



**Università
degli Studi
di Ferrara**

Corso di Laurea Magistrale in
Biotecnologie Agrarie per la Filiera Agro-alimentare
Dipartimento di Scienze Chimiche, Farmaceutiche ed Agrarie

**METODOLOGIE BASATE SU MICRO VISCO-
AMILOGRAFO E FARINOGRAFO BRABENDER® PER
LA CARATTERIZZAZIONE DI MATERIE PRIME, CON
E SENZA GLUTINE, ADATTE ALLA PASTIFICAZIONE**

**METHODS BASED ON BRABENDER® MICRO
VISCO-AMYLOGRAPH AND FARINOGRAPH FOR
CHARACTERIZATION OF RAW MATERIALS, WITH AND
WITHOUT GLUTEN, SUITABLE FOR PASTA-MAKING**

Relatore: Prof. Nicola Marchetti

Laureanda: Alessia Lolli

Correlatrice: Dott.ssa Linda Polastri

Matricola: 147441

Anno Accademico: 2022/2023

EXTENDED ABSTRACT

The widespread global popularity of pasta can be attributed to its convenience, extensive distribution, versatility, extended shelf-life and, last but not least, its nutritional properties.

Despite durum wheat semolina being recognized as the ideal raw material to produce conventional dry pasta, in recent years soft wheat flours and flours without gluten-forming proteins (e.g., grains other than durum wheat or legumes) have been used for particular pasta's formulations. Non-conventional pasta (e.g., gluten-free) is being consumed not only by the growing number of celiacs, but also by other-conscious consumers who wish to obtain nutritional benefits deriving from these alternative raw materials.

Cereals and *pulses* – the edible seeds of plants in the legume family – are primary constituent in the human diet and can greatly contribute to improve the food security in Low Income Countries as they are highly nutritious and cultivated worldwide. Even though they can be used to enhance nutritional quality of pasta, the replacement of durum wheat semolina is still a challenge for the scientific community and the food industry since the alternative raw materials affect pasta's technological and sensory properties.

The objective of the present work is to evaluate the possibility of using flours other than durum wheat in the development of dry gluten-free pasta.

In order to compare the performance of traditional and non-traditional raw materials, it was decided to include in the study five samples of soft wheat flours having different quality. Nevertheless, the majority of the research activities has been conducted over seven gluten-free flours for gluten-free pasta:

- Three cereal flours – rice, yellow maize, and white maize – as they are low-cost raw material due to their market value and large-scale production.
- Four legume flours – red lentils, yellow lentils, yellow peas, and green peas – since they have higher concentration of dietary fibre and proteins, rich in essential amino acids, so they can enhance the protein profile of unconventional pasta.

Moreover, the addition of small quantities of emulsifiers (from 0.5% to 1% w/w) is common in pasta industries because they act as lubricant in the extrusion process, allowing a better detachment of pasta from the die plate. Additives can also significantly influence the rheological behaviour of flours. Hence, gluten-free flours have been added and tested after the addition of three different concentrations of mono- and diglycerides of fatty acids (E471).

All the methods used to evaluate gluten-free flours and their chemical-physical and rheological properties have been developed during a period of training and internship at Fava S.p.A. company. Mainly, two rheological measures have been obtained by using the Brabender[®] Micro Visco-Amylograph (MVAG) and the Brabender[®] Farinograph instruments: MVAG was employed for the determination of the viscosity of starch throughout the gelatinization and retrogradation process; Farinograph was used to study dough's rheological properties.

Alternative raw flours that do not contain gluten-forming proteins cannot meet the requirements for pasta food processing because their proteins are not able to form the viscoelastic protein network. Thus, the structural and nutritional properties of gluten-free pasta are related both to the organization of raw-material native starch and to starch modification promoted by hydro-thermal and mechanical events occurring during the pasta-making process.

The approach herein used to study the overall rheological properties of starch contained in flours is via its *pasting profile*, measured using MVAG. In the analysis, samples are processed through a defined heating and cooling program, and the viscosity (torque, BE) is recorded as a function of temperature (Celsius degrees, °C) and time (minutes, min).

According to the developed method, a flour aliquot of 10 g is dispersed in 100 ml of distilled water, scaling both flour and water weight on 14% flour moisture basis. The suspensions are stirred at 250 rpm and heated according to the following temperature profile:

- I. Heating from 30°C up to 95°C in roughly 43 min;
- II. Holding at 95°C for 15 min;
- III. Cooling from 95°C to 30°C in roughly 43 min;
- IV. Holding at 30°C for 1 min.

The heating/cooling rate is 1.5°C/min, which leads to a total analysis time of about 1.40 hours.

The resulting Micro Visco-Amylographic allows the estimation of the following indices:

- Time (min) and temperature (°C) at the beginning of gelatinization: time and temperature at which an initial increase in viscosity occurs;
- Peak viscosity (BE): maximum paste viscosity achieved during the heating cycle;
- Breakdown (BE): the difference between the peak viscosity and the viscosity after the holding period; it is the index of starch resistance to heat and shear;
- Setback (BE): the difference between the final viscosity and the viscosity before the beginning of the cooling phase; it is the index of starch tendency to reassociate.

This temperature program promotes starch modifications. After heating to above the gelatinization temperature, starch granules lose their crystalline structure, absorb water, swell, and develop significant viscosity due to solubilization of amylose outside the granules. After their gelatinization, during cooling phase, starch granules undergo retrogradation that involves the starch chains to reassociate in an ordered structure and water release. Although starch retrogradation is often considered to have undesirable effect in baking, it positively affects the structure and the final quality of gluten-free pasta.

Actually, the ideal raw material for gluten-free pasta products should contain starch with a marked tendency to gelatinize and retrograde: this property assures good cooking behaviour in terms of texture and low cooking-loss. The results suggest that legume flours have lower gelatinization and retrogradation properties compared to cereal flours due to its lower starch content. Consequently, cereal flours are more commonly used in gluten-free pasta production.

Moreover, the results show that the presence of non-polysaccharide material at or near the granule's surface has an impact on starch *pasting properties*. Both proteins and lipids have a significant role in determining the properties of starch and starch-based food. The analysis show that starches that swell slowly, contain more protein and lipid than starches presenting a faster swelling. Also, results indicate that the addition of emulsifiers (E471) to gluten-free flours retards starch retrogradation, regardless of the percentage added (0.5% - 0.8% - 1% w/w).

A possible interpretation of these results leads to the assumption that proteins form a layer around the starch granules, forming a barrier and limiting the hydration of the starch granules.

Thus, the diffusion of water into starch granules is hindered and the gelatinization onset is delayed. Besides, since starch gelatinization is influenced by the water availability, a further explanation for the observed results could be a competitive hydration of proteins and starch.

Otherwise, the effect of lipids can be interpreted in a different way. Lipids can interact with starch to form inclusion complexed by entrapment in the amylose helical cavity. The results reveal that complexation with lipids reduces the solubility of starch in water, decreases swelling capacity, increases gelatinization temperature, and slows down amylose retrogradation.

Furthermore, the *pasting properties* of gluten-free flours can be influenced by other factors such as starch granule size and structure, amylose/amylopectin ratio or native alpha-amylase activity. The impact of these characteristics on starch modification during hydro-thermal process and, consequently, the suitability of gluten-free flours for pasta making, could be a subject for future research.

Other properties of flours have been investigated by studying dough's characteristics using the Farinograph. The instrument is typically used to measure the mixing behaviour of wheat flour – water systems, resulting in the determination of water absorption (WA), which is the amount of water that is added to a defined quantity of flour to achieve a 500 FE (Farinograph Equivalent) consistency. In addition to water absorption, the instrument also provides information on the mixing stability of the dough and dough development time.

Even if the Farinograph is commonly used in gluten-forming flours, the growing interest in gluten-free pasta suggests the need for developing a method for monitoring and/or predicting the mixing properties of gluten-free flours.

The lack of gluten-forming proteins, their sticky consistency, and the fact that gluten-free doughs are not homogeneous make not possible the determination of water absorption to reach the optimal consistency. For this reason, it has been decided to hydrate each gluten-free flour at 50% and compare the resulted Farinograms. In the analysis, 100 ml of water added to 200 g flour (14% flour moisture basis) equates to 50% WA. Analysis lasts 15 min.

Despite it all, the experiments provide promising results regarding how the addition of E471 to gluten-free flours affect their dough rheology. Legume flours added with mono- and diglycerides of fatty acids show a lower consistency value than the cereal ones. This result leads to the conclusion that the percentage of E471 added to gluten-free flours fluctuate between 0.5% and 1%, depending on the raw material. In fact, gluten-free flours with a good lipid content, such as legumes, can be processed without adding E471 since lipids are naturally present in raw material.

The methods developed in this preliminary study provide valuable insights into starch *pasting properties* and dough's characteristics. This especially important since there is not a wealth of knowledge about how to analyse unconventional raw materials using Brabender[®] Micro Visco-Amylograph and Farinograph. The two developed methods can be further optimized.

Moreover, if combined with the analysis of other starch characteristics, these methods can be used to obtain a more complete dataset and to better understand the behaviour of gluten-free flours in pasta production. However, further studies are still needed to improve our knowledge in this field.

