



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali
Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Alimentari

APPROCCIO ANALITICO INTEGRATO PER LA
CARATTERIZZAZIONE DEGLI SFARINATI E LA
LORO INFLUENZA SULLA PASTIFICAZIONE

Relatore:

Prof. Stefano Zardetto

Laureanda:

Gaia Pelizzari

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Indice

Riassunto	2
Abstract	4
1 Introduzione	6
1.1 Gli sfarinati di frumento	6
1.2 Il glutine.....	8
1.3 Qualità del glutine	9
1.4 Metodi per la caratterizzazione della qualità del glutine	11
1.4.1 Metodi per la valutazione del glutine	12
1.4.2 Metodi per la valutazione dell'aggregazione proteica.....	15
1.4.3 Metodi per la valutazione dell'impasto	16
2 Scopo del lavoro	18
3 Materiali e metodi.....	19
3.1 Piano sperimentale.....	19
3.2 Analisi chimico-fisiche.....	20
3.3 Valutazione del glutine	22
3.4 Valutazione dell'aggregazione proteica	26
3.5 Valutazione dell'impasto	26
4 Analisi statistica	28
5 Risultati e discussione.....	29
6 Conclusioni	44
Bibliografia.....	47
Normativa e metodi ufficiali	49

Riassunto

La qualità del glutine rappresenta uno dei principali fattori che determinano l'idoneità tecnologica degli sfarinati destinati alla produzione di pasta. Il presente lavoro ha avuto l'obiettivo di confrontare diverse metodiche analitiche per la determinazione della quantità e della qualità del glutine in campioni di semola di grano duro e farine di frumento tenero, valutandone la capacità di caratterizzare le proprietà tecnologiche degli sfarinati e di individuare eventuali correlazioni tra i parametri ottenuti.

A tale scopo sono state eseguite analisi chimico-fisiche e tecnologiche mediante metodo manuale, Glutomatic, Glutograph, GlutoPeak e Farinografo. I dati sono stati elaborati mediante analisi della varianza (ANOVA), correlazioni di Pearson e Analisi delle Componenti Principali (PCA).

I risultati hanno evidenziato differenze compositive e tecnologiche tra semole e farine. Il confronto tra metodo manuale e Glutomatic ha mostrato che la quantità di glutine determinata è influenzata dalle modalità di sviluppo ed estrazione del glutine, mentre la valutazione manuale della tenacità ha evidenziato una limitata corrispondenza con le metodiche strumentali. Le analisi di correlazione e la PCA hanno inoltre evidenziato che nessuna delle metodiche considerate è in grado di descrivere, singolarmente, tutte le proprietà tecnologiche degli sfarinati, confermando la complementarità delle informazioni fornite dai diversi metodi.

Nel complesso, i risultati evidenziano l'importanza di un approccio analitico integrato per una caratterizzazione più completa della qualità del glutine e delle proprietà tecnologiche degli sfarinati. Tuttavia, saranno necessari ulteriori studi per correlare i parametri ottenuti mediante le diverse metodiche con la qualità della pasta prodotta, al fine di individuare gli indicatori maggiormente rappresentativi dell'attitudine alla pastificazione.

Abstract

Gluten quality is one of the main factors determining the technological suitability of wheat milling products intended for pasta production. The aim of the present study was to compare different analytical methods for the determination of gluten quantity and quality in durum wheat semolina and common wheat flour samples, evaluating their ability to characterize the technological properties of wheat milling products and to identify possible correlations among the measured parameters.

To this end, physicochemical and technological analyses were carried out using the manual method, Glutomatic, Glutograph, GlutoPeak and Farinograph. The experimental data were analysed by analysis of variance (ANOVA), Pearson's correlation analysis and Principal Component Analysis (PCA).

The results highlighted compositional and technological differences between semolina and flour samples. The comparison between the manual method and the Glutomatic showed that the measured gluten content was influenced by the different gluten development and extraction procedures, whereas the manual evaluation of gluten tenacity showed only limited agreement with the instrumental methods. Correlation analysis and PCA further demonstrated that none of the analytical methods considered was able, on its own, to comprehensively describe the technological properties of wheat milling products, highlighting the complementary information provided by the different techniques.

Overall, the results underline the importance of an integrated analytical approach for a more comprehensive characterization of gluten quality and the technological properties of wheat milling products. However, further studies are needed to correlate the parameters obtained from the different analytical methods with the quality of the resulting pasta, in order to identify the most representative indicators of pasta-making aptitude.

1 Introduzione

1.1 Gli sfarinati di frumento

Il termine “sfarinati” si riferisce ai prodotti ottenuti dalla macinazione dei chicchi di frumento (*Triticum* spp.) e dal successivo processo di abburattamento. Questo processo separa le diverse frazioni del chicco attraverso la setacciatura, in base alla loro granulometria e composizione. L’obiettivo principale della macinazione è separare l’endosperma dalle parti più esterne della cariosside. L’endosperma è costituito prevalentemente da amido e proteine di riserva, mentre le frazioni periferiche risultano più ricche in fibre e in componenti non amidacei, con effetti diretti sulla qualità nutrizionale e sulle caratteristiche degli sfarinati ottenuti. (Dziki, 2023; Flagella, 2006).

Gli sfarinati si distinguono innanzitutto in base alla specie botanica di origine. Le farine derivano dal grano tenero (*Triticum aestivum*), mentre le semole derivano dal grano duro (*Triticum turgidum* subsp. *durum*). Strutturalmente, il grano duro presenta un endosperma più duro e compatto, di aspetto vitreo, che oppone una maggiore resistenza alla macinazione e determina la formazione di particelle granulari a spigolo vivo, caratteristiche della semola. (Flagella, 2006).

Sul piano compositivo, la semola si distingue dalla farina di grano tenero per il maggiore contenuto medio in proteine e per la presenza di pigmenti carotenoidi, in particolare luteina, responsabili del caratteristico colore giallo ambrato del prodotto (Sgrulletta & De Stefanis, 2002).

Le destinazioni d’uso degli sfarinati variano in funzione della tradizione alimentare e del contesto geografico. In Italia e in molti paesi europei la semola di grano duro è tradizionalmente associata alla produzione di pasta. Tuttavia, in altri contesti, essa è ampiamente utilizzata nella panificazione. Nei paesi del Mediterraneo meridionale e del Medio Oriente la semola rappresenta la materia prima di numerosi prodotti tradizionali, tra cui pane, couscous e bulgur (Flagella, 2006; Sissons, 2008). Allo stesso modo, in alcuni paesi la pasta può essere prodotta anche a partire da farine di grano tenero, in assenza di una normativa che ne limiti l’utilizzo. In Italia, la normativa vigente stabilisce invece che la pasta secca debba essere prodotta esclusivamente a partire da sfarinati di grano duro; per la pasta

fresca è consentito anche l'impiego di farine di grano tenero o di miscele, mentre la pasta all'uovo è ottenuta da farine di grano tenero con l'aggiunta di uova, secondo quanto previsto dal D.P.R. 187/2001.

Il D.P.R. 9 febbraio 2001, n. 187 disciplina in modo distinto gli sfarinati di grano tenero e di grano duro. Le farine di grano tenero sono classificate in cinque tipologie (00, 0, 1, 2 e integrale) sulla base del contenuto in ceneri, con valori minimi di proteine stabiliti per ciascun tipo. Per gli sfarinati di grano duro non è prevista una classificazione in tipi analoga; la normativa definisce diverse tipologie di prodotto, tra cui semola, semolato, semola integrale di grano duro e farina di grano duro, ciascuna caratterizzata da specifici requisiti di umidità, ceneri e proteine. La semola si distingue inoltre per un requisito granulometrico specifico: la percentuale di prodotto passante allo staccio da 0,180 mm non deve superare il 25%

I principali limiti normativi sono riportati nelle Tabelle 1.1 e 1.2:

Tipo e denominazione	Umidità massima %	Su cento parti di sostanza secca		
		Ceneri		Proteine min. (azoto x 5,70)
		minimo	massimo	
Farina di grano tenero tipo 00	14,50		0,55	9,00
Farina di grano tenero tipo 0	14,50		0,65	11,00
Farina di grano tenero tipo 1	14,50		0,80	12,00
Farina di grano tenero tipo 2	14,50		0,95	12,00
Farina integrale di grano tenero	14,50	1,30	1,70	12,00

Tabella 1.1. Classificazione delle farine di grano tenero e relativi requisiti compositivi previsti dalla normativa italiana in termini di contenuto di umidità, ceneri e proteine (D.P.R. 9 febbraio 2001, n. 187).

Tipo e denominazione	Umidità massima %	Su cento parti di sostanza secca		
		Ceneri		Proteine min. (azoto x 5,70)
		minimo	massimo	
Semola *	14,50		0,90	10,50
Semolato	14,50	0,90	1,35	11,50
Semola integrale di grano duro	14,50	1,40	1,80	11,50
Farina di grano duro	14,50	1,36	1,70	11,50
* Valore granulometrico alla prova di setacciatura: passaggio staccio con maglie di millimetri 0,180 di luce, massimo 25 per cento.				

Tabella 1.2. Classificazione degli sfarinati di grano duro e relativi requisiti compositivi previsti dalla normativa italiana in termini di contenuto di umidità, ceneri e proteine (D.P.R. 9 febbraio 2001, n. 187).

Il contenuto in ceneri, parametro centrale nella classificazione normativa, è utilizzato anche come indicatore del livello di raffinazione degli sfarinati: i minerali presenti nella cariosside sono concentrati prevalentemente nelle parti esterne; pertanto, un elevato tenore in ceneri indica una maggiore presenza di frazioni crusca e un minore grado di raffinazione (Czaja et al., 2020; Keran et al., 2009). Tale parametro non costituisce tuttavia un indicatore

assoluto, poiché può essere influenzato da fattori genetici, ambientali e dalla specie di frumento considerata (Chaurand et al., 1999; Czaja et al., 2020).

Dal punto di vista compositivo, gli sfarinati sono costituiti principalmente da amido, accompagnato da una frazione proteica variabile e da quantità minori di lipidi, fibre e sostanze minerali (Flagella, 2006; Keran et al., 2009). L'amido rappresenta il principale costituente dell'endosperma e contribuisce in modo significativo alle proprietà tecnologiche dei prodotti derivati. In particolare, le sue proprietà di gelatinizzazione e le interazioni con la matrice proteica influenzano il comportamento degli impasti e la qualità del prodotto finale (Flagella, 2006). Anche i lipidi, pur presenti in quantità limitate, possono contribuire alle proprietà reologiche degli impasti e ad alcune caratteristiche qualitative dei prodotti trasformati (Flagella, 2006).

Tra questi componenti, le proteine rivestono un ruolo centrale in quanto responsabili della formazione del glutine, principale determinante del comportamento degli impasti. Per questo motivo, nel capitolo successivo verranno approfondite la natura, la struttura e le caratteristiche del glutine, con particolare riferimento alla sua qualità tecnologica.

1.2 Il glutine

Il glutine può essere definito come la massa viscoelastica che si forma in seguito all'idratazione e all'impastamento degli sfarinati di frumento e che, dopo il lavaggio dell'impasto con rimozione dell'amido e delle componenti idrosolubili, permane come residuo. (Wieser, 2007). A seconda dell'accuratezza del lavaggio, il solido secco è composto per il 75–85% da proteine e per il 5–10% da lipidi mentre la frazione rimanente è rappresentata principalmente da amido e carboidrati non amidacei (Wieser, 2007).

Il glutine è costituito principalmente da due classi proteiche, le gliadine e le glutenine. Le gliadine e le glutenine rappresentano le principali proteine di riserva del chicco di frumento, sono localizzate nell'endosperma amidaceo e costituiscono circa il 70–80% delle proteine totali del chicco (Wieser et al., 2022).

Le gliadine sono proteine prevalentemente monomeriche, solubili in soluzioni idroalcoliche, e vengono suddivise nelle classi α/β -, γ - e ω -gliadine sulla base della loro struttura primaria (Wieser, 2007). Dal punto di vista funzionale, contribuiscono principalmente alla viscosità e all'estensibilità dell'impasto, favorendone la capacità di deformarsi sotto sollecitazione meccanica (Edwards et al., 2003).

Le glutenine, invece, costituiscono la frazione polimerica insolubile del glutine e sono responsabili della forza e dell'elasticità dell'impasto. Sono formate da subunità proteiche unite tramite legami disolfuro intermolecolari e vengono suddivise in subunità ad alto peso molecolare (High Molecular Weight Glutenin Subunits, HMW-GS) e a basso peso molecolare (Low Molecular Weight Glutenin Subunits, LMW-GS) (Wieser, 2007). Le HMW-GS costituiscono l'ossatura principale del polimero glutinico, mentre le LMW-GS contribuiscono alla formazione di strutture ramificate associate alle proprietà di forza dell'impasto (Wieser, 2007; Edwards et al., 2003).

Durante l'impastamento, gliadine e glutenine interagiscono formando una rete proteica tridimensionale stabilizzata principalmente da legami disolfuro, ma anche da legami idrogeno e interazioni idrofobiche (Wieser, 2007).

