'impasto crudo in pezzi di forma esagonale, specificamente per la produzione di pane soffiato. Queste macchine sono generalmente destinate alla produzione industriale di pane.



*Figura 24: Spezzatrici per la produzione di pane in pezzi di forma esagonale.*

Per quanto riguarda la spezzatura manuale questa può avvenire tramite l'utilizzo di una spatola per dividere l'impasto in vari panetti oppure si può effettuare esclusivamente con le mani utilizzando una tecnica chiamata mozzatura, simile alla tecnica utilizzata per la mozzarella.

Prima di cuocere il pane vengono praticate delle incisioni sulla superficie della pagnotta per favorirne l'espansione durante la cottura, poiché riducono la resistenza dell'impasto. Inizialmente, la pratica di incidere il pane aveva una motivazione religiosa: si tracciava una croce per benedirlo e augurarsi un prodotto di alta qualità. Questa tradizione, volta a tenere lontano il demone che avrebbe potuto ostacolare la corretta lievitazione, è stata tramandata di generazione in generazione ed è giunta fino ai nostri giorni.



*Figura 25: Tagli sulla superficie della pagnotta prima della cottura.*

### **3.6 Cottura dell'impasto**

Durante l'ultima fase del processo tecnologico, il prodotto subisce trasformazioni fisiche, strutturali e biochimiche fondamentali per acquisire le sue proprietà reologiche, sensoriali e nutrizionali. Durante la cottura, avviene un trasferimento di calore dall'esterno verso l'interno del prodotto e uno scambio di materia dall'interno verso l'esterno. In questa fase, il prodotto si trasforma da una struttura di "schiuma" (foam) a una di "spugna" (sponge) e si distinguono due parti principali: crosta e mollica. A seconda della regione (crosta o mollica), si verificano diversi fenomeni sia a livello macroscopico che molecolare. L'effetto dipende dalla natura delle modificazioni (fisiche, chimiche e biochimiche) e dalla loro intensità, in termini di tempo e temperatura. La temperatura e i tempi di cottura variano in base alla consistenza dell'impasto, alla dimensione e alla forma del pane, che dipende dal rapporto tra superficie esterna e massa interna.

Il primo fenomeno, chiamato "oven rise," è associato a un aumento della produzione di CO<sub>2</sub> non appena l'impasto viene inserito nel forno, dovuto all'accelerazione dell'attività degli enzimi e dei lieviti. Intorno ai 50°C, i lieviti e i batteri lattici muoiono, ma i gas continuano a espandersi, incrementando ulteriormente il volume del pane. Successivamente, si manifesta un secondo fenomeno, chiamato "over spring," che provoca un'ulteriore espansione del volume e un aumento della superficie del 10%. Con l'aumento della temperatura, i gas (CO<sub>2</sub>, etanolo e vapore acqueo) tendono a occupare un volume maggiore. Tra i 50 e i 60°C, le alfa e beta-amilasi degradano l'amido, rilasciando zuccheri e destrine. A queste temperature, l'amido inizia a gelatinizzarsi: si rigonfia, assorbe acqua e forma una massa gelatinosa, detta "salda," che costituirà la mollica una volta raffreddata.

La gelatinizzazione, ovvero la distruzione della struttura cristallina dell'amido, è causata dal riscaldamento dell'amido in presenza di sufficiente acqua e comporta cambiamenti irreversibili: rigonfiamento dei granuli, perdita della cristallinità e della birifrangenza, dispersione e solubilizzazione del materiale dei granuli nell'acqua, con conseguente aumento della viscosità. Le proteine del glutine coagulano, perdendo l'acqua di idratazione, che viene parzialmente assorbita dall'amido, e diventano rigide. Il glutine perde la sua estensibilità e acquisisce proprietà elastiche. La superficie del pane raggiunge lo stato di "spugna" molto più rapidamente rispetto alla parte interna. Essendo esposta a temperature molto elevate, la superficie si disidrata e diventa permeabile, permettendo la fuoriuscita del vapore acqueo accumulato all'interno. Quando inizia a formarsi la crosta, l'aumento di volume del pane si arresta a causa della rigidità della struttura.

A fine cottura, quando la struttura interna della pagnotta è consolidata dalla denaturazione del glutine e dalla gelatinizzazione dell'amido, la crosta ha un'umidità inferiore al 5%, mentre la mollica interna rimane morbida e soffice, mantenendo una maggiore umidità. A 110-120°C, l'amido si degrada in destrine di colore giallo, mentre a 130-140°C si formano destrine di colore bruno. A temperature più alte, intorno ai 140-150°C, si verificano fenomeni di caramellizzazione e imbrunimento non enzimatico, che generano diversi composti responsabili dell'aroma e del colore tipico della crosta. L'aggiunta di malto nell'impasto, fonte di zuccheri per le reazioni di imbrunimento non enzimatico, consente di ottenere una crosta più colorata. Possono anche verificarsi reazioni di degradazione termica di zuccheri e aminoacidi che portano alla formazione di diverse sostanze, tra cui pirroli e pirazine, responsabili dell'aroma e dell'odore del pane caldo.