INDICE

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	11
1.1. L'evoluzione della pasta secca	11
1.2. Materie prime non convenzionali e pastificabili: cereali e <i>pulses</i>	12
1.3. Principali costituenti dei cereali e il loro ruolo in pastificazione	14
1.3.1. Proteine	14
1.3.2. Amido	15
CAPITOLO 2: SCOPO DEL LAVORO	17
CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI	19
3.1. Campioni analizzati	19
3.2. Analisi Micro Visco-Amilografica (MVAG)	23
3.2.1. <i>Pasting properties</i> e meccanismo molecolare	23
3.2.2. Metodo di analisi	26
3.2.3. Interpretazione dei risultati	27
3.3. Analisi Farinografica	30
3.3.1. Metodo di analisi	31
3.3.2. Interpretazione dei risultati	31

3.4.	Analisi rapida dell'umidità	33
3.5.	Analisi del Falling Number	34
3.6.	Analisi automatica del glutine	36
3.7.	Analisi colorimetrica	38
3.8.	Analisi della quantità di amido danneggiato	39
 CAPITOLO 4: RISULTATI E DISCUSSIONE		 41
4.1.	Risultati dell'analisi su farine di grano tenero	41
4.1.1.	Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®	41
4.1.2.	Risultati al Farinografo Brabender®	44
4.1.3.	Risultati di analisi addizionali: umidità – Falling Number – quantità e qualità di glutine – colore – amido danneggiato	46
4.2.	Risultati dell'analisi su farine gluten-free	48
4.2.1.	Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®	48
4.2.2.	Risultati al Farinografo Brabender®	52
4.3.	Risultati dell'analisi su farine gluten-free addizionate con E471	55
4.3.1.	Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®	55
4.3.2.	Risultati al Farinografo Brabender®	64

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE 71

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 75

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

1.1. L'evoluzione della pasta secca

La pasta è uno degli alimenti base più comuni e apprezzati in tutto il mondo per le sue caratteristiche nutrizionali e sensoriali, oltre che per la sua praticità, versatilità, basso costo e lunga shelf-life (fino a tre anni grazie all'umidità generalmente inferiore a 12,5%).

L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) e la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) hanno descritto la pasta come un alimento sano, sostenibile e di qualità. Inoltre, nel 2010, l'UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) ha dichiarato la pasta patrimonio culturale immateriale dell'umanità.

Secondo l'ultimo report dell'IPO (International Pasta Organization), nel 2021 sono stati prodotti circa 16,9 milioni di tonnellate di pasta nel mondo. Il principale produttore è l'Italia, seguita da Stati Uniti, Brasile, Turchia e Russia. Gli italiani sono anche i principali consumatori di pasta, con 23,1 kg pro-capite all'anno, seguiti da tunisini (17 kg), venezuelani (12 kg) e greci (11,4 kg).

Secondo la Legge Italiana, la *pasta secca* deve essere prodotta con acqua e semola di grano duro (*Triticum durum Desf.*). Sebbene nel resto del mondo (ad eccezione di Francia e Grecia) il grano tenero (*Triticum aestivum L.*) possa essere utilizzato per la produzione di pasta, è noto che solo la semola di grano duro può garantire la migliore qualità del prodotto in termini di proprietà reologiche dell'impasto, qualità in cottura e accettabilità da parte del consumatore.

La pasta – e il settore della pasta in senso più ampio – pur essendo considerata un “prodotto tradizionale italiano”, ha saputo evolversi negli anni per soddisfare le esigenze del consumatore e del mercato che, dall'Italia, si è allargato in tutto il mondo arrivando a diventare un “prodotto di successo internazionale”. Le diverse formulazioni di pasta presenti oggi sul mercato – paste integrali, multicereali, gluten-free, di legumi o arricchite con fibre – sono esempi di innovazione di prodotto. L'interesse dei consumatori per queste nuove tipologie di pasta ha determinato l'evoluzione del settore della pasta negli ultimi quarant'anni, schematizzata in Figura 1.1.

Ad oggi, però, l'assenza di proteine formanti glutine nella pasta gluten-free e nella pasta di legumi rappresenta una sfida importante per la scienza degli alimenti e per l'industria, poiché le materie prime non convenzionali hanno scarse proprietà tecnologiche e influenzano la qualità organolettica del prodotto finito. Per la produzione di prodotti di alta qualità occorrono, quindi, lavorazioni adeguate e formulazioni equilibrate.

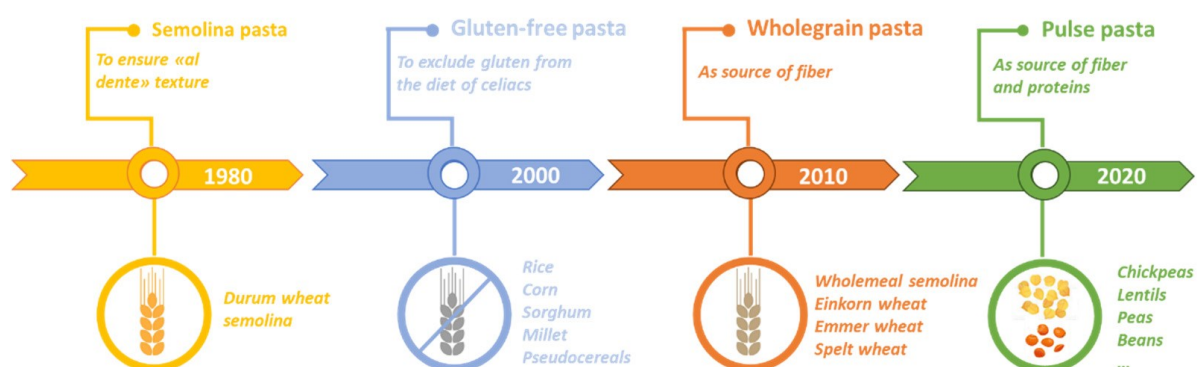


Figura 1.1: Evoluzione della pasta secca negli ultimi quarant'anni

1.2. Materie prime non convenzionali e pastificabili: cereali e *pulses*

Con il termine *cereale* si fa riferimento ad un insieme di specie erbacee, appartenenti alla famiglia delle Graminacee (monocotiledoni), che producono semi amidacei, farinosi, commestibili – definiti *cariossidi* – e dalla cui macinazione si ottiene farina. Per secoli queste piante sono state la quota più importante dell'alimentazione umana e, negli ultimi 10 anni, la FAO ha registrato un aumento costante della loro produzione legato ad una richiesta sempre maggiore degli alimenti da essi derivati. I cereali possono essere suddivisi in funzione del contenuto di glutine. I principali cereali contenenti glutine sono frumento duro e frumento tenero; mentre i principali cereali senza glutine sono riso, mais, avena, miglio o sorgo.

Le *leguminose da granella* costituiscono la seconda più importante fonte alimentare per l'uomo e sono considerati “*superfood*” per la loro elevata composizione nutrizionale; essi forniscono, infatti, una moltitudine di benefici per la salute grazie al loro apporto di micro- e macronutrienti.

Non tutte le leguminose sono leguminose da granella. La FAO identifica con il termine *pulses* le leguminose da granella che vengono coltivate per la raccolta di semi allo stato essiccato, che sono supplementari ai cereali come fonte di proteine per l'alimentazione. Secondo la lista FAO, sono considerati *pulses* le seguenti materie prime: fagioli, piselli, lenticchie, ceci, lupini e altri legumi minori.

La Tabella 1.1 confronta i valori dei principali macronutrienti di cereali e legumi.

Tabella 1.1: Macro-componenti dei principali cereali e legumi a confronto (valori per 100g di porzione edibile). nd: non disponibile. USDA's National Nutrient Database for Standard Reference

	Energia (kcal)	Proteine (g)	Lisina (g)	Carboidrati (g)	Amido (g)	Fibra (g)
Cereali:						
Frumento duro	341	13	0,4	78	53	2
Frumento tenero	341	12	0,4	80	56	2
Avena	378	17	0,7	66	59	7
Mais	341	9	1	74	65	3
Miglio	343	11	0,2	73	nd	8
Riso	332	7	0,5	79	72	1
Sorgo	359	11	0,2	72	nd	7
Pulses:						
Cece	332	21	1,4	40	nd	nd
Fagiolo	309	24	1,3	48	40	17
Lenticchia	324	24	1,7	45	44	17
Lupino	309	34	1,9	11	nd	35
Pisello	310	23	1,8	38	nd	22

I cereali sono un'importante fonte di carboidrati, presenti per la maggior parte sotto forma di amido. Rispetto ai cereali, i legumi possono essere considerati un prodotto a basso contenuto energetico, ma un eccellente fonte di fibre alimentari e proteine, con un profilo amminoacidico più equilibrato e ricco in amminoacidi essenziali, tra cui la lisina.

Come emerge dai dati FAO, riportati in Tabella 1.2, cereali e legumi sono ampiamente coltivati in tutto il mondo, ricoprendo un importante impatto socio-economico sia nei Paesi Sviluppati che in quelli in Via di Sviluppo.