1.3 Qualità del glutine

La qualità del glutine rappresenta uno dei principali parametri tecnologici del frumento duro e influenza in maniera significativa l'idoneità della semola alla produzione della pasta (Cecchini et al., 2021). In particolare, il contenuto proteico costituisce uno dei primi parametri considerati nella valutazione qualitativa della semola destinata alla pastificazione e, in Italia, viene utilizzato come criterio nella classificazione volontaria delle semole (Cecchini et al., 2021). Un elevato contenuto proteico favorisce infatti la formazione di una matrice glutinica sufficientemente sviluppata anche nelle condizioni di limitata idratazione tipiche del processo di pastificazione (Cecchini et al., 2021). Tuttavia, il contenuto proteico da solo non risulta sufficiente a spiegare le differenze qualitative osservabili nel prodotto finale (Sissons, 2008).

Semole appartenenti alla stessa cultivar producono paste con migliori caratteristiche qualitative in presenza di contenuti proteici più elevati, mentre tenori proteici inferiori risultano associati a una minore qualità del prodotto finale (Flagella, 2006). Inoltre, a parità di contenuto proteico, cultivar differenti possono presentare proprietà viscoelastiche del glutine e differente tenuta in cottura (Flagella, 2006).

La superiorità tecnologica del frumento duro rispetto al frumento tenero non è attribuibile esclusivamente al maggiore contenuto proteico, ma anche alla diversa composizione delle frazioni proteiche del glutine (Cecchini et al., 2021). In particolare, l'idoneità del frumento duro alla produzione della pasta risulta associata a specifiche combinazioni alleliche nei loci

delle proteine di riserva, tra cui Glu-B1 e Glu-B3, correlati rispettivamente alle glutenine ad alto e basso peso molecolare (Cecchini et al., 2021).

Dal punto di vista tecnologico, la qualità del glutine si riflette principalmente nel comportamento reologico dell'impasto durante la lavorazione. Il corretto equilibrio tra le diverse frazioni proteiche risulta fondamentale per garantire adeguata lavorabilità dell'impasto e buone proprietà tecnologiche della pasta (Sissons et al., 2005; Sissons, 2008). Le principali proprietà tecnologiche associate alla qualità del glutine e alla lavorabilità dell'impasto sono riportate in Tabella 1.3.

Proprietà del glutine	Definizione tecnologica	Influenza sulla pastificazione
Tenacità	Resistenza dell'impasto alla deformazione e alle sollecitazioni meccaniche.	Contribuisce alla resistenza della pasta durante estrusione e cottura.
Elasticità	Capacità dell'impasto di recuperare la forma iniziale dopo deformazione.	Favorisce la stabilità dell'impasto durante estrusione ed essiccamento.
Estensibilità	Capacità dell'impasto di deformarsi senza rompersi.	Permette una corretta lavorazione dell'impasto durante il processo produttivo.
Forza	Capacità della rete glutinica di sopportare stress meccanici.	Associata a migliore tenuta in cottura e consistenza del prodotto finale.
Viscosità	Resistenza dell'impasto allo scorrimento.	Influenza il comportamento della massa durante l'estrusione.
Viscoelasticità	Comportamento dell'impasto intermedio tra un solido elastico e un liquido viscoso.	Proprietà fondamentale per la formazione e la lavorabilità dell'impasto.

Tabella 1.3. Proprietà tecnologiche associate alla qualità del glutine e alla lavorabilità dell'impasto. Adattata da Cecchini et al. (2021)

Le caratteristiche reologiche considerate desiderabili possono variare in funzione della destinazione tecnologica dello sfarinato. Pertanto, non esiste un glutine universalmente migliore, ma un glutine maggiormente idoneo alla specifica applicazione industriale. Ad esempio, nella produzione di pasta fresca assumono particolare importanza proprietà di estensibilità che favoriscono le operazioni di laminazione e formatura dell'impasto, mentre nella pasta secca risultano preferibili glutini in grado di formare una rete proteica resistente e stabile, capace di mantenere l'integrità del prodotto durante le fasi di lavorazione, essiccazione e cottura (Sissons, 2008).

In questo contesto, i glutini vengono comunemente distinti in glutini forti e glutini deboli sulla base del loro comportamento tecnologico. I glutini forti sono caratterizzati da elevata

forza e tenacità, mentre i glutini deboli presentano una minore resistenza alle sollecitazioni meccaniche e una maggiore estensibilità (Cecchini et al., 2021).

Durante la cottura, la rete proteica contribuisce a trattenere i granuli di amido gelatinizzati all'interno della struttura della pasta, limitando le perdite in cottura e contribuendo alla consistenza del prodotto finale (Delcour et al., 2012; Flagella, 2006). Per questo motivo, i glutini forti risultano generalmente associati a una migliore tenuta in cottura, mentre glutini più deboli sono spesso correlati a maggiori perdite di sostanza e a una maggiore collosità superficiale della pasta (Delcour et al., 2012).

Le caratteristiche qualitative del glutine possono infine essere influenzate sia da fattori genetici sia da fattori ambientali e agronomici. In particolare, la composizione proteica e le proprietà reologiche del glutine dipendono principalmente dal genotipo della cultivar, ma possono essere modificate dalle condizioni ambientali, dalla disponibilità di azoto e dalla gestione colturale (Troccoli et al., 2000).

1.4 Metodi per la caratterizzazione della qualità del glutine

La caratterizzazione della qualità del glutine e dell'impasto rappresenta un aspetto complesso dal punto di vista reologico, poiché gli impasti di frumento presentano un comportamento viscoelastico compreso tra quello di un solido elastico e quello di un liquido viscoso (Dobraszczyk, 2001). Inoltre, le proprietà dell'impasto possono modificarsi durante le diverse fasi della lavorazione, in particolare in funzione delle variazioni di temperatura e delle sollecitazioni meccaniche applicate durante il processo di pastificazione.

Per questo motivo, nel tempo sono stati sviluppati differenti metodi analitici e reologici finalizzati alla caratterizzazione degli sfarinati destinati alla pastificazione. I diversi test disponibili forniscono infatti informazioni complementari in funzione del principio analitico considerato: alcuni metodi valutano direttamente il glutine estratto, mentre altri analizzano il comportamento dell'impasto o i fenomeni di aggregazione proteica in sistemi acqua-semola (Cecchini et al., 2021).

Poiché ciascun metodo analizza aspetti specifici del glutine e dell'impasto, i risultati ottenuti possono non essere completamente sovrapponibili. Cesevičienė e Butkutė (2011) hanno infatti riportato che differenti metodi di determinazione del glutine non producono sempre risultati concordanti e che il contenuto e le caratteristiche del glutine possono variare in funzione del metodo di lavaggio e della soluzione impiegata.

Allo stesso tempo, Ionescu et al. (2010) hanno osservato una buona correlazione tra metodo manuale e Glutomatic per la determinazione del glutine umido ($r^2 = 0.90$ e $r^2 = 0.93$ nei confronti considerati), evidenziando tuttavia come i diversi approcci analitici possano fornire valori non perfettamente coincidenti.

Inoltre, molti dei test attualmente utilizzati per la valutazione della qualità tecnologica della semola derivano originariamente da metodiche sviluppate per farine di grano tenero e successivamente adattate agli sfarinati di grano duro. Tuttavia, tali metodi non sempre risultano in grado di simulare completamente le condizioni di stress che si verificano durante il processo di pastificazione (Cecchini et al., 2021).

Ciò conferma come ciascun metodo possa descrivere aspetti differenti del comportamento tecnologico degli sfarinati e come l'utilizzo di approcci analitici complementari consenta una caratterizzazione più completa del glutine e dell'impasto.

Nel presente lavoro sono stati impiegati metodi diretti di valutazione del glutine, quali metodo manuale, Glutomatic, GlutoPeak e Glutograph insieme ad analisi reologiche dell'impasto mediante Farinografo.

1.4.1 Metodi per la valutazione del glutine

Metodo manuale

Il metodo manuale rappresenta uno degli approcci tradizionalmente utilizzati per la determinazione del glutine negli sfarinati di frumento. Il principio del metodo si basa sulla formazione di un impasto mediante aggiunta di acqua al campione e sul successivo lavaggio della massa ottenuta, al fine di rimuovere l'amido e le componenti solubili e ottenere il glutine umido (Cesevičienė & Butkutė, 2011).

Il metodo standardizzato AACC 38-10.01 consente la determinazione del contenuto di glutine umido e, mediante successivo essiccamento, del glutine secco (AACC International, 1962). Sebbene il metodo sia finalizzato principalmente alla determinazione quantitativa del glutine, il campione ottenuto può essere sottoposto a osservazione e manipolazione manuale per ricavare indicazioni qualitative sul suo comportamento meccanico. Tuttavia, tale valutazione non è standardizzata e dipende dalle modalità operative adottate e dall'esperienza dell'operatore.

I risultati possono inoltre essere influenzati dalle condizioni di esecuzione della prova, quali modalità e durata del lavaggio, temperatura e composizione della soluzione impiegata, oltre

che dalla manipolazione dell'impasto (Cesevičienė & Butkutė, 2011). Rispetto alle metodiche strumentali automatizzate, il metodo richiede tempi di analisi relativamente lunghi, comprendendo le fasi di preparazione dell'impasto, riposo, lavaggio ed eventuale essiccamento del glutine.

Glutomatic

Il Glutomatic è un metodo strumentale standardizzato utilizzato per la determinazione del Gluten Index (GI) negli sfarinati di frumento. Il metodo prevede l'estrazione automatica del glutine mediante lavaggio con una soluzione di NaCl al 2%, il cui impiego è raccomandato al fine di minimizzare l'influenza dei minerali naturalmente presenti nell'acqua e garantire condizioni analitiche più uniformi e riproducibili (Ionescu et al., 2010).

La massa viscoelastica ottenuta viene successivamente sottoposta a centrifugazione mediante un setaccio standardizzato. Il Gluten Index è calcolato come il rapporto percentuale tra la massa di glutine trattenuta sul setaccio dopo centrifugazione e la massa totale di glutine umido ottenuta dopo il lavaggio. Tale parametro rappresenta un indice della qualità del glutine e valori elevati di GI sono associati a glutini più forti. Nel frumento duro, valori di GI superiori a 80 sono generalmente associati a una migliore attitudine alla produzione di pasta di elevata qualità (Cecchini et al., 2021).

Il metodo presenta diversi vantaggi rispetto al lavaggio manuale, tra cui una maggiore standardizzazione delle condizioni operative e una minore dipendenza dall'operatore (Ionescu et al., 2010).

Tuttavia, i risultati possono essere influenzati da alcuni fattori metodologici. Miš (2000) ha evidenziato che il valore del Gluten Index risente della quantità di glutine sottoposta a centrifugazione. In particolare, l'aumento della massa di glutine da 0,5 g a 2,5 g determina una progressiva diminuzione del GI, evidenziando la necessità di standardizzare rigorosamente le condizioni di prova.

Anche la soluzione utilizzata durante il lavaggio rappresenta un importante fattore metodologico in grado di influenzare le caratteristiche del glutine ottenuto. Cesevičienė e Butkutė (2011) hanno riportato che il glutine estratto con acqua risulta inferiore rispetto a quello ottenuto mediante soluzione salina di NaCl. Analogamente, Fu et al. (1996) hanno evidenziato che la presenza di NaCl modifica la solubilità e le interazioni tra gliadine e glutenine. In particolare, la solubilità in acqua delle proteine del glutine aumentava dal 27% al 52% e all'85% quando il glutine veniva preparato rispettivamente con acqua distillata,

soluzione di NaCl allo 0,2% e soluzione di NaCl al 2%. Gli autori attribuirono tale comportamento a modificazioni conformazionali delle proteine indotte dal sale.

Sebbene il Gluten Index sia ampiamente utilizzato come indicatore della qualità del glutine, alcuni studi hanno evidenziato limiti nella caratterizzazione delle semole con valori intermedi di GI. Marti et al. (2014) hanno infatti osservato che, per semole caratterizzate da valori di GI compresi tra 30 e 65, non sono state riscontrate correlazioni significative tra il Gluten Index e diversi attributi qualitativi della pasta, suggerendo una minore capacità discriminante del parametro in questo intervallo di valori.

Glutograph

Il Glutograph è uno strumento utilizzato per la valutazione dell'estensibilità e dell'elasticità del glutine umido. Il test viene eseguito sul glutine precedentemente estratto dalla farina o dalla semola mediante lavaggio, effettuato manualmente oppure tramite sistemi automatici dedicati, come il Glutomatic (Cecchini et al., 2021).

Il sistema di misura è costituito da due piastre parallele finemente corrugate tra le quali viene posizionato il campione. Durante la prova, una delle due piastre ruota applicando una deformazione controllata al glutine; successivamente il carico viene rimosso e il campione recupera parzialmente la propria forma in funzione delle sue caratteristiche elastiche (Cecchini et al., 2021).

I principali parametri ottenuti sono lo Stretching Time (GS), associato all'estensibilità del glutine, e il Relaxation Value (GR), che descrive il recupero del campione dopo la deformazione ed è correlato alla sua elasticità (Kaplan Evlice et al., 2020).

Il metodo fornisce informazioni complementari rispetto al Gluten Index, consentendo una valutazione diretta del comportamento del glutine durante deformazione e recupero.

Tuttavia, non sono disponibili procedure ufficialmente standardizzate e le condizioni operative fanno generalmente riferimento alle indicazioni del produttore dello strumento.

Inoltre, il GR mostra una limitata capacità di descrivere la forza del glutine e, in presenza di glutini particolarmente tenaci, possono verificarsi problemi di ripetibilità e riproducibilità dei risultati (Cecchini et al., 2021).