## CONCLUSIONE

La tesi dimostra l'importanza di comprendere le proprietà delle farine e i dettagli del processo di panificazione per ottimizzare la qualità del pane, fornendo linee guida utili sia per panificatori artigianali che per l'industria della panificazione. In particolare, suggerisce pratiche ottimali per la selezione delle farine e la gestione dei processi produttivi. Una conoscenza approfondita delle farine consente ai panificatori di scegliere le tipologie più adatte in base al tipo di pane che si desidera produrre, mentre una corretta gestione dei processi, come l'adattamento dei tempi di lievitazione e la regolazione della temperatura di cottura, permette di compensare eventuali variazioni nella qualità delle farine e di rispondere a specifiche esigenze produttive.

Approfondire le proprietà delle farine e le tecniche di panificazione non solo migliora la qualità del pane, ma consente anche di adattarsi alle esigenze del mercato e alle richieste dei consumatori, sempre più orientati verso prodotti di alta qualità con caratteristiche specifiche, come il pane integrale, senza glutine o a fermentazione naturale. L'integrazione di conoscenze tecniche e scientifiche nella pratica quotidiana rappresenta un vantaggio competitivo per panificatori e industrie, favorendo l'innovazione e la sostenibilità nel settore della panificazione.

## BIBLIOGRAFIA

*DETERMINAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE FARINE DI FRUMENTO INDICE.*

(n.d.).

Acquistucci, R., Blandino, M., Carcea, M., D'egidio, M. G., Marconi, E., Pagani, M. A., Panfilì, G., Pinnavaia, G. G., & Redaelli, R. (n.d.). *A cura di Atti del 12° Convegno AISTEC CEREALI E SCIENZA: resilienza, sostenibilità e innovazione.*

Amirante, P. (2019). *MACCHINE E IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DELLA PASTA.* <https://www.researchgate.net/publication/335702963>

Bailey, C. H. (n.d.). *Give to AgEcon Search PHYSICAL TESTS OF FLOUR QUALITY.* <http://ageconsearch.umn.edu>

Bidino Lucia Galasso, R. di. (n.d.). *LABORATORIO DI PANIFICAZIONE I pani laziali e ciociari.*

Carcea, M., Narducci, V., & Turfani, V. (n.d.). *Usa del cloruro di sodio in panificazione.* [http://nut.entecra.it/648/linee\\_guida.html](http://nut.entecra.it/648/linee_guida.html)

*Corso ITS VII Ciclo “Tecnico superiore per la Gestione della Qualità nelle Imprese Agroalimentari” (Acronimo: Q-FOOD) Docente: LUIGI TEDONE AREA: LA FILIERA CEREALICOLA UF: 40.* (n.d.).

Diósi, G., Móré, M., & Sipos, P. (2015). Role of the farinograph test in the wheat flour quality determination. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 8(1), 104–110. <https://doi.org/10.1515/ausal-2015-0010>

Keihan Mani, A.-C. E. L. L. and C. T. (n.d.). *Rheological Properties and Breadmaking Quality of Wheat Flour Doughs Made with Different Dough Mixers.*

Pepoli, D. G. (n.d.). *Ricerche sulla lievitazione.*

Peressini, D. (2017). *Valutazione della qualità tecnologica del frumento mediante indici reologici di tipo fondamentale (Vol. 17).*

Piga Chiarmo Giovanni Antonio Farris, A., & Costantino Fadda, D. (2005). *Pani tradizionali prodotti con pasta acida: valutazione delle caratteristiche tecnologiche degli impasti, delle caratteristiche di texture del prodotto finito e cambiamenti durante la fase di conservazione Tutor: Coordinatore.*

Popa, C.-N., Tamba-Berehoiu, R.-M., Huan, A., & Popescu, S. (n.d.). *THE SIGNIFICANCE OF SOME FLOUR QUALITY PARAMETERS AS QUALITY PREDICTORS OF BREAD*.

Quaglia, G. B. (n.d.). *Aspetti tecnologici e nutrizionali della semola rimacinata di grano duro per la panificazione*.

Sean Finnie and William A. Atwell. (2016). *Wheat Flour* (Second).

Stanley P. Cauvain. (2012). *Breadmaking Improving Quality* (Second). Woodhead publishing series in food science, technology and nutrition.

Tafese Awulachew, M. (2020a). Understanding Basics of Wheat Grain and Flour Quality. *Journal of Health and Environmental Research*, 6(1), 10.  
<https://doi.org/10.11648/j.jher.20200601.12>

Tafese Awulachew, M. (2020b). Understanding Basics of Wheat Grain and Flour Quality. *Journal of Health and Environmental Research*, 6(1), 10.  
<https://doi.org/10.11648/j.jher.20200601.12>