Tabella 1.2: Quantità prodotta e area coltivata di cereali e pulses a confronto (FAOSTAT 2021).

Area	Cereali		Pulses	
	Produzione (tonnellate)	Area coltivata (Ha)	Produzione (tonnellate)	Area coltivata (Ha)
Unione Europea	297.366.230	52.480.180	4.475.458	2.123.658
Paesi in Via di Sviluppo	234.300.277	111.177.387	19.763.559	25.097.719

1.3. Principali costituenti dei cereali e il loro ruolo in pastificazione

Proteine e amido sono i principali costituenti dei cereali che cooperano nel determinare la qualità nutrizionale e il valore tecnologico/reologico della farina e dei prodotti alimentari derivati. Polisaccaridi non amidacei, lipidi, minerali e vitamine sono componenti minori.

1.3.1. Proteine

Tra le proteine presenti nei cereali, gliadine e glutenine ricoprono il ruolo più importante dal punto di vista tecnologico poiché sono responsabili della formazione del glutine. La condizione necessaria per la formazione del glutine, oltre all'energia meccanica fornita con l'impastamento, è la presenza di acqua (Figura 1.2).

- Le gliadine sono proteine monomeriche, solubili in soluzioni alcoliche. Sono responsabili della viscosità e dell'estensibilità del glutine, ovvero della capacità di deformarsi senza rompersi.

- Le glutenine sono proteine polimeriche, costituite da numerose catene legate tra di loro e che si distinguono in: subunità ad alto peso molecolare (High Molecular Weight – HMW) e subunità a basso peso molecolare (Low Molecular Weight – LMW). Sono solubili in soluzioni acide e in grado di formare complessi con i lipidi. Sono responsabili della tenacità e dell’elasticità del glutine, ovvero della capacità di mantenere la propria forma se sottoposto a stress meccanici.

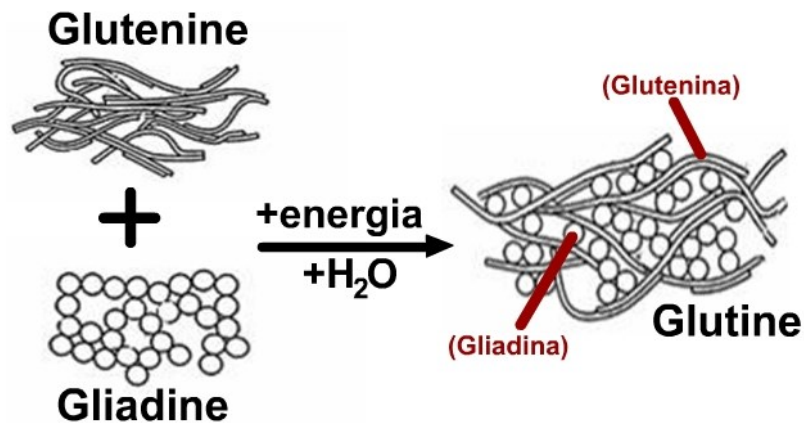


Figura 1.2: Rappresentazione della formazione del glutine

Nella produzione di pasta, un rapporto gliadine/glutenine a favore delle seconde è vantaggioso: questo porta ad ottenere un glutine molto tenace, poco estensibile e, quindi, una pasta con un migliore comportamento in cottura: l’amido, infatti, viene trattenuto dalla maglia glutinica riducendo il rilascio di solidi in cottura e la conseguente collosità della pasta.

1.3.2. Amido

Nella pasta gluten-free, in mancanza delle proteine formanti il glutine, è la frazione amidacea la maggiore responsabile delle proprietà strutturali e nutrizionali del prodotto finito. Dal punto di vista chimico, l’amido è una miscela di due polimeri del glucosio, amilosio e amilopectina, che differiscono nella lunghezza delle catene e nel grado di ramificazione (Figura 1.3).

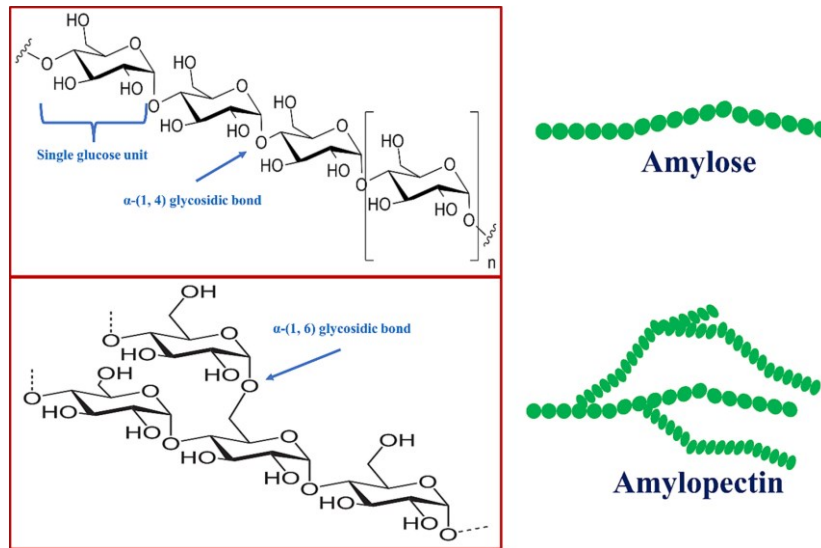


Figura 1.3: Composizione dell'amido, caratterizzato da molecole di amilosio e amilopectina

- L'amilosio è una lunga molecola lineare con unità di D-glucosio unite mediante legami α -1,4 glicosidici. È costituito da 200 – 2000 residui di glucosio e ha un basso peso molecolare ($10^5 - 10^6$ g/mol). È caratterizzato da un'elevata tendenza ad associarsi; forma complessi con gli emulsionanti e risulta essere parzialmente solubile in acqua.
- L'amilopectina è il componente predominante degli amidi, rappresentando il 70 – 80%, e ha un peso molecolare più elevato ($10^7 - 10^8$ g/mol) rendendola da uno a tre ordini di grandezza maggiore dell'amilosio. È costituita da corte catene di unità di D-glucosio legate da legami α -1,4 glicosidici e collegate tra loro attraverso legami α -1,6, formando una struttura altamente ramificata. Ogni ramificazione dell'amilopectina è costituita da 20 – 25 unità lineari di glucosio; tuttavia, la lunghezza e il grado di polimerizzazione delle catene varia a seconda della fonte botanica di amido. Ha una bassa tendenza ad associarsi; mostra bassa capacità di interazione con emulsionanti e risulta essere insolubile in acqua.

I rapporti tra amilosio e amilopectina variano a seconda della fonte botanica e influiscono sulle proprietà funzionali dell'amido e sulla sua digeribilità. Gelatinizzazione e proprietà reologiche sono le principali proprietà funzionali dell'amido per determinarne le applicazioni.

CAPITOLO 2: SCOPO DEL LAVORO

La possibilità di utilizzare materie prime diverse dalla semola di grano duro nella produzione di pasta secca non convenzionale e di elevata qualità è un argomento di estremo interesse dal punto di vista sia industriale e tecnologico che scientifico. Farine provenienti da materie prime alternative, infatti, possono essere usate per la produzione di pasta laddove la semola non è disponibile o il costo di quest'ultima diventa un fattore limitante, come accade nei Paesi in Via di Sviluppo.

A tal proposito, per migliorare la qualità alimentare e nutrizionale degli alimenti prodotti nei Paesi in Via di Sviluppo, tenendo conto della loro situazione economica, si sfruttano materie prime pastificabili come il grano tenero, interessante grazie al suo basso costo e alla sua elevata produzione e diffusione, oppure materie prime locali come mais e riso fra i cereali, nonché pulses come lenticchia, pisello, cece o fagiolo.

La pasta secca non convenzionale sta assumendo una rilevanza sempre maggiore anche nel mercato dei Paesi Sviluppati. Negli ultimi anni si sta assistendo ad una crescente produzione e diffusione della pasta gluten-free dovuta non solo all'aumento del numero di individui celiaci, ma anche di coloro che desiderano acquistare alimenti con un profilo nutrizionale modificato rispetto alla pasta convenzionale, e ottenuto proprio dall'impiego di tali materie prime non tradizionali. Oltretutto, lo sviluppo della ricerca e dell'industria in questo settore si rende necessario per favorire la sostenibilità ambientale, sociale ed economica, soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici che potrebbero limitare la disponibilità del grano duro e/o deteriorarne la qualità.

Sebbene lo sviluppo della pasta gluten-free offra grandi opportunità di mercato per i produttori di alimenti, la sostituzione della funzionalità del glutine rappresenta ancora una sfida tecnologica importante per la comunità scientifica e per l'industria, che deve essere affrontata per ottenere un prodotto finale non convenzionale di buona o elevata qualità organolettica.

Diversamente da quanto accade per il pane o per altri alimenti, non esistono ancora delle metodologie standardizzate per valutare l'attitudine di una materia prima alla pastificazione.

L'obiettivo del presente lavoro è, dunque, quello di sviluppare delle metodologie analitiche per valutare la possibilità di impiego di alcune materie prime non convenzionali nella produzione di pasta secca. A tale scopo, è stato caratterizzato il comportamento di diverse farine attraverso analisi chimico-fisico e reologiche.