1.4.2 Metodi per la valutazione dell'aggregazione proteica

Glutopeak

Il GlutoPeak è un metodo reologico rapido sviluppato per la valutazione delle proprietà di aggregazione del glutine negli sfarinati di frumento. A differenza dei metodi basati sull'estrazione del glutine, il test misura direttamente il comportamento di aggregazione delle proteine presenti in una sospensione acqua-campione sottoposta ad elevata azione meccanica (Marti et al., 2014; Wang et al., 2017).

Durante l'analisi, la formazione della rete glutinica e la sua successiva disgregazione vengono registrate sotto forma di una curva di coppia (*torque curve*). I principali parametri ottenuti sono il Peak Maximum Time (PMT), che rappresenta il tempo necessario per raggiungere il massimo della curva di aggregazione, e il Brabender Equivalent Maximum (BEM), corrispondente alla massima coppia registrata durante il test e quindi al massimo livello di aggregazione del glutine. Il software consente inoltre di ottenere ulteriori parametri descrittivi della curva, tra cui il Torque Before Peak (AM) e il Torque After Peak (PM).

Tra i parametri ottenuti, il PMT è stato identificato come uno degli indici maggiormente associati alla forza del glutine e particolarmente efficace nel discriminare campioni caratterizzati da glutine debole e forte (Sissons, 2016).

Il metodo presenta diversi vantaggi rispetto alle tecniche convenzionali, tra cui l'assenza di una fase preliminare di estrazione del glutine, il ridotto quantitativo di campione richiesto e il breve tempo di analisi (Marti et al., 2014). Tali caratteristiche lo rendono particolarmente adatto ad attività di screening rapido e alla valutazione di un elevato numero di campioni. Inoltre, Marti et al. (2014) hanno evidenziato una buona ripetibilità del metodo e correlazioni significative tra i parametri ottenuti mediante GlutoPeak, il contenuto proteico, il Gluten Index e il parametro alveografico W. Gli stessi autori hanno inoltre osservato relazioni significative tra i parametri del GlutoPeak e alcuni attributi qualitativi della pasta, quali consistenza, appiccicosità, volume apparente e qualità complessiva, evidenziando il potenziale del metodo nella previsione delle prestazioni tecnologiche degli sfarinati destinati alla pastificazione.

Tuttavia, i risultati ottenuti mediante GlutoPeak possono essere influenzati dalle condizioni operative adottate durante l'analisi. Wang et al. (2017) hanno evidenziato che variazioni del rapporto campione/acqua e della velocità di miscelazione modificano significativamente i parametri della curva di aggregazione. Inoltre, gli stessi autori hanno osservato che i valori

di Peak Time e Peak Area possono essere influenzati dalla capacità di assorbimento dell'acqua del campione, con il rischio di una possibile sovrastima della forza del glutine. Infine, la mancanza di una metodologia ufficialmente standardizzata rappresenta tuttora uno dei principali limiti del metodo, rendendo talvolta complesso il confronto diretto tra risultati ottenuti in studi differenti.

1.4.3 Metodi per la valutazione dell'impasto

Farinografo

Il Farinografo è uno strumento reologico utilizzato per valutare il comportamento degli impasti durante la miscelazione. Il metodo misura la resistenza opposta dall'impasto all'azione meccanica delle pale di impastamento e registra le variazioni di consistenza nel tempo sotto forma di una curva denominata farinogramma (AACC International Method 54-21.01).

L'analisi consente di determinare il Water Absorption (WA), definito come la quantità di acqua necessaria per ottenere una consistenza standard dell'impasto pari a 500 Brabender Units (BU), il Dough Development Time (DDT), corrispondente al tempo necessario per raggiungere la massima consistenza dell'impasto, la Stability, che rappresenta l'intervallo durante il quale l'impasto mantiene una consistenza pressoché costante, e il Degree of Softening (DS), che descrive la perdita di consistenza durante il proseguimento della miscelazione (AACC International Method 54-21.01).

Sebbene il Farinografo non misuri direttamente le proprietà del glutine, la qualità della rete glutinica può essere valutata indirettamente attraverso il comportamento dell'impasto durante la miscelazione. In particolare, la Stability e il DS descrivono le proprietà viscoelastiche del complesso glutinico sviluppato durante l'impastamento; elevati valori di Stability e ridotti valori di DS sono generalmente associati a impasti maggiormente resistenti alle sollecitazioni meccaniche (Dapčević Hadnadev et al., 2011).

AbuHammad et al. (2012) hanno inoltre osservato correlazioni significative tra alcuni parametri farinografici e la qualità della pasta. In particolare, valori elevati di WA, DDT e Stability risultavano associati a una maggiore consistenza della pasta cotta, mentre il Mixing Tolerance Index (MTI) mostrava una correlazione positiva con la perdita di sostanza in cottura, evidenziando il potenziale del metodo nella valutazione delle prestazioni tecnologiche della semola.

Rispetto ai più recenti metodi di screening rapido, il Farinografo richiede maggiori quantità di campione e tempi di analisi più lunghi, poiché prevede la preparazione dell'impasto e il monitoraggio del suo comportamento durante la miscelazione.

Inoltre, i parametri farinografici sono influenzati non solo dalle caratteristiche del glutine, ma anche dal contenuto proteico, dal grado di danneggiamento dell'amido e dalle proprietà di idratazione del campione (Dapčević Hadnađev et al., 2011). Inoltre, AbuHammad et al. (2012) hanno evidenziato che, pur consentendo di distinguere campioni caratterizzati da glutine molto debole e molto forte, il metodo risulta meno efficace nella discriminazione di campioni con livelli di forza glutinica intermedi.

2 Scopo del lavoro

La valutazione della qualità del glutine rappresenta un aspetto fondamentale nella caratterizzazione tecnologica degli sfarinati destinati alla produzione di pasta. A tal fine, sono disponibili diverse metodiche analitiche per la determinazione della quantità e della qualità del glutine, nonché per la valutazione delle proprietà reologiche dell'impasto.

Il presente lavoro di tesi, sviluppato nell'ambito del tirocinio svolto presso GEA Group – Pavan, si è proposto di applicare un approccio analitico integrato alla caratterizzazione di farine di frumento tenero e semole di grano duro. A tale scopo sono stati confrontati il metodo manuale, il Glutomatic, il Glutograph, il GlutoPeak e il Farinografo.

In particolare, il confronto tra le diverse metodiche è stato effettuato al fine di individuare eventuali correlazioni tra i parametri analizzati, valutarne la capacità discriminante nella caratterizzazione delle proprietà tecnologiche degli sfarinati e identificare le metodiche maggiormente rappresentative della qualità del glutine. Nell'ambito del tirocinio, il confronto tra le metodiche è stato inoltre finalizzato a valutare la possibilità di affiancare il metodo manuale tradizionalmente impiegato in azienda con metodiche strumentali più oggettive e riproducibili.

3 Materiali e metodi

3.1 Piano sperimentale

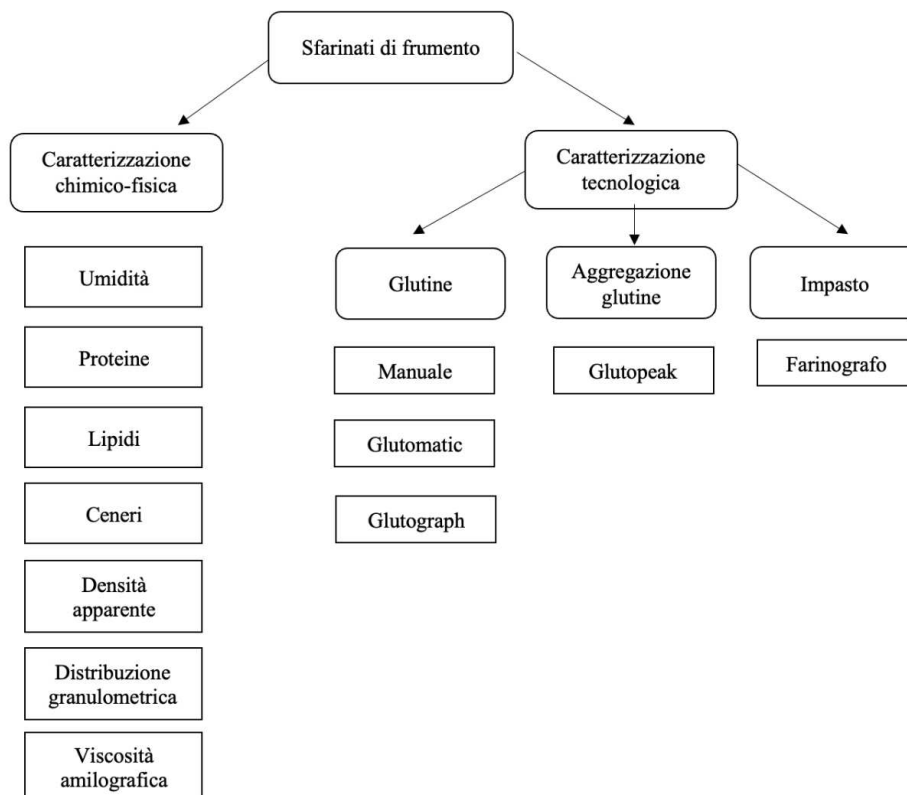


Figura 3.1. Diagramma di flusso del piano sperimentale adottato per la valutazione della qualità del glutine, delle proprietà di aggregazione proteica e delle caratteristiche reologiche degli sfarinati analizzati.

Il presente lavoro sperimentale è stato condotto nel periodo compreso tra settembre 2025 e marzo 2026 nell'ambito del tirocinio curriculare svolto presso GEA Group – Pavan. Alcune analisi tecnologiche sono state effettuate presso Voltan S.p.A. e l'Università degli Studi di Milano. Il piano sperimentale adottato è riportato nel Diagramma di flusso 3.1.

Sono stati analizzati quattordici campioni di sfarinati di frumento, costituiti da sei farine di frumento tenero e otto semole di grano duro, forniti da GEA Group – Pavan. La selezione dei campioni è stata effettuata al fine di includere materie prime caratterizzate da differenti caratteristiche qualitative e tecnologiche. I campioni sono stati conservati nelle confezioni originali fino al momento delle analisi e identificati mediante un codice alfanumerico per l'intera durata dello studio.

Le analisi previste dal piano sperimentale hanno compreso prove di caratterizzazione chimico-fisica e tecnologica. Tutte le determinazioni sono state eseguite in triplicato per

ciascun campione e i risultati sono stati successivamente espressi come valore medio delle tre ripetizioni.

3.2 Analisi chimico-fisiche

Umidità

Il contenuto di umidità dei campioni è stato determinato mediante termobilancia secondo una procedura analitica interna derivata dal metodo AACC 44-10. Circa 3 g di campione sono stati sottoposti a riscaldamento controllato a 140 °C fino al raggiungimento di peso costante. Il contenuto di umidità è stato espresso come percentuale sul peso iniziale del campione.

Proteine

Il contenuto proteico dei campioni è stato determinato mediante il metodo Kjeldahl secondo il metodo AOAC 979.09. Circa 1 g di campione è stato sottoposto a digestione con acido solforico a 420 °C per 40 minuti, seguita da distillazione e titolazione dell'azoto totale. Il contenuto proteico è stato calcolato convertendo il contenuto di azoto mediante il fattore 5,70, specifico per il frumento, ed espresso come percentuale sul campione.

Lipidi

Il contenuto lipidico dei campioni è stato determinato mediante estrazione con etere di petrolio utilizzando un sistema di estrazione automatizzato (SER 148, Velp Scientific) secondo una procedura analitica interna. Circa 10 g di campione sono stati posti in una cartuccia di estrazione e sottoposti a estrazione con solvente. Al termine dell'analisi, il solvente è stato rimosso per evaporazione e il residuo lipidico ottenuto è stato essiccato e pesato. Il contenuto lipidico è stato espresso come percentuale sul peso del campione.

Ceneri

Il contenuto in ceneri dei campioni è stato determinato mediante incenerimento in muffola secondo una procedura analitica interna. Circa 10 g di campione sono stati posti in capsule di quarzo e sottoposti a una fase preliminare di combustione su piastra riscaldante. Successivamente, i campioni sono stati inceneriti in muffola a 550–575 °C per circa 8 ore fino all'ottenimento di un residuo minerale a peso costante. Al termine dell'analisi, le capsule sono state raffreddate in essiccatore e pesate. Il contenuto in ceneri è stato espresso su sostanza secca.

Densità apparente

La densità apparente dei campioni è stata determinata secondo una procedura analitica interna. Il campione è stato trasferito in un cilindro graduato fino al raggiungimento di un volume noto e successivamente pesato mediante bilancia analitica. La densità apparente è stata espressa in g/L e calcolata mediante la seguente equazione:

$$Densità\ apparante = \left(\frac{m}{V}\right) \cdot 1000 \quad (3.1)$$

dove m rappresenta la massa del campione (g) e V il volume occupato (mL).

Distribuzione granulometrica

La distribuzione granulometrica dei campioni è stata determinata mediante setacciatura meccanica utilizzando un vibrosetacciatore (Retsch VE 1000, Retsch GmbH, Haan, Germania) e una serie di setacci a maglia standard. Un campione di 100 g è stato sottoposto a setacciatura per 20 minuti con ampiezza di vibrazione pari a 2,0. Al termine della prova, il materiale trattenuto su ciascun setaccio è stato raccolto e pesato. La distribuzione granulometrica è stata espressa come percentuale in peso delle diverse frazioni ottenute rispetto alla massa iniziale del campione. Per le farine sono stati utilizzati setacci con aperture di maglia pari a 425, 300, 212, 150 e 106 µm, mentre per le semole sono stati utilizzati setacci con aperture di maglia pari a 500, 425, 300, 212, 150 e 106 µm, oltre al fondo di raccolta.

Viscosità amilografica

Le proprietà viscoamilografiche dei campioni sono state determinate mediante Rapid Visco Analyser (RVA 4500, Retsch GmbH, Haan, Germania) secondo una procedura analitica interna. Per ciascuna analisi sono stati utilizzati 3,5 g di campione e 25 g di acqua distillata, con le quantità corrette in funzione del contenuto di umidità del campione. La sospensione ottenuta è stata sottoposta al programma Standard 2, caratterizzato da una temperatura iniziale di 50 °C, successivamente incrementata fino a 95 °C in 7,5 minuti, mantenuta costante per 5 minuti e infine riportata a 50 °C. Dalla curva di viscosità sono stati ricavati i parametri di viscosità di picco (Peak), viscosità minima a caldo (Hold), viscosità finale (Final Viscosity), tempo al raggiungimento del picco (Peak Time) e temperatura di gelatinizzazione (Pasting Temperature).

3.3 Valutazione del glutine

Metodo Manuale

La valutazione del glutine mediante metodo manuale è stata effettuata secondo una versione modificata del metodo AACC 38-10. A 25 g di campione sono stati aggiunti 15 mL di acqua distillata e l'impasto ottenuto è stato lasciato riposare a temperatura ambiente per 30 minuti. Successivamente, l'impasto è stato sottoposto a lavaggio con acqua di rubinetto a 22 ± 2 °C per circa 12 minuti, al fine di rimuovere l'amido e le sostanze solubili.

Il glutine estratto è stato valutato qualitativamente mediante osservazione visiva e manipolazione manuale, considerando attributi quali colore, elasticità, tenacità, struttura fibrosa e caratteristiche superficiali, secondo una scala di valutazione predefinita. Per ciascun campione sono state effettuate tre prove. Il glutine ottenuto da ogni prova è stato valutato da tre giudici indipendenti e, per ciascun attributo, il valore finale è stato calcolato come media dei punteggi assegnati complessivamente dai tre giudici nelle tre prove.



Figura 3.2. Esempi di glutine caratterizzato da elevata tenacità ed elasticità (sinistra), ridotta tenacità ed elasticità (centro) e ridotta tenacità con fibre lunghe (destra).

La Tabella 3.1 riporta gli attributi qualitativi considerati e la relativa scala di valutazione utilizzata per la successiva elaborazione statistica dei dati.

Attributi qualitativi	Scala di valutazione
Colore	1=spento 2= acceso
Superficie	1= irregolare 2= liscia
Tenacità	1= bassa 2=media 3=alta
Elasticità	1=bassa 2=media 3=alta
Fibre	1= corte 2=medie 3=lunghe

Tabella 3.1. *Attributi qualitativi utilizzati per la valutazione del glutine mediante metodo manuale e relativa scala di valutazione.*

Dopo la rimozione dell'acqua in eccesso, il glutine è stato pesato per la determinazione del glutine umido e successivamente essiccato in stufa a 105 °C per 24 ore per la determinazione del glutine secco. I contenuti di glutine umido e glutine secco sono stati espressi come percentuale sulla sostanza secca del campione (% s.s.) e calcolati secondo le Equazioni 3.2 e 3.3.

$$\text{Glutine umido (\% s.s.)} = \frac{\text{massa del glutine umido}}{\text{massa della sostanza secca del campione}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Glutine secco (\% s.s.)} = \frac{\text{massa del glutine secco}}{\text{massa della sostanza secca del campione}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Glutomatic (Gluten Index)

La determinazione del glutine umido, del glutine secco e del Gluten Index è stata effettuata mediante il sistema Glutomatic 2200, Glutork 2020 e Gluten Index Centrifuge 2015 (Perten Instruments), secondo il metodo AACC 38-12.01 (AACC International, 1995).

Per ciascuna analisi sono stati pesati 10 g di campione nella camera di lavaggio del Glutomatic, dotata di un setaccio in poliestere da 88 µm. Successivamente, sono stati aggiunti 4,8 mL di soluzione salina al 2% mantenuta a 22 ± 2 °C e il campione è stato impastato automaticamente per 20 s.

Al termine dell'impastamento, il campione è stato sottoposto a lavaggio automatico per la rimozione dell'amido e delle sostanze solubili. Per le farine di frumento tenero il lavaggio è

stato effettuato utilizzando il setaccio da 88 µm, mentre per le semole di grano duro il campione è stato successivamente trasferito in una camera dotata di un setaccio da 840 µm, al fine di favorire l'eliminazione delle particelle di maggiori dimensioni.

Terminata la fase di lavaggio, il glutine umido ottenuto è stato trasferito nell'apposita cassetta del Gluten Index Centrifuge 2015 e centrifugato per 1 min a 6000 rpm. La frazione di glutine trattenuta sul setaccio e quella passata attraverso di esso sono state pesate per la determinazione del Gluten Index. Il glutine totale ottenuto è stato successivamente essiccato mediante Glutork 2020 a 150 °C per 4 minuti e quindi pesato per la determinazione del contenuto di glutine secco.

I contenuti di glutine umido e glutine secco, espressi come percentuale sulla sostanza secca del campione, sono stati calcolati secondo le Equazioni 3.2 e 3.3. Il Gluten Index (GI) è stato invece determinato secondo l'Equazione 3.4.

$$GI \% = \frac{\text{massa del glutine trattenuta sul setaccio}}{\text{massa totale umido}} \cdot 100 \quad (3.4)$$

Per l'interpretazione dei valori di Gluten Index ottenuti sono state utilizzate le classificazioni qualitative riportate nelle Tabelle 3.2 e 3.3, elaborate sulla base dei criteri riportati nel protocollo operativo Perten Instruments per farine di frumento tenero e semole di grano duro.

Gluten Index	Classe GI
< 8	Scarsa
8–20	Insufficiente
20–30	Dubbia
30–70	Media
>70	Eccellente

Tabella 3.2: Classificazione qualitativa del Gluten Index per semole di grano duro (adattata da Perten Instruments, Gluten Index Method).

Gluten Index	Classe GI
< 55	Scarsa
55–75	Media
75–85	Buona
85–100	Eccellente

Tabella 3.3: Classificazione qualitativa del Gluten Index per farine di frumento tenero (adattata da Perten Instruments, Gluten Index Method).



Figura 3.3. Sistema Glutomatic 2200 (Perten Instruments).

Glutograph

L'analisi è stata eseguita mediante Glutograph Brabender (Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Germania) secondo il protocollo fornito dal costruttore.

Il glutine umido ottenuto mediante lavaggio è stato lasciato rilassare per tre minuti prima della prova. Successivamente, il campione è stato posizionato al centro del disco inferiore precedentemente inumidito e racchiuso tra le due piastre scanalate dello strumento. L'eccesso di glutine è stato rimosso mediante l'apposito anello di taglio, al fine di ottenere campioni con geometria costante e riproducibile.

La prova è stata condotta applicando un carico di taglio pari a 200 cmg. Durante l'analisi il campione è stato sottoposto a deformazione fino al raggiungimento di una deflessione di 800 unità (42°). Raggiunto tale valore, il carico è stato rimosso automaticamente e il campione è stato lasciato rilassare. Al termine della prova sono stati registrati i parametri Glutograph Stretching (GS) e Glutograph Relaxation (GR) forniti dallo strumento.

3.4 Valutazione dell'aggregazione proteica

Glutopeak

Le proprietà di aggregazione del glutine sono state valutate mediante GlutoPeak (Anton Paar, Graz, Austria). Poiché non è disponibile un metodo ufficiale standardizzato per questa analisi, è stato adottato un protocollo interno del laboratorio. Per ciascuna prova sono stati utilizzati 9 g di campione e 9 mL di acqua termostata a 35 °C, mantenendo un rapporto campione/acqua pari a 1:1. La miscela è stata sottoposta ad agitazione a 2750 rpm per 300 s. Le analisi sono state eseguite in duplicato. Dalle curve ottenute sono stati determinati il Peak Maximum Time (PMT), il Brabender Equivalent Maximum (BEM), il Torque Before Maximum (AM) e il Torque After Maximum (PM).



Figura 3.4. GlutoPeak (Anton Paar, Graz, Austria).

3.5 Valutazione dell'impasto

Farinografo-E

Le proprietà reologiche degli impasti sono state valutate mediante Farinografo-E (Anton Paar, Graz, Austria) dotato di vasca impastatrice da 50 g, secondo il metodo ICC n. 115/1. Le analisi sono state eseguite in duplicato.

Durante la prova, i campioni sono stati impastati a una velocità di 63 rpm con aggiunta progressiva di acqua fino al raggiungimento della consistenza standard di 500 FU (Farinograph Units). La curva farinografica è stata registrata automaticamente dal software

dello strumento e utilizzata per la determinazione dell'assorbimento idrico (WA), espresso come percentuale di acqua necessaria per raggiungere la consistenza di riferimento.

Dalle curve ottenute sono stati inoltre determinati il tempo di sviluppo dell'impasto (Development Time, DDT), la stabilità (Stability), il grado di rammollimento (Degree of Softening, DS) e il Farinograph Quality Number (FQN), utilizzati per la caratterizzazione delle proprietà reologiche dei diversi campioni analizzati.

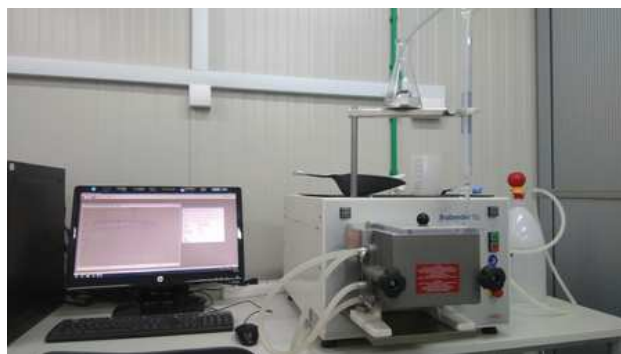


Figura 3.5. *Farinografo-E (Anton Paar, Graz, Austria).*

4 Analisi statistica

I dati sperimentali sono stati elaborati utilizzando Microsoft Excel (versione 16.78, Microsoft 2023) e il software Statgraphics Centurion 19.

I risultati sono stati espressi come media $\pm$ deviazione standard. La media è stata utilizzata per descrivere il valore centrale delle misure sperimentali, mentre la deviazione standard è stata riportata come indice della variabilità tra le varie repliche analitiche.

Le differenze tra i campioni sono state valutate mediante analisi della varianza a una via (ANOVA), al fine di verificare la presenza di differenze statisticamente significative tra le medie dei gruppi analizzati. La significatività statistica è stata fissata a un livello di probabilità inferiore a 0,05 ($p < 0,05$).

Per valutare le relazioni tra i parametri ottenuti mediante le diverse metodiche analitiche sono stati calcolati i coefficienti di correlazione di Pearson (r) e il relativo valore di probabilità (p). Il coefficiente di correlazione è stato utilizzato per valutare l'intensità e la direzione della relazione lineare tra le variabili considerate, individuando eventuali associazioni positive o negative tra i diversi parametri analizzati.

Al fine di ottenere una rappresentazione complessiva delle relazioni tra i campioni e i principali parametri analizzati, è stata eseguita un'Analisi delle Componenti Principali (Principal Component Analysis, PCA) utilizzando i dati sperimentali ottenuti. Tale analisi multivariata ha consentito di ridurre la dimensionalità del dataset, sintetizzando l'informazione contenuta nelle variabili originali in un numero limitato di componenti principali. La PCA è stata inoltre utilizzata per evidenziare eventuali raggruppamenti tra i campioni e individuare le variabili maggiormente responsabili della variabilità osservata.

È stata infine eseguita un'analisi di regressione lineare multipla. La qualità del modello è stata valutata mediante il coefficiente di determinazione (R^2), mentre la significatività statistica è stata verificata mediante il valore di probabilità (p). Tutte le elaborazioni statistiche sono state eseguite considerando un livello di significatività pari a $p < 0,05$.

5 Risultati e discussione

Sfarinato	n	Umidità (%)	Proteine (% s.s.)	Lipidi (% s.s.)	Ceneri (% s.s.)
Semole	8	12.75–15.07	10.73–13.90	0.59–2.39	0.77–1.82
Farine	6	13.06–14.09	9.36–11.95	1.07–1.21	0.49–0.67

Tabella 5.1: Intervallo di variazione delle principali caratteristiche compositive delle semole di grano duro e delle farine di frumento tenero analizzate.

La Tabella 5.1 riassume gli intervalli di variazione delle principali caratteristiche compositive dei campioni analizzati, distinguendo le semole di grano duro dalle farine di frumento tenero.

Le semole hanno evidenziato un contenuto proteico compreso tra 10,73 e 13,90% s.s., superiore rispetto a quello osservato nelle farine (9,36–11,95% s.s.). Tale risultato risulta coerente con le caratteristiche del grano duro, tradizionalmente destinato alla produzione della pasta grazie all'elevato contenuto proteico e alle favorevoli proprietà tecnologiche associate alla formazione della rete glutinica (Romano et al., 2021).