Il lavoro si articola in due parti.

La prima fase ha previsto un confronto tra cinque farine di grano tenero 00 di differente qualità. Ogni farina è stata analizzata al Micro Visco-Amilografo Brabender® (MVAG) per misurare le proprietà di gelatinizzazione dell'amido, e al Farinografo Brabender® per valutare le caratteristiche dell'impasto. Inoltre, per un profilo più completo delle proprietà delle farine, sono stati analizzati anche altri parametri composizionali e nutrizionali quali umidità, Falling Number, qualità e quantità di glutine che si forma durante l'impasto, colore e quantità di amido danneggiato.

Nella seconda fase sono state caratterizzate sette diversi tipi di farine gluten-free, con l'obiettivo di ricercare quelle più adatte al processo di pastificazione. Nello specifico, sono state analizzate tre farine di cereali (riso, mais bianco e mais giallo) in quanto cereali prodotti su larga scala e poco costosi considerando il loro valore di mercato, e quattro farine di legumi (lenticchia rossa, lenticchia gialla, pisello verde e pisello giallo) poiché materie prime ad elevato tenore proteico. Tali farine sono state analizzate sia tal quali, ovvero senza l'aggiunta di additivi, sia addizionate con differenti percentuali di un emulsionante, il mono- e digliceride degli acidi grassi E471, per valutare il suo effetto in fase di gelatinizzazione, retrogradazione e impastamento.

I metodi usati per analizzare le farine gluten-free sono stati sviluppati durante un periodo di formazione e stage presso il laboratorio R&D dell'azienda Fava S.p.A. con sede a Cento (FE).

CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI

La letteratura disponibile circa le analisi per la caratterizzazione di materie prime non convenzionali e adatte alla pastificazione è molto limitata. Di seguito vengono descritte le metodologie sviluppate per valutare la possibilità di impiego di alcune materie prime nella produzione di pasta.

3.1. Campioni analizzati

Per avere un confronto tra materie prime convenzionali e materie prime gluten-free, sono stati fatti dei test preliminari su cinque farine di grano tenero 00 di differente qualità, presentate in Figura 3.1. La Tabella 3.1 riporta i codici dei campioni e il molino fornitore delle materie prime.



Figura 3.1: Campioni di farine di grano tenero

Tabella 3.1: Codici dei campioni di farine di grano tenero

Materia prima	Codice Campione	Fornitore
Farina Azzurra	23MP00031	Molino Pivetti
Farina Gialla	23MP00032	Molino Pivetti
Farina Granito	23MP00033	Molino Pivetti
Farina Verde	23MP00034	Molino Pivetti
Farina Rosa	23MP00035	Molino Pivetti

Nella seconda parte del lavoro, è stato fatto un confronto tra sette diverse farine gluten-free. Sono state scelte tre farine di cereali – riso, mais bianco e mais giallo – e quattro farine di legumi – lenticchia rossa, lenticchia gialla, pisello giallo e pisello verde – presentate in Figura 3.2. La Tabella 3.2, invece, riporta i codici dei campioni e i molini fornitori di tali farine.



Figura 3.2: Campioni di farine gluten-free

Tabella 3.2: Codici dei campioni di farine gluten-free

Materia prima	Tipologia di Materia Prima	Codice Campione	Fornitore
Farina di Riso	Cereali	23MP00036	Padovana Macinazione
Farina di Mais Bianco		23MP00037	Molino Martino Rossi
Farina di Mais Giallo		23MP00038	Molino Martino Rossi
Farina di Lenticchie Rosse	Pulses	23MP00039	Padovana Macinazione
Farina di Lenticchie Gialle		23MP00040	Molino Martino Rossi
Farina di Piselli Gialli		23MP00041	Molino Martino Rossi
Farina di Piselli Verdi		23MP00042	Padovana Macinazione

Nella terza e ultima parte della ricerca, le sette farine gluten-free sono state analizzate dopo l'aggiunta di tre differenti percentuali di mono- e digliceride degli acidi grassi E471 (Figura 3.3), spesso usato nell'industria alimentare. Questo additivo viene addizionato in piccole percentuali – comprese fra 0.5% e 1% peso/peso – in pastificazione poiché ha sia proprietà emulsionanti, che influenzano l'omogeneità del prodotto finito, sia proprietà lubrificanti, che facilitano il processo di estrusione. Poiché gli additivi influenzano le proprietà reologiche delle farine, quest'ultime sono state analizzate anche dopo l'aggiunta del mono- e digliceride E471.



Figura 3.3: Mono- e digliceride degli acidi grassi E471

I mono- e digliceridi degli acidi grassi sono prevalentemente di origine vegetale; in particolare, vengono estratti per distillazione molecolare da colza e palma, tuttavia possono contenere quantità limitate di acidi grassi di origine animale. Il contenuto minimo di monogliceridi è del 90%. E471 è conforme al: D.Lgs. 109/1992 e al Reg.(UE) 1169/2011 e successive modifiche.

La Tabella 3.3 riporta i codici dei campioni delle farine additivate.

Tabella 3.3: Codici dei campioni di farine gluten-free additivate con E471

	Materia prima tal quale	Materia prima + 0.5% di E471	Materia prima + 0.8% di E471	Materia prima + 1% di E471
Farina di Riso	23MP00036_t.q.	23MP00036_0.5mono	23MP00036_0.8mono	23MP00036_1mono
Farina di Mais Bianco	23MP00037_t.q.	23MP00037_0.5mono	23MP00037_0.8mono	23MP00037_1mono
Farina di Mais Giallo	23MP00038_t.q.	23MP00038_0.5mono	23MP00038_0.8mono	23MP00038_1mono
Farina di Lenticchie Rosse	23MP00039_t.q.	23MP00039_0.5mono	23MP00039_0.8mono	23MP00039_1mono
Farina di Lenticchie Gialle	23MP00040_t.q.	23MP00040_0.5mono	23MP00040_0.8mono	23MP00040_1mono
Farina di Piselli Gialli	23MP00041_t.q.	23MP00041_0.5mono	23MP00041_0.8mono	23MP00041_1mono
Farina di Piselli Verdi	23MP00042_t.q.	23MP00042_0.5mono	23MP00042_0.8mono	23MP00042_1mono

3.2. Analisi Micro Visco-Amilografica (MVAG)

Il Micro Visco-Amilografo[®] (Brabender GmbH & Co. KG), illustrato in Figura 3.4, è stato utilizzato per valutare le *pasting properties* dell'amido contenuto nelle farine, ovvero le sue proprietà di gelatinizzazione, *pasting* e retrogradazione (o gelificazione). Le *pasting properties* si riferiscono all'aumento di viscosità che le farine producono durante le fasi di lavorazione e formazione dell'impasto, fino a trattamenti termici intermedi o finali.



Figura 3.4: Micro Visco-Amilografo Brabender[®]

3.2.1. *Pasting properties* e meccanismo molecolare

L'analisi Micro Visco-Amilografica misura i cambiamenti di viscosità di una sospensione di amido (o di prodotti contenenti amido, come la farina) sottoposta a un programma di riscaldamento e raffreddamento controllato, sotto costante effetto di una forza da taglio applicata per mezzo di una paletta. La Figura 3.5 mostra un esempio di tracciato Micro Visco-Amilografico di uno sfarinato nel quale sono riportati in ascissa il tempo dell'analisi (espresso in minuti, min) e in ordinate la viscosità (misurata in Torque, BE) e la temperatura del sistema (espressa in gradi centigradi, °C). La Figura 3.6, invece, è una rappresentazione schematica dei cambiamenti strutturali che si verificano a carico dell'amido durante le fasi di riscaldamento, raffreddamento e conservazione a temperatura costante.

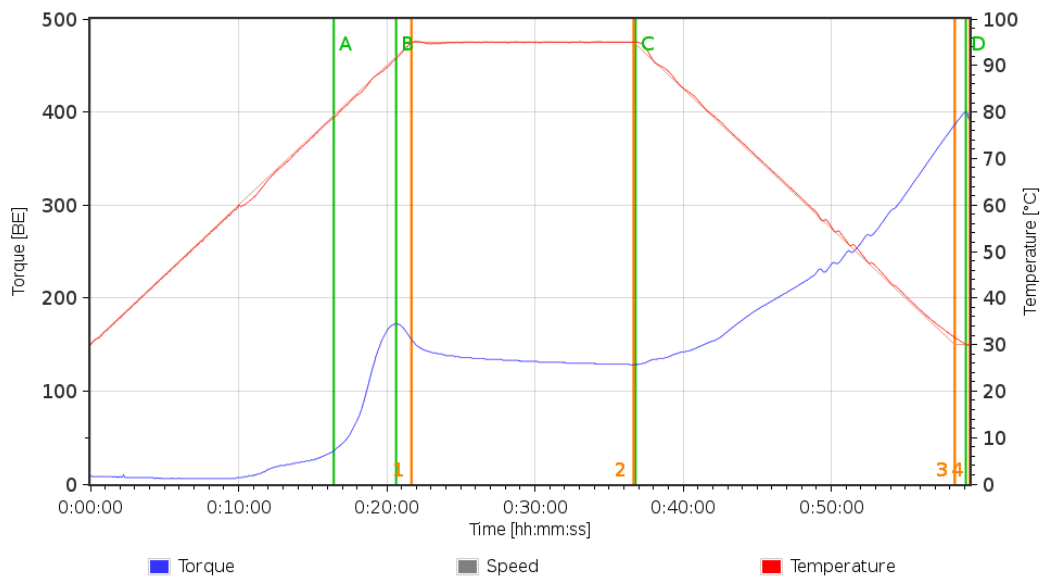


Figura 3.5: Esempio di curva Micro Visco-Amilografica

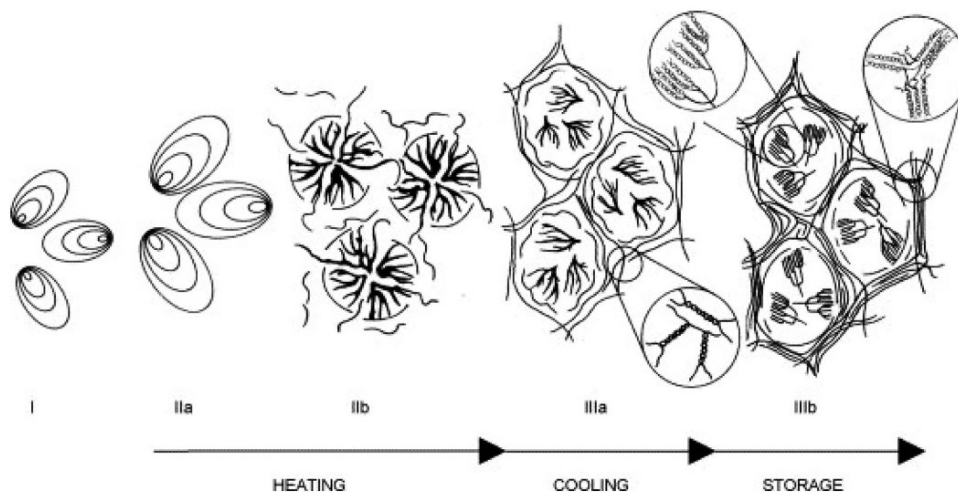


Figura 3.6: Rappresentazione schematica dei cambiamenti che si verificano in una miscela di amido e acqua durante riscaldamento, raffreddamento conservazione a temperatura costante. (I) Granuli di amido nativo; (II) Gelatinizzazione, associata al rigonfiamento [a] e alla parziale disgregazione dei granuli [b] con conseguente formazione di una pasta di amido; (III) Retrogradazione: rapida formazione di un reticolo di amilosio (retrogradazione dell'amilosio) durante il raffreddamento della pasta di amido [a]; lenta formazione di molecole di amilopectina cristalline all'interno dei granuli (retrogradazione dell'amilopectina) che aumentano la rigidità del gel durante la conservazione [b].

Quando i granuli di amido sono riscaldati in presenza di acqua ad una temperatura maggiore di 50°C e caratteristica per ogni materia prima, definita *temperatura di inizio gelatinizzazione*, si idratano progressivamente e si rigonfiano. I legami idrogeno tra le catene di amilosio e di amilopectina – che stabilizzano la struttura dell'amido – vengono interrotti e sostituiti da legami idrogeno con le molecole di acqua. Ciò determina la diminuzione dell'acqua libera nel sistema, la perdita della struttura nativa dei granuli di amido (riconoscibile attraverso la *Croce di Malta*) e la formazione di una *pasta di amido*. In questo stadio, i granuli di amido rigonfiati, essendo fragili, si rompono anche grazie alle condizioni di taglio della paletta rotante dello strumento, risultando in un picco della viscosità della soluzione. Il *picco di viscosità* rappresenta il massimo grado di solubilizzazione dell'amilosio, essendo quest'ultimo il componente più solubile dell'amido. Tale processo, definito *processo di gelatinizzazione*, è irreversibile.

Quando il sistema viene mantenuto ad elevate temperature, può avvenire una perdita di viscosità. Se il granulo di amido non è stabile alle elevate temperature e allo stress meccanico dovuto alla rotazione della paletta, esso si frammenta e riversa nell'ambiente le molecole di amilopectina, risultando in una diminuzione della viscosità del sistema.

Quando il sistema amido-acqua si raffredda, l'acqua che era stata inglobata nella struttura viene esclusa e avviene un riarrangiamento delle catene di amilosio e amilopectina: i legami idrogeno tra amido e acqua vengono sostituiti con legami idrogeno tra le molecole che formano l'amido. In questo modo, i granuli di amido gelatinizzati passano da uno stato iniziale amorfo (o disordinato) ad uno stato più cristallino (e ordinato) e ciò si riflette nella tendenza della *pasta di amido* ad addensarsi formando un gel che porta un aumento della viscosità del sistema. Tale processo, definito *processo di retrogradazione (o di gelificazione)*, comporta una rapida ricristallizzazione delle molecole di amilosio, seguita dalla lenta ricristallizzazione delle molecole di amilopectina. La retrogradazione dell'amilopectina determina l'aumento di viscosità del gel durante la conservazione. Si tratta di un processo reversibile poiché, fornendo calore al prodotto, l'amido gelatinizza nuovamente, senza però tornare alla struttura nativa.

Il *pasting* si riferisce sia ai cambiamenti di viscosità appena prima, durante e dopo l'evento di gelatinizzazione, sia ai cambiamenti di viscosità durante la fase di retrogradazione.

3.2.2. Metodo di analisi

Secondo il metodo sviluppato, nell'apposito contenitore MVAG in alluminio viene preparata una sospensione miscelando 10 g di farina in 100 ml di acqua distillata, corretti al 14% di umidità. La sospensione acqua-farina così preparata viene caricata nello strumento e analizzata utilizzando profili di temperatura diversi a seconda che si tratti di materie prime con glutine (Tabella 3.4) o senza glutine (Tabella 3.5). La velocità di rotazione della paletta è stata fissata a 250 rpm, indipendentemente dalla tipologia di materia prima esaminata. Ogni campione è stato analizzato almeno in duplicato.

Tabella 3.4: Profilo di temperatura usato nell'analisi di sfarinati con glutine

Tempo dell'analisi [hh:mm:ss]	Temperatura iniziale [°C]	Temperatura finale [°C]	Gradiente di temperatura [°C/min]	Processo indagato
00:21:40	30	95	3	Gelatinizzazione
00:15:00	95	95	0	Mantenimento
00:21:40	95	30	3	Retrogradazione
00:01:00	30	30	0	

Tabella 3.5: Profilo di temperatura usato nell'analisi di sfarinati senza glutine

Tempo dell'analisi [hh:mm:ss]	Temperatura iniziale [°C]	Temperatura finale [°C]	Gradiente di temperatura [°C/min]	Processo indagato
00:43:20	30	95	1.5	Gelatinizzazione
00:15:00	95	95	0	Mantenimento
00:43:20	95	30	1.5	Retrogradazione
00:01:00	30	30	0	

Il gradiente di temperatura applicato nell'analisi di farine con glutine è di 3°C/min. Il profilo di temperatura usato in queste analisi è il seguente: riscaldamento da 30°C a 95°C, aumentando la temperatura di 3°C/min; mantenimento a 95°C per 15 min; raffreddamento da 95°C a 30°C, diminuendo la temperatura di 3°C/min; mantenimento a 30°C per 1 min.

Al contrario, il gradiente di temperatura applicato nell'analisi di farine senza glutine è di 1.5°C/min. Il profilo di temperatura usato in queste analisi è il seguente: riscaldamento da 30°C a 95°C, aumentando la temperatura di 1.5°C/min; mantenimento a 95°C per 15 min; raffreddamento da 95°C a 30°C, diminuendo la temperatura di 1.5°C/min; mantenimento a 30°C per 1 min.

Il differente gradiente di temperatura è dovuto al fatto che le materie prime gluten-free richiedono una velocità inferiore di aumento e diminuzione della temperatura (1.5°C/min, rispetto a 3°C/min per le materie prime con glutine), determinando così una maggiore durata dell'analisi (circa 1 ora e 40 minuti, rispetto a circa 59 minuti per le materie prime con glutine).

3.2.3. Interpretazione dei risultati

La Figura 3.7 presenta le informazioni che si ottengono dall'analisi Micro Visco-Amilografica.