Anche il contenuto in ceneri è risultato generalmente più elevato nelle semole (0,77–1,82% s.s.) rispetto alle farine (0,49–0,67% s.s.). Sebbene tale parametro sia comunemente utilizzato come indicatore del grado di raffinazione degli sfarinati, differenze nel contenuto minerale possono essere attribuite anche alla specie di frumento considerata. In particolare, è stato riportato che il grano duro può presentare naturalmente livelli più elevati di ceneri nell'endosperma per effetto di fattori genetici e delle condizioni pedoclimatiche di coltivazione (Czaja et al., 2020).

I valori di umidità sono risultati sostanzialmente comparabili tra le due tipologie di sfarinati, variando tra 12,75 e 15,07% nelle semole e tra 13,06 e 14,09% nelle farine. Il contenuto lipidico ha invece mostrato una maggiore variabilità nelle semole (0,59–2,39% s.s.) rispetto alle farine (1,07–1,21% s.s.), evidenziando una maggiore eterogeneità compositiva all'interno di questo gruppo di campioni.

Parametro	Semole (n=8)	Farine (n=6)
Densità (g/L)	649.10 ± 49.84	557.10 ± 20.57
Peak RVA (cP)	1361.25 ± 156.38	2218.33 ± 142.20
500 µm (%)	0.40 ± 0.46	—
425 µm (%)	4.45 ± 6.99	0.07 ± 0.05
300 µm (%)	32.95 ± 17.97	0.34 ± 0.25
212 µm (%)	21.60 ± 10.52	0.40 ± 0.32
150 µm (%)	9.82 ± 5.60	2.18 ± 2.01
106 µm (%)	8.21 ± 4.53	16.69 ± 5.03
<106 µm (%)	22.47 ± 25.14	80.32 ± 6.38

Tabella 5.2: Valori medi della densità apparente, del parametro Peak RVA e della distribuzione granulometrica delle semole di grano duro e delle farine di frumento tenero analizzate. Valori espressi come media ± deviazione standard. — = parametro non determinato nelle farine.

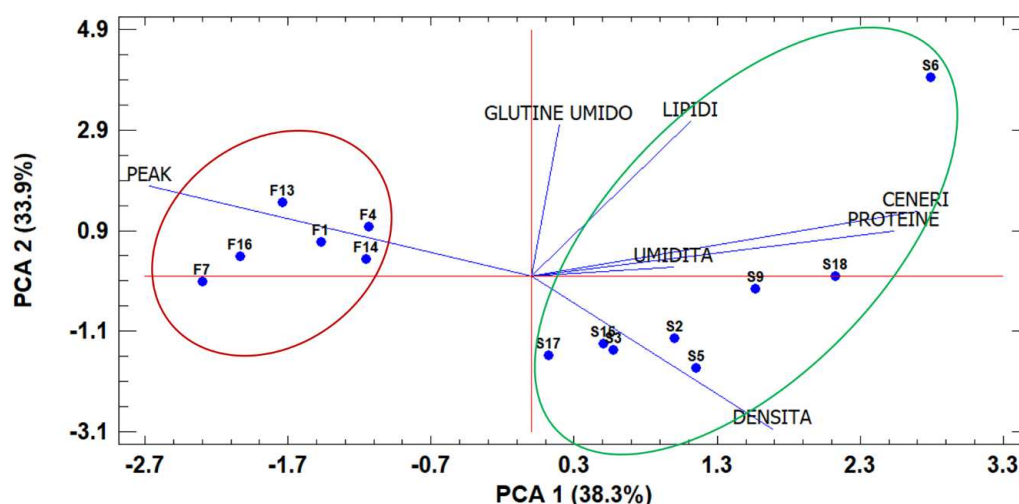


Figura 5.1: Analisi delle componenti principali (PCA) delle semole di grano duro e delle farine di frumento tenero ottenuta considerando le principali caratteristiche compositive, la densità apparente e il valore di Peak RVA.

Le farine di frumento tenero hanno evidenziato un valore medio di Peak RVA superiore rispetto alle semole di grano duro ($2218,33 \pm 142,20$ cP e $1361,25 \pm 156,38$ cP, rispettivamente) (Tabella 5.2), mentre le semole hanno presentato una densità apparente mediamente più elevata ($649,10 \pm 49,84$ g/L) rispetto alle farine ($557,10 \pm 20,57$ g/L) (Tabella 5.2).

L'analisi delle componenti principali (Figura 5.1) evidenzia una chiara separazione tra le due popolazioni di campioni. In particolare, i campioni di farina risultano associati ai valori più elevati di Peak RVA, mentre i campioni di semola sono associati a densità, contenuto proteico, contenuto di ceneri e lipidi. Inoltre, la popolazione delle semole mostra una

maggiore dispersione rispetto a quella delle farine, indicando una maggiore eterogeneità dei campioni analizzati.

Il maggiore valore di Peak RVA osservato nelle farine è coerente con quanto riportato da Salvati et al. (2025). Gli autori evidenziano come un maggiore contenuto di proteine e di ceneri determini una riduzione della frazione amidacea dello sfarinato e, di conseguenza, valori inferiori di Peak RVA. Il contenuto proteico, il contenuto di ceneri e la granulometria sono stati correlati con il valore di Peak e il modello di regressione lineare multipla ottenuto ($R^2 = 97,5\%$; $p = 0,001$) è risultato in grado di predire il valore di Peak RVA, confermando quanto riportato dagli autori.

Gli stessi autori riportano inoltre che i valori inferiori di Peak RVA osservati nelle semole sono riconducibili alla maggiore compattezza delle particelle di questo sfarinato, che limita la diffusione dell'acqua al loro interno e, di conseguenza, il rigonfiamento dei granuli di amido durante l'analisi.

Considerato il ruolo centrale delle proteine nella formazione del glutine e nelle proprietà tecnologiche degli sfarinati, la fase successiva dello studio è stata dedicata alla valutazione quantitativa e qualitativa del glutine mediante metodo manuale e Glutomatic.

Campione	Glutine umido (% s.s.) Manuale	Glutine umido (% s.s.) Glutomatic	Sign.	Glutine secco (% s.s.) Manuale	Glutine secco (% s.s.) Glutomatic	Sign.
S2	28.30 ± 0.47	27.77 ± 0.45		10.31 ± 0.12	9.54 ± 0.27	*
S3	31.62 ± 1.20	35.36 ± 0.66	*	11.43 ± 0.48	12.89 ± 0.31	*
S5	28.50 ± 0.23	28.60 ± 0.66		10.43 ± 0.40	10.12 ± 0.28	
S6	37.07 ± 0.68	n.d.	n.d.	13.46 ± 1.05	n.d.	n.d.
S9	32.72 ± 0.44	32.73 ± 3.71		11.88 ± 0.10	12.01 ± 0.29	
S15	27.00 ± 0.75	26.28 ± 0.27		9.78 ± 0.36	9.29 ± 0.29	
S17	26.54 ± 1.47	24.50 ± 0.78	*	9.66 ± 0.37	8.50 ± 0.07	*
S18	30.20 ± 0.97	n.d.	n.d.	11.13 ± 0.10	n.d.	n.d.
Media Semole	30.24 ± 3.50	29.56 ± 4.52		11.01 ± 1.26	10.39 ± 1.70	

Tabella 5.3: Contenuto di glutine umido e glutine secco determinato mediante metodo manuale e Glutomatic nelle semole di grano duro analizzate. Valori espressi come media ± deviazione standard ($n=3$) su sostanza secca. * indica una differenza significativa tra il metodo manuale e il metodo Glutomatic ($p < 0,05$). n.d.=non determinato

La Tabella 5.3 riporta i valori di glutine umido e glutine secco determinati mediante metodo manuale e Glutomatic nei campioni di semola analizzati.

I due metodi hanno fornito valori medi confrontabili, sebbene il confronto statistico abbia evidenziato differenze significative per alcuni campioni. Il metodo manuale ha fornito un contenuto medio di glutine umido pari a $30,24 \pm 3,50\%$ s.s., mentre il Glutomatic ha restituito un valore medio di $29,56 \pm 4,52\%$ s.s. Analogamente, per il glutine secco sono stati ottenuti valori medi pari a $11,01 \pm 1,26$ e $10,39 \pm 1,70\%$ s.s., rispettivamente.

Il confronto statistico ha evidenziato differenze significative soltanto in cinque delle dodici determinazioni confrontabili. In particolare, differenze statisticamente significative sono state osservate per il glutine umido nei campioni S3 e S17 e per il glutine secco nei campioni S2, S3 e S17 ($p < 0,05$). Per i campioni S6 e S18, invece, non è stato possibile determinare il contenuto di glutine mediante Glutomatic, mentre il metodo manuale ha consentito la determinazione del parametro.

Considerando i soli campioni confrontabili con entrambe le metodiche, il campione S3 ha evidenziato i contenuti di glutine più elevati, con valori di glutine umido compresi tra $31,62 \pm 1,20$ e $35,36 \pm 0,66\%$ s.s. e di glutine secco tra $11,43 \pm 0,48$ e $12,89 \pm 0,31\%$ s.s. Al contrario, il campione S17 ha presentato i valori più bassi, con un contenuto di glutine umido compreso tra $24,50 \pm 0,78$ e $26,54 \pm 1,47\%$ s.s. e di glutine secco tra $8,50 \pm 0,07$ e $9,66 \pm 0,37\%$ s.s.

Le differenze riscontrate tra i due metodi possono essere attribuite alle diverse modalità di estrazione del glutine. In particolare, il lavaggio manuale, essendo maggiormente influenzato dall'operatore, può favorire la ritenzione di una quota residua di amido e di altri componenti non proteici all'interno della massa glutinica, determinando una sovrastima del contenuto di glutine. Al contrario, il sistema Glutomatic garantisce condizioni operative standardizzate, riducendo la variabilità legata all'esecuzione dell'analisi. Tali osservazioni sono coerenti con quanto riportato da Cesevičienė e Butkutė (2012), i quali evidenziano come il contenuto di glutine determinato mediante Glutomatic risulti mediamente inferiore rispetto a quello ottenuto con il metodo manuale e come il cosiddetto *personal factor* rappresenti una delle principali fonti di variabilità del metodo manuale.

Le deviazioni standard sono risultate generalmente contenute, con valori compresi tra 0,23 e 1,47 per il glutine umido e tra 0,07 e 1,05 per il glutine secco, indicando una buona ripetibilità delle determinazioni effettuate. Fa eccezione il campione S9 analizzato mediante Glutomatic, che ha evidenziato una deviazione standard pari a 3,71 per il glutine umido.

Campione	Glutine umido (% s.s.) Manuale	Glutine umido (% s.s.) Glutomatic	Sign.	Glutine secco (% s.s.) Manuale	Glutine secco (% s.s.) Glutomatic	Sign.
F1	30.99 ± 0.63	25.67 ± 0.56	*	10.69 ± 0.19	9.33 ± 0.39	*
F4	35.64 ± 0.17	33.67 ± 0.08	*	12.28 ± 0.15	12.29 ± 0.19	
F7	26.73 ± 0.19	24.31 ± 0.40	*	9.41 ± 0.19	9.57 ± 0.15	*
F13	36.22 ± 0.10	33.71 ± 0.61	*	12.47 ± 0.16	12.23 ± 0.38	
F14	31.77 ± 0.64	29.46 ± 0.34	*	11.08 ± 0.27	9.89 ± 0.12	*
F16	31.09 ± 1.22	27.63 ± 0.32	*	10.72 ± 0.44	9.72 ± 0.35	*
Media farine	32.07 ± 3.48	29.07 ± 3.98		11.19 ± 1.13	10.34 ± 1.56	

***Tabella 5.4:** Contenuto di glutine umido e glutine secco determinato mediante metodo manuale e Glutomatic nelle farine di frumento tenero analizzate. Valori espressi come media ± deviazione standard (n=3) su sostanza secca. * indica una differenza significativa tra il metodo manuale e il metodo Glutomatic ($p < 0,05$). n.d.=non determinato*

La Tabella 5.4 riporta i valori di glutine umido e glutine secco determinati mediante metodo manuale e Glutomatic nei campioni di farina analizzati.

I risultati evidenziano differenze più marcate tra il metodo manuale e il Glutomatic rispetto a quanto osservato per le semole. In particolare, il metodo manuale ha fornito valori di glutine umido sistematicamente superiori rispetto al Glutomatic in tutti i campioni analizzati. Il confronto statistico ha evidenziato differenze significative per tutti i valori di glutine umido ($p < 0,05$), mentre per il glutine secco le differenze sono risultate generalmente più contenute e significative solo nei campioni F1, F7, F14 e F16.

Tra le farine analizzate, i campioni F13 e F4 hanno evidenziato i contenuti di glutine più elevati, con valori di glutine umido compresi tra $35,88 \pm 0,27$ e $36,22 \pm 0,10\%$ s.s. e di glutine secco tra $12,19 \pm 0,13$ e $12,29 \pm 0,19\%$ s.s. Al contrario, il campione F7 ha presentato i valori più bassi, con un contenuto di glutine umido compreso tra $24,31 \pm 0,40$ e $26,73 \pm 0,19\%$ s.s. e di glutine secco tra $9,41 \pm 0,15$ e $9,57 \pm 0,19\%$ s.s.

Nel complesso, il contenuto medio di glutine umido è risultato pari a $32,07 \pm 3,48\%$ s.s. per il metodo manuale e a $29,07 \pm 3,98\%$ s.s. per il Glutomatic, mentre il glutine secco ha mostrato valori medi pari a $11,19 \pm 1,13$ e $10,34 \pm 1,56\%$ s.s., rispettivamente.