I numeri (da 1 a 4) indicano il profilo di temperatura, mentre le lettere (da A a D) indicano l'andamento della gelatinizzazione; nello specifico:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1: Inizio del periodo di mantenimento | A: Inizio di gelatinizzazione |
| 2: Inizio del periodo di raffreddamento | B: Massimo della viscosità a caldo |
| 3: Fine del periodo di raffreddamento | C: Minimo della viscosità |
| 4: Fine della misurazione | D: Massimo della viscosità a freddo |

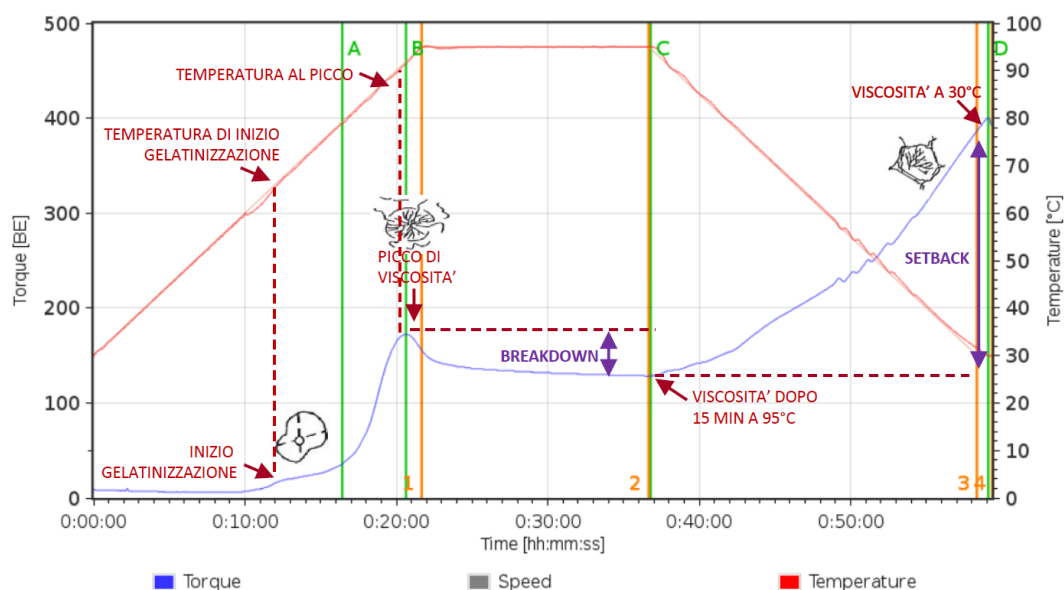


Figura 3.7: Interpretazione di un Micro Visco-Amilografico

Dal Micro Visco-Amilografico si possono estrarre le seguenti informazioni:

- **Temperatura di inizio gelatinizzazione (°C)**, ovvero la temperatura alla quale si registra un iniziale aumento di viscosità;
- **Picco di viscosità (BE)**, ovvero il picco massimo di viscosità raggiunto durante il ciclo di riscaldamento; rappresenta il punto di equilibrio tra il rigonfiamento del granulo di amido e la sua rottura; in altre parole, i granuli di amido sono rigonfiati ma ancora intatti;
- **Temperatura al picco (°C)**, ovvero la temperatura alla quale si ha il picco di viscosità;
- **Breakdown (BE)**, dato dalla differenza tra la viscosità al picco e la viscosità dopo 15 minuti a 95°C; è un indice della stabilità del granulo di amido all'elevata temperatura e allo *shear thinning* (assottigliamento al taglio) dovuto alla rotazione della paletta durante il mantenimento a 95°C. Maggiore è il valore di Breakdown, minore è la stabilità dell'amido a queste due tipologie di stress;

- ***Setback (BE)***, confronta la viscosità finale a 30°C con la viscosità all'inizio del raffreddamento; fornisce informazioni sulla retrogradazione della pasta di amido, ovvero sulla riorganizzazione dell'amido in una struttura più ordinata, compatta e dalla consistenza simile ad un gel. Maggiore è il Setback, maggiore è la tendenza alla retrogradazione.

3.3. Analisi Farinografica

Il Farinografo[®] (Brabender GmbH & Co. KG), illustrato in Figura 3.8, è un dinamometro utilizzato per misurare la resistenza che una miscela acqua-farina di frumento oppone alle sollecitazioni meccaniche che caratterizzano tutte le fasi di impastamento. Da questa analisi si ottiene un Farinogramma che registra lo sforzo (espresso in Farinograph Equivalent, FE) sull'asse delle ordinate, in funzione del tempo di impastamento (espresso in minuti, min) riportato sulle ascisse.



Figura 3.8: Farinografo Brabender[®]

In genere, il Farinografo viene utilizzato per l'analisi di sistemi acqua-farine contenenti glutine, in cui la miscelazione viene eseguita fino al raggiungimento delle 500 FE di consistenza. Tuttavia, considerando il crescente interesse per i prodotti senza glutine e la necessità di monitorare e/o prevedere il comportamento delle farine gluten-free durante l'impastamento, si è cercato di adattare il Farinografo anche per la determinazione dell'assorbimento di acqua e della reologia di tali impasti.

3.3.1. Metodo di analisi

Nell'analisi di farine convenzionali, nell'apposita impastatrice del Farinografo sono inseriti 300 g di farina, corretti al 14% di umidità. L'obiettivo dell'analisi è quello di calcolare la corretta quantità di acqua da aggiungere alla farina per raggiungere la consistenza ottimale, fissata per convenzione a 500 FE. Il tempo dell'analisi è di 25 minuti, e la velocità di rotazione della paletta è stata fissata a 63 rpm.

Nel caso delle farine gluten-free, la mancanza di proteine formanti il glutine non permette la formazione di una rete viscoelastica, perciò non è possibile ricercare la quantità di acqua ottimale che, aggiunta a una quantità definita di farina, consenta di raggiungere la consistenza ottimale di 500 FE, come nel caso delle farine con glutine. Si è scelto, allora, di idratare tutte le farine al 50% e confrontare il loro andamento. Secondo il metodo sviluppato, il 50% di idratazione è ottenuto aggiungendo 100 g di acqua distillata a 200 g di farina.

In questa analisi, la quantità di campione usata è stata ridotta a 200 g (come consigliato da Brabender® per l'analisi di materie prime gluten-free) e il tempo di analisi è stato accorciato a 15 minuti poiché, dopo le prime prove eseguite, non si sono notati cambiamenti significativi nell'impasto dopo questo periodo di tempo.

3.3.2. Interpretazione dei risultati

Il Farinografo fornisce informazioni sull'assorbimento di acqua dell'impasto, sulla sua stabilità e anche sul tempo di sviluppo dell'impasto stesso. Dal Farinogramma (Figura 3.9) si possono estrarre i seguenti dati:

- **T [mm:ss]**: durata della prova;
- **DT [°C]**: temperatura dell'acqua aggiunta;
- **DDT [mm:ss]**: tempo di sviluppo dell'impasto, definito come il tempo necessario all'impasto per raggiungere la consistenza di 500 FE;

- **C [FE]**: consistenza ottimale dell'impasto che viene raggiunta quando la maglia glutinica ha avuto modo di formarsi correttamente in seguito all'aggiunta di acqua e all'azione meccanica delle pale dell'impastatrice; deve essere di 500 ± 20 FE;
- **WA [%]**: quantità di acqua che viene aggiunta a una quantità definita di farina per raggiungere la consistenza ottimale; essa viene scelta e impostata dall'operatore all'inizio della prova;
- **WZ [%]**: quantità di acqua effettivamente aggiunta per eseguire il test. Nel file di output il valore WZ coincide con WA;
- **WAC [%]**: assorbimento d'acqua necessario per correggere la linea mediana del Farinogramma alla consistenza di 500 FE;
- **WAM [%]**: assorbimento d'acqua corretto al 14% di umidità di base della materia prima;
- **S [mm:ss]**: tempo in cui l'impasto si mantiene alla consistenza ottimale, senza mostrare significativi cedimenti; in altre parole, è il tempo in cui l'impasto rimane stabile durante l'impastamento, prima di rompersi.

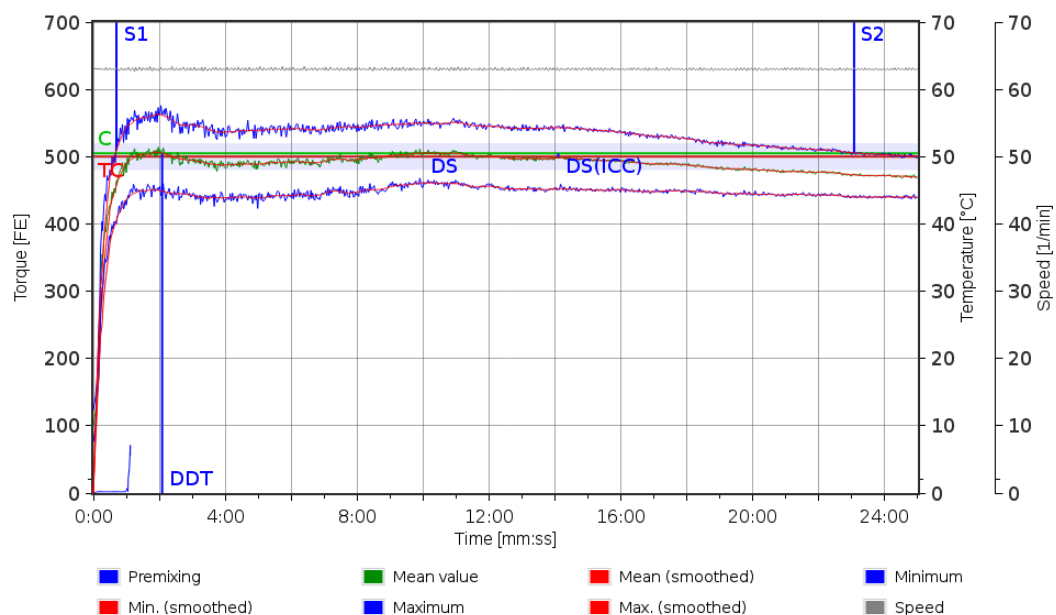


Figura 3.9: Interpretazione di un Farinogramma

3.4. Analisi rapida dell'umidità

La qualità della materia prima, la sua utilizzabilità e lavorabilità dipendono strettamente dal suo contenuto di umidità. Per determinare il contenuto di umidità delle farine, è stata utilizzata una termobilancia (o analizzatore di umidità), illustrata in Figura 3.10.