Le deviazioni standard sono risultate generalmente contenute, confermando una buona ripetibilità delle determinazioni effettuate.

I risultati ottenuti sono solo parzialmente in accordo con quanto riportato da Cesevičienė e Butkutė (2012). Gli autori evidenziano infatti che il contenuto di glutine ottenuto mediante

lavaggio con acqua risulta generalmente inferiore rispetto a quello ottenuto utilizzando una soluzione di NaCl al 2%. Nel presente studio, al contrario, il metodo manuale, eseguito con sola acqua, ha fornito valori di glutine umido sistematicamente superiori rispetto al metodo Glutomatic, che utilizza una soluzione di NaCl al 2%. D'altra parte, i risultati confermano quanto osservato dagli stessi autori riguardo alla tendenza del Glutomatic a fornire valori mediamente inferiori rispetto al metodo manuale.

Il metodo manuale ha fornito valori di glutine umido mediamente superiori di circa il 3% rispetto al Glutomatic, con una differenza massima osservata nel campione F1 pari al 5,32%. Tale comportamento potrebbe essere attribuito alle diverse modalità di estrazione del glutine. In particolare, il lavaggio manuale può favorire la ritenzione di una quota residua di amido, lipidi e di altri componenti non proteici all'interno della massa glutinica. Inoltre, la presenza della soluzione salina durante il lavaggio favorisce l'aggregazione tra gliadine e glutenine e migliora la separazione tra glutine e amido; allo stesso tempo riduce il legame tra lipidi e proteine del glutine, aumentando l'efficienza dell'estrazione (Van der Borgh et al., 2005). Di conseguenza, il maggiore quantitativo di glutine recuperato mediante lavaggio con sola acqua potrebbe essere dovuto, almeno in parte, alla mancata eliminazione di componenti non proteici piuttosto che a una reale maggiore estrazione del glutine.

Oltre alla determinazione quantitativa del glutine umido e secco, è stata effettuata una valutazione della qualità del glutine mediante metodo manuale e Gluten Index.

Campione	Colore	Superficie	Tenacità	Elasticità	Fibre	Gluten Index
S2	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	1.89 ± 0.93	84.20 ± 3.73
S3	2.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	1.44 ± 0.53	2.33 ± 0.50	3.00 ± 0.00	63.70 ± 1.47
S5	2.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	2.56 ± 0.53	85.60 ± 2.16
S6	2.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.33 ± 0.50	1.67 ± 0.50	1.22 ± 0.67	81.00 ± 1.35
S9	2.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	1.89 ± 0.60	66.50 ± 3.34
S15	1.56 ± 0.53	2.00 ± 0.0	2.11 ± 0.60	2.22 ± 0.83	2.78 ± 0.44	85.30 ± 1.12
S17	2.00 ± 0.00	1.33 ± 0.50	2.33 ± 0.87	2.00 ± 0.00	2.67 ± 0.50	89.70 ± 1.55
S18	2.00 ± 0.00	1.33 ± 0.50	1.00 ± 0.00	2.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	56.00 ± 1.62

Tabella 5.6: Confronto tra gli attributi qualitativi del glutine ottenuti mediante metodo manuale e i valori di Gluten Index nelle semole di grano duro analizzate. I valori del metodo manuale sono espressi come media ± deviazione standard delle valutazioni ottenute su tre prove per campione, ciascuna valutata da tre giudici indipendenti. n.d. = non determinato.

La Tabella 5.6 riporta i valori medi degli attributi qualitativi ottenuti mediante valutazione manuale, insieme ai valori di Gluten Index determinati mediante Glutomatic per i campioni di semola analizzati.

Per quanto riguarda i parametri "colore" e "superficie", sono state osservate alcune differenze tra i campioni, sebbene tali attributi abbiano mostrato una variabilità complessivamente limitata. Maggiori differenze sono invece emerse per i parametri "tenacità", "elasticità" e "struttura fibrosa".

In particolare, i campioni S2, S5 e S9 hanno evidenziato i valori più elevati di tenacità ($3,00 \pm 0,00$), mentre S18 ha mostrato il valore più basso ($1,00 \pm 0,00$), seguito da S6 ($1,33 \pm 0,50$) e S3 ($1,44 \pm 0,53$). Anche il parametro "elasticità" ha evidenziato una certa variabilità, con valori compresi tra 1,67 e 3,00. Il valore più elevato è stato osservato nel campione S2 ($3,00 \pm 0,00$), mentre S6 ha presentato il valore più basso ($1,67 \pm 0,50$). Analogamente, la struttura fibrosa ha mostrato differenze tra i campioni, con valori compresi tra 1,22 e 3,00.

Per quanto riguarda il Gluten Index, i valori ottenuti sono risultati compresi tra 56 e 90. I valori più elevati sono stati osservati nei campioni S17 ($89,70 \pm 1,55$), S5 ($85,60 \pm 2,16$), S15 ($85,30 \pm 1,12$), S2 ($84,20 \pm 3,73$) e S6 ($81,00 \pm 1,35$), mentre i valori più bassi sono stati rilevati nei campioni S18 ($56,00 \pm 1,62$), S3 ($63,70 \pm 1,47$) e S9 ($66,50 \pm 3,34$).

Al fine di confrontare i risultati ottenuti mediante metodo manuale con quelli derivanti dal Gluten Index, i valori medi di tenacità sono stati suddivisi in tre classi qualitative: Basso, Medio e Alto. In particolare, sono stati considerati appartenenti alla classe “Basso” i valori compresi tra 1,00 e 2,00, alla classe “Medio” i valori superiori a 2,00 e fino a 2,50 e alla classe “Alto” i valori superiori a 2,50. Tale suddivisione è stata effettuata esclusivamente allo scopo di rendere confrontabili i risultati ottenuti mediante valutazione manuale con la classificazione qualitativa derivante dai valori di Gluten Index. Per il Gluten Index è stata utilizzata la classificazione riportata in Materiali e Metodi per le semole di grano duro (Tabella 3.2).

Campione	Classe tenacità	Classe GI
S2	Alto	Eccellente
S3	Basso	Media
S5	Alto	Eccellente
S6	Basso	Eccellente
S9	Alto	Media
S15	Medio	Eccellente
S17	Medio	Eccellente
S18	Basso	Media

Tabella 5.7: Confronto tra la classificazione qualitativa ottenuta mediante valutazione della tenacità e quella derivante dal Gluten Index nelle semole di grano duro analizzate.

La Tabella 5.7 confronta la classificazione della qualità del glutine ottenuta mediante la valutazione manuale della tenacità con quella derivante dal Gluten Index.

Nel complesso, è emersa una concordanza solo parziale tra le due metodiche. I campioni S2 e S5, caratterizzati da un'elevata tenacità, sono risultati appartenere anche alla classe "Eccellente" del Gluten Index. Analogamente, i campioni S3 e S18, caratterizzati da una bassa tenacità, sono stati assegnati alla classe "Media".

Sono tuttavia emerse alcune discrepanze. In particolare, il campione S6, pur presentando una bassa tenacità, è risultato appartenere alla classe "Eccellente". Analogamente, il campione S9, caratterizzato da un'elevata tenacità, è stato classificato nella classe "Media". Ulteriori differenze sono state osservate nei campioni S15 e S17 che, pur presentando una tenacità intermedia, sono risultati appartenere alla classe "Eccellente".

Campione	Colore	Superficie	Tenacità	Elasticità	Fibre	Gluten Index
F1	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.11 ± 0.33	2.00 ± 0.00	2.44 ± 0.53	98.65 ± 1.12
F4	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	2.67 ± 0.50	2.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	88.10 ± 0.60
F7	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	2.33 ± 0.50	2.33 ± 0.50	2.22 ± 0.44	98.73 ± 0.36
F13	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	2.89 ± 0.33	2.78 ± 0.44	2.89 ± 0.33	98.91 ± 0.94
F14	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.11 ± 0.33	2.22 ± 0.44	3.00 ± 0.00	74.40 ± 4.66
F16	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.56 ± 0.53	2.56 ± 0.53	2.56 ± 0.53	92.80 ± 0.82

Tabella 5.8: Confronto tra gli attributi qualitativi del glutine ottenuti mediante metodo manuale e i valori di Gluten Index nelle farine di grano tenero analizzate. I valori del metodo manuale sono espressi come media ± deviazione standard delle valutazioni ottenute su tre prove per campione, ciascuna valutata da tre giudici indipendenti. n.d. = non determinato.

La Tabella 5.8 riporta i valori medi degli attributi qualitativi ottenuti mediante valutazione manuale, insieme ai valori di Gluten Index determinati mediante Glutomatic per i campioni di farina analizzati.

Per quanto riguarda i parametri "colore" e "superficie", non sono state osservate differenze tra i campioni analizzati, che hanno presentato valori costanti per entrambi gli attributi. Maggiori differenze sono invece emerse per i parametri "tenacità", "elasticità" e "struttura fibrosa".

In particolare, i campioni F13 e F4 hanno evidenziato i valori più elevati di tenacità ($2,89 \pm 0,33$ e $2,67 \pm 0,50$, rispettivamente), mentre F1 e F14 hanno mostrato i valori più bassi ($1,11 \pm 0,33$). Anche il parametro "elasticità" ha evidenziato una certa variabilità, con valori compresi tra 2,00 e 2,78. I valori più elevati sono stati osservati nei campioni F13 ($2,78 \pm 0,44$) e F16 ($2,56 \pm 0,53$), mentre F1 e F4 hanno presentato i valori più bassi ($2,00 \pm 0,00$). Analogamente, la struttura fibrosa ha mostrato differenze tra i campioni, con valori compresi tra $2,22 \pm 0,44$ e $3,00 \pm 0,00$.

Per quanto riguarda il Gluten Index, i valori ottenuti sono risultati compresi tra 74,40 e 98,91. I valori più elevati sono stati osservati nei campioni F13 ($98,91 \pm 0,94$), F7 ($98,73 \pm 0,36$) e F1 ($98,65 \pm 1,12$), mentre F14 ha evidenziato il valore più basso ($74,40 \pm 4,66$).

Campione	Classe tenacità	Classe GI
F1	Basso	Eccellente
F4	Alto	Eccellente
F7	Medio	Eccellente
F13	Alto	Eccellente
F14	Basso	Buona
F16	Basso	Eccellente

Tabella 5.9: Confronto tra la classificazione qualitativa ottenuta mediante valutazione della tenacità e quella derivante dal Gluten Index nelle farine di frumento tenero analizzate.

La Tabella 5.9 evidenzia una concordanza solo parziale tra la classificazione ottenuta mediante valutazione della tenacità e quella derivante dal Gluten Index. In particolare, i campioni F4 e F13, classificati come caratterizzati da elevata tenacità, sono risultati appartenere anche alla classe “Eccellente” secondo il Gluten Index.

Tuttavia, il Gluten Index ha classificato la quasi totalità delle farine nella classe qualitativa “Eccellente”, differenziando solamente il campione F14, classificato come “Buona”. Al

contrario, la valutazione della tenacità ha consentito di distinguere i campioni in tre differenti classi qualitative. In particolare, F1, F14 e F16 sono risultati appartenere alla classe “Basso”, F7 alla classe “Medio” e F4 e F13 alla classe “Alto”.

Nel complesso, il confronto evidenzia che il metodo manuale differenzia le farine che il Gluten Index raggruppa nella medesima classe qualitativa.

Campione	PMT (s)	BEM (GPU)	WA (% a 500 FU)	DDT (min)	ST (min)	FQN
S2	127.0 ± 4.24	42.0 ± 1.41	55.85 ± 0.07	4.75 ± 0.35	21.45 ± 5.16	209.00 ± 1.20
S3	124.5 ± 3.54	41.0 ± 1.41	54.65 ± 0.07	4.50 ± 0.28	26.25 ± 4.88	189.50 ± 2.14
S5	184.0 ± 0.00	36.0 ± 0.00	54.35 ± 0.07	8.00 ± 2.55	81.30 ± 3.68	778.50 ± 4.90
S6	n.d.	n.d.	63.85 ± 0.07	1.60 ± 0.14	3.85 ± 0.07	34.00 ± 1.41
S9	110.5 ± 6.36	50.0 ± 1.41	55.15 ± 0.21	6.35 ± 0.21	33.80 ± 8.20	314.50 ± 3.12
S15	120.0 ± 1.41	40.5 ± 0.71	54.05 ± 0.07	4.00 ± 0.00	25.70 ± 7.35	127.00 ± 2.20
S17	154.0 ± 2.83	35.5 ± 0.71	54.75 ± 0.21	4.20 ± 1.70	26.90 ± 16.83	172.00 ± 3.60
S18	94.5 ± 0.71	38.5 ± 0.71	52.65 ± 0.07	3.55 ± 0.49	5.15 ± 0.35	64.00 ± 1.41

Tabella 5.10: Valori medi dei parametri del GlutoPeak (PMT e BEM) e del Farinografo (WA, DDT, ST e FQN) delle semole di grano duro analizzate. I valori sono espressi come media ± deviazione standard. n.d. = parametro non determinato.

La Tabella 5.10 riporta i valori medi dei parametri determinati mediante GlutoPeak (PMT e BEM) e Farinografo (WA, DDT, ST e FQN) nei campioni di semola analizzati.