Figura 3.10: Termobilancia Ohaus®

A differenza del metodo ufficiale con stufa a 105°C per circa 3 ore, le termobilance sono composte da una camera calda (settata a 140°C) che essicca il campione mediante un riscaldatore ad infrarossi, ed una bilancia di precisione che elabora le variazioni di peso durante la fase di essiccazione e calcola il contenuto di umidità a partire dal peso differenziale.

Dopo aver fatto la tara del piattino porta campione, 5 g di materia prima vengono pesati e distribuiti in maniera omogenea direttamente sul piattino; quindi, si chiude il coperchio e viene fatta partire l'analisi. La prova si conclude quando la termobilancia non registra variazioni di peso per due minuti. Il tempo medio di una prova è di circa 10 – 12 minuti.

3.5. Analisi del Falling Number

Il Falling Number, illustrato in Figura 3.11, è uno strumento che consente di determinare in maniera indiretta la quantità e l'attività di enzimi alfa-amilasi presenti in uno sfarinato e che degradano l'amido.



Figura 3.11: Falling Number Perten®

Prima di iniziare l'analisi, occorre misurare l'umidità della materia prima di partenza. In funzione dell'umidità ottenuta, attraverso una tabella correttiva fornita dal produttore che prevede di analizzare 7 g di campione con un contenuto di umidità pari al 14%, si calcola la quantità corretta di campione da analizzare.

Si inseriscono 25 ml di acqua distillata nel tubo viscosimetro e si aggiunge il campione creando, così, una sospensione di farina in acqua. Si chiude il tubo viscosimetro con un tappo e lo si agita vigorosamente per circa trenta volte. A questo punto, si toglie il tappo e si inserisce l'agitatore, avendo cura di trascinare nella sospensione eventuali residui presenti sulla parete del tubo. Il tubo viscosimetro con all'interno l'agitatore viene inserito nel bagno a temperatura controllata (circa 60°C). Chiudendo lo strumento, il meccanismo d'agitazione fa iniziare automaticamente il test.

La prova prevede che l'agitazione inizi dopo 5 secondi dalla chiusura dello strumento. Per i successivi 55 secondi, l'agitatore esegue due movimenti al secondo, per un totale di 110 agitazioni. Terminata la fase di agitazione, l'agitatore viene lasciato cadere e il contatore continua la misurazione dei secondi di caduta dell'agitatore. Il risultato ottenuto è correlato alla quantità e all'attività delle alfa-amilasi naturalmente presenti nella farina.

La prova si basa sulla rapida gelatinizzazione della farina attraverso le alte temperature raggiunte durante il test. L'amido gelatinizzato è più facilmente attaccabile da parte delle alfa-amilasi naturalmente presenti nelle farine.

Se le alfa-amilasi sono più attive, l'amido viene danneggiato più velocemente e nella provetta si ottiene un gel dalla consistenza più liquida (quindi meno viscosa) che oppone minore resistenza al movimento di discesa dell'agitatore; questo determina a valori più bassi di Falling Number.

Per una farina adatta alla pastificazione, il valore di Falling Number deve essere superiore a 300 secondi, ovvero deve avere un basso contenuto di alfa-amilasi che degradano enzimaticamente l'amido.

3.6. Analisi automatica del glutine

Per l'analisi del glutine che si forma durante l'impasto, in laboratorio sono stati utilizzati il Glutomatic, la Centrifuga e il Glutork Perten[®], illustrati in Figura 3.12. Per l'analisi è stato utilizzato il metodo approvato AACC 38-12.



Figura 3.12: In ordine: Glutomatic, Centrifuga e Glutork Perten[®]

In questa analisi 10 g di farina vengono pesati all'interno di due contenitori aventi sul fondo un setaccio in poliestere da 88 micron. Con una buretta, si aggiungono 4,8 ml di soluzione salina NaCl al 2% per ogni contenitore e si introducono i contenitori nella camera del Glutomatic. In questa fase, la farina e la soluzione salina NaCl al 2% vengono mescolati per 20 secondi per formare un impasto.

Dopo la miscelazione, inizia automaticamente la fase di lavaggio. Mentre le proteine del glutine sono insolubili in acqua e in soluzioni saline, l'amido e le proteine solubili in acqua vengono eliminati dall'impasto. Questa fase dell'analisi continua per 5 minuti. Il residuo che rimane dopo il lavaggio è il *glutine umido*.

Nella fase successiva, il glutine umido viene centrifugato a 6000 rpm per 1 minuto. La frazione di "*glutine passato*" attraverso il setaccio viene raschiata con una spatola e pesata. Dopo di che, anche la frazione di "*glutine ritenuto*", cioè rimasta all'interno del setaccio, viene raccolta e pesata. Sommando i due valori si ottiene il *peso totale del glutine umido*.

Il glutine umido viene completamente essiccato a 150°C per 4 minuti nel Glutork. Dopo l'essiccazione, la cialda di glutine ottenuta viene pesata.

L'*indice di glutine* è definito dal rapporto tra la quantità di glutine ritenuto sul setaccio dopo la fase di centrifuga e il peso totale del glutine umido, moltiplicati per cento.

$$\text{INDICE DI GLUTINE} = \frac{\text{GLUTINE RITENUTO (g)}}{\text{PESO TOTALE DEL GLUTINE UMIDO (g)}} * 100$$

L'indice di glutine definisce se la qualità del glutine è debole (GI < 30%), normale (30% < GI < 80%) o forte (GI > 80%).

3.7. Analisi colorimetrica

Il colore giallo – caratteristico delle semole di grano duro – rappresenta un parametro qualitativo importante. Per l'esecuzione della prova, in laboratorio si è utilizzato il colorimetro EOPTIS CLM-196[®], illustrato in Figura 3.13.

I principi dell'analisi colorimetrica si basano sul fatto che ogni materia prima presenta dei massimi di assorbimento della radiazione elettromagnetica a determinate lunghezze d'onda.



Figura 3.13: Colorimetro EOPTIS CLM-196[®]

I parametri analizzati sono: luminosità (L^*), indice di rosso (a^*) ed indice di giallo (b^*).

Per l'analisi occorre pesare 50 g di materia prima direttamente nel bicchierino di vetro dello strumento ed eseguire 10 misurazioni. Tali misurazioni verranno, poi, mediate tra loro direttamente dal software per ottenere i parametri L^* , a^* e b^* .

Il colore giallo della materia prima influenza anche il colore del prodotto finito. L'indice di giallo (b^*) dipende dalla quantità di carotenoidi presenti all'interno della materia prima.

La non corretta gestione del processo di essiccazione può portare alla formazione di colorazioni rosso-brune della pasta (indice di rosso, a^*), dovute essenzialmente alla reazione di Maillard.

3.8. Analisi della quantità di amido danneggiato

Il test Chopin SD-MATIC[®], illustrato in Figura 3.14, è un metodo automatizzato per misurare il livello di amido danneggiato da processi meccanici presente in una farina. Per l'analisi è stato utilizzato il metodo approvato da AACC 76-33.01.



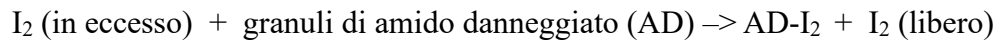
Figura 3.14: Chopin SD-MATIC[®]

Durante il processo di macinazione, i granuli di amido vengono danneggiati in misura maggiore o minore a seconda della durezza del chicco e delle impostazioni del mulino. Una volta danneggiato, l'amido assorbe 10 volte più acqua. Per questo motivo, il danneggiamento dell'amido è un fattore chiave nel determinare il comportamento della farina durante la formazione dell'impasto.

Prima di procedere con l'analisi, occorre misurare l'umidità della materia prima di partenza e inserire il dato ottenuto nello strumento.

Per l'analisi occorre pesare 1 g di materia prima nell'apposito supporto dello strumento. Successivamente, in un becher di vetro si pesano in quest'ordine: 120 g di acqua distillata; 1.5 g di acido citrico; 3 g di ioduro di potassio; 1 goccia di tiosolfato di sodio, e si agita energeticamente. Il becher viene, quindi, inserito nel supporto, si chiude lo strumento e si fa iniziare l'analisi.