I risultati ottenuti mediante GlutoPeak hanno evidenziato una marcata variabilità tra le semole analizzate. Il PMT è risultato compreso tra $94,5 \pm 0,7$ s (S18) e $184,0 \pm 0,0$ s (S5), mentre il BEM ha mostrato valori variabili da $35,5 \pm 0,7$ GPU (S17) a $50,0 \pm 2,8$ GPU (S9). Per la semola S6 non è stato possibile ottenere una curva analizzabile. In particolare, la semola S18 ha evidenziato il valore più basso di PMT ($94,5 \pm 0,7$ s) e uno dei valori più bassi di BEM ($36,5 \pm 0,7$ GPU), mentre S17 ha presentato il valore minimo di BEM ($35,5 \pm 0,7$ GPU). Tali risultati sono coerenti con quanto riportato da Marti et al. (2021), secondo cui bassi valori di PMT e BEM sono generalmente associati a ridotte proprietà di aggregazione del glutine e, di conseguenza, a una minore attitudine tecnologica alla produzione di pasta.

Per quanto riguarda i parametri ottenuti mediante Farinografo, il WA è risultato relativamente uniforme nella maggior parte dei campioni, con valori compresi tra $52,65 \pm 0,07\%$ (S18) e $55,85 \pm 0,07\%$ (S2), mentre la semola S6 ha evidenziato un valore sensibilmente superiore ($63,85 \pm 0,07\%$). Le differenze più marcate sono state osservate per DDT, ST e FQN. In particolare, la semola S5 ha presentato i valori più elevati di DDT ($8,00 \pm 2,55$ min), ST ($81,30 \pm 3,68$ min) e FQN ($778,5 \pm 4,9$), mentre S6 ha mostrato i valori più

bassi di DDT ($1,60 \pm 0,14$ min), ST ($3,85 \pm 0,07$ min) e FQN ($34,0 \pm 1,4$), indicando una minore stabilità dell'impasto durante l'impastamento.

Campione	PMT (s)	BEM (GPU)	WA (% a 500 FU)	DDT (min)	ST (min)	FQN
F1	122.5 ± 4.95	48.5 ± 0.71	56.50 ± 0.14	1.80 ± 0.14	4.85 ± 3.46	30.00 ± 0.00
F4	96.5 ± 0.71	58.0 ± 0.00	56.60 ± 0.00	5.40 ± 2.26	15.30 ± 0.42	150.00 ± 1.41
F7	92.0 ± 8.49	47.5 ± 2.12	56.00 ± 0.14	1.60 ± 0.14	1.75 ± 0.49	27.50 ± 4.95
F13	160.0 ± 7.07	55.5 ± 0.71	55.10 ± 0.14	2.15 ± 0.21	28.35 ± 0.49	281.00 ± 2.83
F14	57.5 ± 0.71	49.5 ± 6.36	58.15 ± 0.49	2.10 ± 0.14	6.55 ± 0.21	74.50 ± 2.12
F16	74.0 ± 1.41	48.0 ± 0.71	56.75 ± 0.35	1.95 ± 0.07	3.00 ± 0.00	35.00 ± 1.41

Tabella 5.11: Valori medi dei parametri del GlutoPeak (PMT e BEM) e del Farinografo (WA, DDT, ST e FQN) delle farine di frumento tenero analizzate. I valori sono espressi come media $\pm$ deviazione standard. n.d. = parametro non determinato.

La Tabella 5.11 riporta i valori medi dei parametri determinati mediante GlutoPeak (PMT e BEM) e Farinografo (WA, DDT, ST e FQN) nei campioni di farina analizzati.

I risultati ottenuti mediante GlutoPeak hanno evidenziato una marcata variabilità tra le farine analizzate. Il PMT è risultato compreso tra $57,5 \pm 0,7$ s (F14) e $160,0 \pm 7,1$ s (F13), mentre il BEM ha mostrato valori variabili da $47,5 \pm 2,1$ GPU (F7) a $58,0 \pm 0,0$ GPU (F4). In particolare, la farina F14 ha evidenziato il valore più basso di PMT ($57,5 \pm 0,7$ s), mentre F7 ha presentato il valore più basso di BEM ($47,5 \pm 2,1$ GPU). Tali risultati sono coerenti con quanto riportato da Marti et al. (2021), secondo cui bassi valori di PMT e BEM sono generalmente associati a ridotte proprietà di aggregazione del glutine e, di conseguenza, a una minore attitudine tecnologica alla produzione di pasta.

Per quanto riguarda i parametri ottenuti mediante Farinografo, il WA è risultato relativamente uniforme tra i campioni analizzati, con valori compresi tra $55,10 \pm 0,14\%$ (F13) e $58,15 \pm 0,49\%$ (F14). Le maggiori differenze sono state osservate per DDT, ST e FQN. In particolare, la farina F4 ha presentato il valore più elevato di DDT ($5,40 \pm 2,26$ min), mentre F7 ha mostrato il valore più basso ($1,60 \pm 0,14$ min). La farina F13 ha evidenziato i valori più elevati di ST ($28,35 \pm 0,49$ min) e FQN ($281,00 \pm 2,83$), mentre F7 ha registrato i valori più bassi ($1,75 \pm 0,49$ min e $27,50 \pm 4,95$, rispettivamente), indicando una minore stabilità dell'impasto durante l'impastamento.

I valori strumentali ottenuti sono stati confrontati con la classificazione qualitativa. In particolare, i punteggi medi dei due parametri elasticità e tenacità sono stati correlati con i principali parametri determinati mediante Glutomatic, GlutoPeak, Farinografo e Glutograph.

Strumento	Parametro	Elasticità	Tenacità
Glutomatic	Gluten Index	0.264 (p=0.36)	0.296 (p=0.30)
GlutoPeak	PMT	0.015 (p=0.95)	0.556 (p=0.04)
	BEM	0.172 (p=0.57)	0.375 (p=0.11)
Farinografo	WA	- 0.290 (p=0.31)	- 0.282 (p=0.21)
	DDT	- 0.129 (p=0.66)	0.608 (p=0.02)
	ST	- 0.290 (p=0.92)	0.624 (p=0.01)
Glutograph	GS	0.113 (p=0.70)	0.090 (p=0.75)

Tabella 5.12: Coefficienti di correlazione di Pearson (r) tra elasticità e tenacità del glutine valutate mediante metodo manuale e i parametri ottenuti con Glutomatic, GlutoPeak, Farinografo e Glutograph. Tra parentesi è riportato il valore di probabilità (p). I valori in grassetto indicano correlazioni statisticamente significative ($p < 0,05$).

La Tabella 5.12 riporta i coefficienti di correlazione di Pearson calcolati considerando l'insieme dei campioni analizzati (farine di frumento tenero e semole di grano duro).

Per il parametro elasticità non sono emerse correlazioni statisticamente significative con nessuno dei parametri strumentali considerati ($p > 0,05$), indicando una limitata associazione tra la valutazione manuale di questo attributo e le determinazioni ottenute mediante le diverse metodiche strumentali.

Diversamente, il parametro tenacità ha evidenziato correlazioni positive e statisticamente significative con il Peak Maximum Time (PMT) del GlutoPeak ($r = 0,556$; $p = 0,04$), con il tempo di sviluppo dell'impasto (DDT) ($r = 0,608$; $p = 0,02$) e con la stabilità dell'impasto (ST) ($r = 0,624$; $p = 0,01$). Non sono invece emerse correlazioni statisticamente significative con il Gluten Index, il parametro BEM del GlutoPeak, l'assorbimento d'acqua (WA) del Farinografo e il parametro GS del Glutograph ($p > 0,05$).

Le correlazioni osservate con il DDT e la stabilità risultano coerenti con il significato tecnologico di tali parametri, generalmente associati alla capacità dell'impasto di svilupparsi

e mantenere la propria consistenza durante l'impastamento (AbuHammad et al., 2012; Matsuo, 1982). Analogamente, la correlazione positiva con il PMT suggerisce che campioni caratterizzati da una maggiore tenacità richiedano un tempo maggiore per raggiungere il massimo sviluppo della rete glutinica durante l'analisi GlutoPeak, in accordo con quanto riportato da Marti et al. (2014).

Nel complesso, i risultati indicano che la tenacità valutata mediante metodo manuale risulta principalmente associata ai parametri che descrivono lo sviluppo e la stabilità dell'impasto, mentre l'elasticità non mostra relazioni statisticamente significative con le metodiche strumentali considerate.

I campioni di semola di grano duro e di farina di frumento tenero sono stati caratterizzati mediante il contenuto proteico, il contenuto di glutine secco e i principali parametri ottenuti dalle analisi del glutine (Gluten Index e Stretch) e dell'aggregazione proteica (PMT e BEM del GlutoPeak).

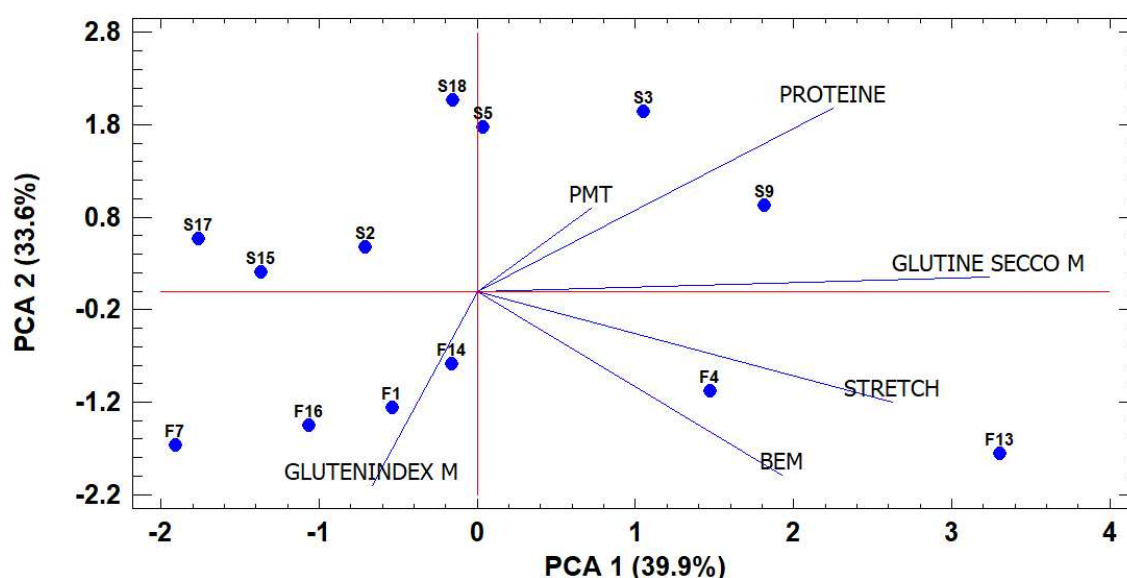


Figura 5.2: Biplot dell'Analisi delle Componenti Principali (PCA) ottenuto dai principali parametri chimico-fisici e tecnologici (proteine, glutine secco determinato con metodo manuale, Gluten Index, PMT, BEM e Stretch) delle semole di grano duro e farine di frumento tenero analizzate.

La Figura 5.2 riporta l'Analisi delle Componenti Principali (PCA) eseguita sui principali parametri utilizzati per la caratterizzazione del glutine. Le prime due componenti principali

spiegano complessivamente il 73,5% della variabilità totale, con PC1 e PC2 che rappresentano rispettivamente il 39,9% e il 33,6% della varianza.

L'analisi evidenzia una netta separazione tra i campioni di farina e di semola, principalmente lungo la seconda componente principale (PC2). Tale separazione è attribuibile soprattutto al contenuto proteico (loading = 0,52), al parametro BEM ottenuto mediante GlutoPeak (loading = -0,52) e al Gluten Index determinato mediante Glutomatic (loading = -0,55), che rappresentano le variabili con il maggiore contributo alla discriminazione tra le due tipologie di sfarinati.

All'interno di ciascun gruppo si osserva inoltre una dispersione dei campioni, indicativa della presenza di una variabilità tra gli sfarinati appartenenti alla stessa categoria. Ciò suggerisce che l'insieme dei parametri considerati sia in grado di evidenziare non solo le differenze tra farine e semole, ma anche le differenze qualitative esistenti all'interno di ciascun gruppo.

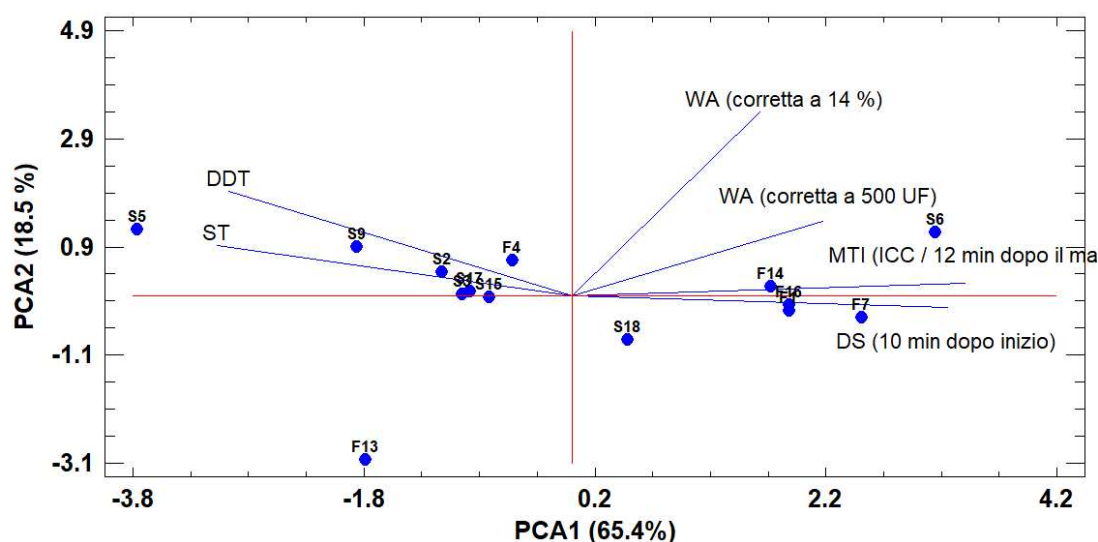


Figura 5.3: Biplot dell'Analisi delle Componenti Principali (PCA) ottenuto dai principali parametri farinografici (WA corretto al 14%, WA corretto a 500 FU, DDT, ST, DS e MTI) delle semole di grano duro e delle farine di frumento tenero analizzate.

La Figura 5.3 riporta l'Analisi delle Componenti Principali (PCA) eseguita sui principali parametri farinografici. Le prime due componenti principali spiegano complessivamente l'83,9% della variabilità totale, con PC1 e PC2 che rappresentano rispettivamente il 65,4% e il 18,5% della varianza.

L'analisi evidenzia che la prima componente principale (PC1) è descritta principalmente dai parametri MTI (loading = 0,492), DS (loading = 0,417), ST (loading = -0,445) e DDT (loading = -0,429). In particolare, DDT e ST risultano orientati nella stessa direzione, indicando una correlazione positiva tra i due parametri, mentre DS e MTI sono anch'essi

strettamente associati e orientati in direzione opposta. Ciò evidenzia come impasti caratterizzati da tempi di sviluppo e stabilità più elevati tendano a presentare un minore grado di rammollimento durante l'impastamento. La seconda componente principale (PC2) è invece influenzata principalmente dal parametro WA corretto al 14% (loading = 0,798). Per quanto riguarda la distribuzione dei campioni, la maggior parte delle semole si colloca nel semipiano negativo di PC1, in prossimità dei parametri DDT e ST, mentre la maggior parte delle farine si distribuisce nel semipiano positivo di PC1, in associazione con DS e MTI. La semola S6 rappresenta un'eccezione, collocandosi nel quadrante positivo di PC1 e PC2, in prossimità dei parametri WA, DS e MTI e in direzione opposta rispetto a DDT e ST. Tale posizione è coerente con il suo comportamento reologico, caratterizzato da un elevato assorbimento d'acqua e da ridotti valori di tempo di sviluppo, stabilità e FQN, che la distinguono dalle altre semole analizzate. Nel complesso, la PCA evidenzia una parziale differenziazione tra farine e semole sulla base delle loro proprietà reologiche, pur in presenza di alcune eccezioni.

6 Conclusioni

Questo lavoro sperimentale di tesi ha avuto l'obiettivo di caratterizzare campioni di semola di grano duro e farine di frumento tenero destinati alla produzione di pasta. A tale scopo, i campioni sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisiche per la determinazione delle principali caratteristiche compositive (umidità, ceneri, proteine, lipidi, granulometria, densità, contenuto di glutine e proprietà di pastificazione mediante RVA) e ad analisi tecnologiche mediante metodo manuale, Glutomatic, Glutograph, GlutoPeak e Farinografo, al fine di valutarne le proprietà associate all'attitudine alla pastificazione.

Particolare attenzione è stata rivolta alla determinazione della quantità e della qualità del glutine, uno dei principali parametri per la valutazione tecnologica degli sfarinati destinati alla produzione di pasta. La quantità di glutine è stata determinata mediante metodo manuale e Glutomatic, al fine di valutare l'influenza delle differenti modalità di sviluppo ed estrazione del glutine sul contenuto finale determinato. Inoltre, la valutazione qualitativa della tenacità e dell'elasticità del glutine ottenuta mediante metodo manuale è stata confrontata con i parametri forniti dal Glutograph, dal GlutoPeak e dal Farinografo.

Alla luce dei risultati ottenuti, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- 1) L'analisi chimico-fisica delle semole di grano duro e delle farine di frumento tenero ha evidenziato differenze significative tra le due tipologie di sfarinati. In particolare, le semole sono risultate caratterizzate da un maggiore contenuto proteico e in ceneri, da una maggiore densità apparente e da valori di Peak RVA inferiori rispetto alle farine, riflettendo le differenti caratteristiche compositive e tecnologiche delle due tipologie di sfarinati analizzate.
- 2) La quantità di glutine determinata è risultata influenzata dalle diverse modalità di sviluppo ed estrazione del glutine adottate dal metodo manuale e dal Glutomatic. In particolare, il metodo manuale, che utilizza la sola acqua per lo sviluppo e il lavaggio del glutine, e il Glutomatic, che impiega una soluzione di NaCl al 2%, hanno fornito risultati differenti nelle farine e nelle semole. Nelle farine, il metodo manuale ha generalmente fornito un contenuto di glutine superiore rispetto al Glutomatic (ad eccezione di un solo campione), con una differenza media di circa 3 punti percentuali. Nelle semole, invece, i due metodi hanno restituito valori medi complessivamente confrontabili, con differenze statisticamente significative limitate a cinque delle dodici determinazioni confrontabili.

- 3) La valutazione empirica della tenacità del glutine mediante metodo manuale si è dimostrata solo parzialmente rappresentativa delle proprietà tecnologiche valutate con le metodiche strumentali. In particolare, la tenacità è risultata correlata esclusivamente con alcuni parametri del GlutoPeak e del Farinografo, mentre non sono state osservate correlazioni significative con il Gluten Index né con i parametri ottenuti mediante Glutograph.
- 4) L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) ha evidenziato che le semole e le farine presentano differenti caratteristiche tecnologiche associate all'attitudine alla pastificazione. Inoltre, la distribuzione dei campioni ha mostrato un'elevata variabilità all'interno di entrambe le tipologie di sfarinati, confermando che tali caratteristiche dipendono anche dalle peculiarità del singolo campione.

Nel complesso, i risultati ottenuti, pur mostrando in diversi casi una buona concordanza con quanto riportato in letteratura, hanno evidenziato anche alcune discrepanze tra le metodiche considerate. Il confronto tra i diversi metodi analitici, finalizzato a individuare eventuali correlazioni tra i parametri misurati e a valutarne la capacità di caratterizzare le proprietà tecnologiche degli sfarinati, non ha consentito di identificare una metodica univocamente rappresentativa della qualità del glutine.

I risultati ottenuti suggeriscono che nessuna delle metodiche considerate sia, singolarmente, sufficiente a descrivere in maniera esaustiva le proprietà tecnologiche degli sfarinati. Ciascun metodo fornisce infatti informazioni complementari e la loro integrazione, secondo un approccio olistico, consente una caratterizzazione più completa della qualità del glutine e del comportamento tecnologico degli sfarinati.

Ulteriori studi saranno necessari per approfondire l'influenza delle differenti modalità di sviluppo ed estrazione del glutine sulla quantità determinata, valutando in particolare l'effetto dell'impiego della sola acqua o di una soluzione di NaCl al 2% durante l'analisi.

Sarà inoltre opportuno correlare i parametri ottenuti mediante le diverse metodiche con la qualità della pasta prodotta, al fine di individuare gli indicatori maggiormente rappresentativi dell'attitudine alla pastificazione degli sfarinati.

Bibliografia

AbuHammad, W.A., Elias, E.M., Manthey, F.A., Alamri, M.S. & Mergoum, M. (2012). A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2567–2575.

Cecchini, C., Bresciani, A., Menesatti, P., Pagani, M.A. & Marti, A. (2021). Assessing the Rheological Properties of Durum Wheat Semolina: A Review. *Foods*, 10, 2947.

Cesevičienė, J. & Butkutė, B. (2011). Comparison of Gluten Parameters When Gluten Is Determined by the Glutomatic and Hand Washing Methods. *Proceedings of the 6th International Congress Flour-Bread '11*, 180–189.

Chaurand, M., Empereur, I., Roulland, T.M., Autran, J.C. & Abecassis, J. (1999). Genetic and Agronomic Effects on Semolina Milling Value of Durum Wheat. *Crop Science*, 39(3), 790–795.

Czaja, T., Sobota, A. & Szostak, R. (2020). Quantification of Ash and Moisture in Wheat Flour by Raman Spectroscopy. *Foods*, 9(3), 280.

Dapčević Hadnađev, T., Pojić, M., Hadnađev, M. & Torbica, A. (2011). The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control. In: S. Akyar (Ed.), *Wide Spectra of Quality Control*. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 335–360.

Delcour, J.A., Joye, I.J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K. & Lagrain, B. (2012). Wheat Gluten Functionality as a Quality Determinant in Cereal-Based Food Products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 469–492.

Dobraszczyk, B.J. (2001). The Physics of Baking: Rheological and Polymer Molecular Structure–Function Relationships in Breadmaking. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 124, 61–69.

Dziki, D. (2023). The latest innovations in wheat flour milling: A review. *Agricultural Engineering*, 27(1), 147–162.

Edwards, N.M., Mulvaney, S.J., Scanlon, M.G. & Dexter, J.E. (2003). Role of Gluten and Its Components in Determining Durum Semolina Dough Viscoelastic Properties. *Cereal Chemistry*, 80(6), 755–763.

Flagella, Z. (2006). Qualità nutrizionale e tecnologica del frumento duro. *Italian Journal of Agronomy*, 1, 203–239.

Fu, B.X., Sapirstein, H.D. & Bushuk, W. (1996). Salt-Induced Disaggregation/Solubilization of Gliadin and Glutenin Proteins in Water. *Journal of Cereal Science*, 24, 241–246.

Ionescu, V., Stoenescu, G., Vasilean, I., Aprodu, I. & Banu, I. (2010). Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI – Food Technology*, 34(2), 44–48.

Kaplan Evlice, A., Pehlivan, A., Sanal, T., Salantur, A., Kilic, G., Dugan, G., Boyaci, I.H. & Koksels, H. (2020). Utilization Potential of Glutograph in Wheat Breeding Programs and the Influence of Genotype and Environment on Bread Wheat Quality. *Cereal Chemistry*, 97, 634–641.

Keran, H., Salkić, M., Odobašić, A., Jašić, M., Ahmetović, N. & Šestan, I. (2009). The Importance of Determination of Some Physical-Chemical Properties of Wheat and Flour. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(3), 197–200.

Marti, A., Cecchini, C., D'Egidio, M.G., Dreisoerner, J. & Pagani, M.A. (2014). Characterization of Durum Wheat Semolina by Means of a Rapid Shear-Based Method. *Cereal Chemistry*, 91(6), 542–547.

Miś, A. (2000). Some Methodological Aspects of Determining Wet Gluten Quality by the Glutomatic Method. *International Agrophysics*, 14, 263–267.

Romano, A., Ferranti, P., Gallo, V. & Masi, P. (2021). New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high quality dried pasta. *Current Opinion in Food Science*, 41, 249–259.

Sgrulletta, D. & De Stefanis, E. (2002). Il colore nella filiera del frumento duro. In A. Raggi & C. Oleari (a cura di), *Atti di Colorimetria 2002. Atti dei convegni del 2001 e 2002* (pp. 91–98). Società Italiana di Ottica e Fotonica (SIOF).

Sissons, M. (2008). Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread. *Food*, 2(2), 75–90.

Sissons, M. (2016). GlutoPeak: A Breeding Tool for Screening Dough Properties of Durum Wheat Semolina. *Cereal Chemistry*, 93(6), 550–556.

Troccoli, A., Borrelli, G.M., De Vita, P., Fares, C. & Di Fonzo, N. (2000). Durum Wheat Quality: A Multidisciplinary Concept. *Journal of Cereal Science*, 31, 99–113.

Van der Borght, A., Goesaert, H., Veraverbeke, W.S. & Delcour, J.A. (2005). Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*, 41(3), 221–237.

Wang, K., Dupuis, B. & Fu, B.X. (2017). Gluten Aggregation Behavior in High-Shear-Based GlutoPeak Test: Impact of Flour Water Absorption and Strength. *Cereal Chemistry*, 94(5), 909–915.

Wieser, H. (2007). Chemistry of Gluten Proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119.

Wieser, H., Koehler, P. & Scherf, K.A. (2022). Chemistry of Wheat Gluten Proteins: Qualitative Composition. *Cereal Chemistry*, 100, 23–35.

Normativa e metodi ufficiali

AACC International. (1962). *Approved Methods of Analysis*, Method 38-10.01. Gluten Hand Washing Method. St. Paul, MN, USA: AACC International.

AACC International. (1995). *Approved Methods of Analysis*, Method 38-12.02. *Wet Gluten and Gluten Index*. Final approval November 8, 1995; Reapproved November 3, 1999. St. Paul, MN, USA: AACC International.

AACC International. (1983). *Approved Method 44-10. Moisture Determination*. In: *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. St. Paul, MN, USA: AACC International.

AACC International (1999). *Approved Method 54-21.01. Farinograph Method for Flour*. St. Paul, MN, USA.

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.

ICC. (1995). *Standard No. 158. Gluten Index Method for Assessing Gluten Strength in Durum Wheat (Triticum durum)*. Vienna, Austria: International Association for Cereal Science and Technology.

ICC. (1992). *Standard No. 115/1. Method for Using the Brabender Farinograph*. Vienna, Austria: International Association for Cereal Science and Technology.