Prima dell'introduzione della farina, l'elettrodo SD-MATIC genera iodio nella vasca di reazione. Il dispositivo misura continuamente una corrente elettrica proporzionale alla quantità di iodio libero presente nella soluzione. Una volta aggiunto il campione, lo iodio si lega ai granuli di amido danneggiati: maggiore è la quantità di amido danneggiato, maggiore è la quantità di iodio legata e maggiore è la riduzione dell'intensità di corrente. La velocità con cui lo iodio viene assorbito dall'amido, dipende da quanto quest'ultimo è danneggiato.



Il risultato viene visualizzato come percentuale di iodio assorbito (% A_I).

CAPITOLO 4: RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. Risultati dell'analisi su farine di grano tenero

4.1.1. Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®

La Figura 4.1 riporta il grafico riassuntivo delle curve delle farine convenzionali analizzate al Micro Visco-Amilografo.

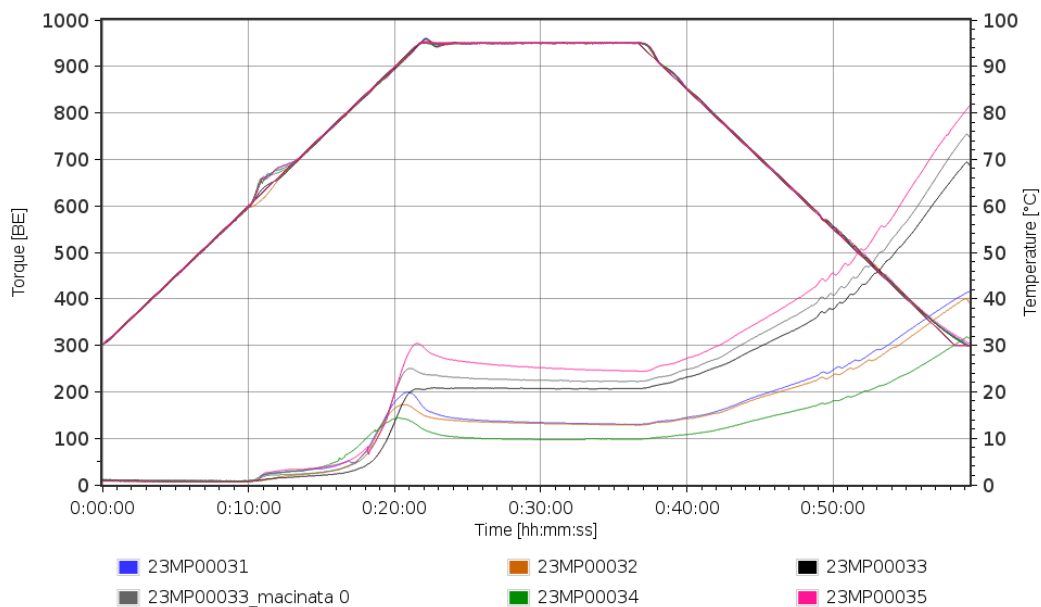


Figura 4.1: Grafici delle farine convenzionali. In particolare: farina azzurra (23MP00031); farina gialla (23MP00032); farina granito (23MP00033); farina granito macinata (23MP00033_macinata 0); farina verde (23MP00034); farina rosa (23MP00035)

Osservando l'andamento delle curve, è possibile concludere che la farina rosa ha la minore quantità di amido danneggiato da danni meccanici (come la macinazione) e/o enzimatici (come le alfa-amilasi) e, di conseguenza, la maggiore quantità di amido disponibile a gelatinizzare. Tra le cinque, la farina rosa è sicuramente quella più adatta alla pastificazione, avendo l'amido meno danneggiato.

Analizzando il grafico si osserva che la farina granito ha una curva «a ginocchio» simile a quella di una semola di grano duro. La consistenza granulare della farina granito, osservabile anche visivamente in Figura 4.2, suggerisce che la curva ottenuta sia dovuta alla sua granulometria. Ripetendo l'analisi su un campione di farina granito macinato finemente si è ottenuta una curva più alta – simile a quella di una farina – dimostrando così che la granulometria e il livello di macinazione impattano sulle *pasting properties* dell'amido.



Figura 4.2: Confronto tra farina granito tal quale (a sinistra) e macinata finemente (a destra)

La Tabella 4.1 mostra il comportamento di inizio gelatinizzazione dell'amido. Pur essendo tutte farine di grano tenero 00, esse mostrano parametri di inizio gelatinizzazione e temperature di inizio gelatinizzazione diversi e caratteristici. La farina rosa è la prima ad iniziare a gelatinizzare, seguita dalle farine verde, azzurra, gialla e infine granito.

A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00031	00:15:13	36	75.3
23MP00032	00:16:26	36	78.8
23MP00033	00:17:50	38	83
23MP00033 ma...	00:16:40	38	79.7
23MP00034	00:14:46	37	73.9
23MP00035	00:14:32	36	73.3

Tabella 4.1

I picchi di viscosità a 95°C sono molto diversi tra loro (Tabella 4.2). La farina rosa presenta il picco più alto, la farina verde ha il picco più basso, mentre le altre tre farine hanno picchi intermedi.

B (Maximum viscosity hot)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00031	00:20:54	199	92.3
23MP00032	00:20:38	172	91.5
23MP00033	00:22:45	209	94.3
23MP00033 ma...	00:20:58	250	93
23MP00034	00:20:17	144	90.3
23MP00035	00:21:31	304	94.1

Tabella 4.2

Il Breakdown, riportato in Tabella 4.3, misura la stabilità dell'amido dopo la sua gelatinizzazione: maggiore è il valore di Breakdown, minore è la stabilità dell'amido gelatinizzato ai trattamenti termici e allo *shear thinning*. La farina granito mostra il valore più basso, probabilmente dovuto alla sua granulometria più grossolana; infatti, dopo averla macinata, il valore di Breakdown aumenta.

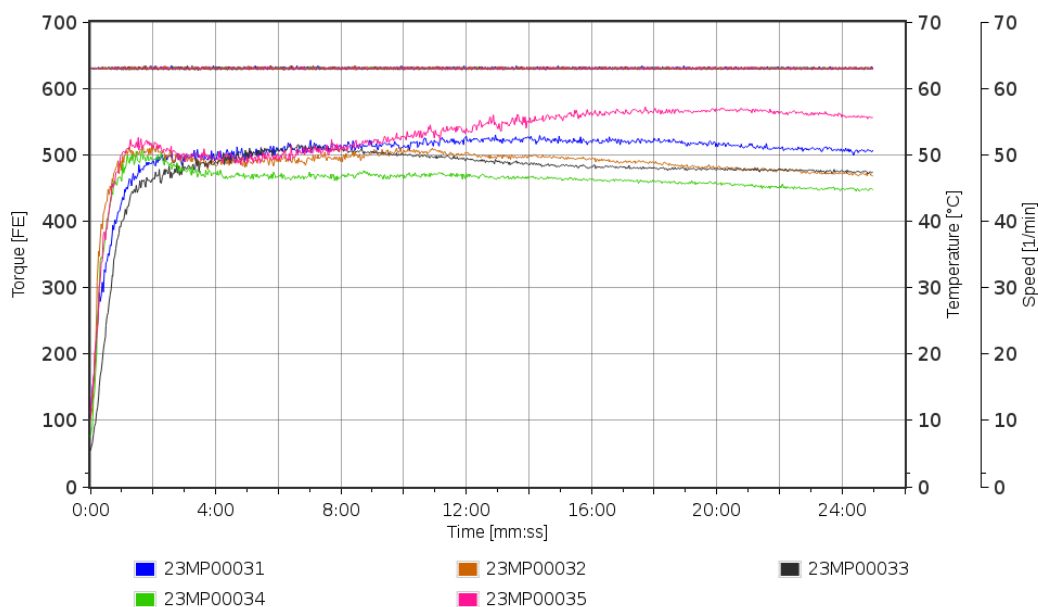
Il Setback, riportato nella stessa tabella, fornisce informazioni sulla tendenza dell'amido a riorganizzarsi in una struttura più ordinata e compatta. La farina rosa presenta il valore di Setback più alto, mentre la farina verde ha il valore più basso.

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00031	69	269
23MP00032	43	257
23MP00033	2	458
23MP00033 ma...	28	499
23MP00034	46	203
23MP00035	60	531

Tabella 4.3

4.1.2. Risultati al Farinografo Brabender®

La Figura 4.3 riporta il grafico riassuntivo delle curve delle farine di grano tenero ottenute al Farinografo.



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00031	24:59	28.9	03:46	497	58.4	58.3	58.1	
23MP00032	24:59	28	02:05	505	56.1	56.2	56.4	22:22
23MP00033	24:59	28.2	06:13	508	48.7	48.9	49.6	21:40
23MP00034	24:59	28.7	01:20	492	54.4	54.2	54.7	18:42
23MP00035	24:59	28.3	01:33	516	57.2	57.6	57.1	

Figura 4.3: Grafico delle farine convenzionali.

In particolare: farina azzurra (23MP00031); farina gialla (23MP00032); farina granito (23MP00033); farina verde (23MP00034); farina rosa (23MP00035)

Per tutti e cinque i campioni analizzati è stata trovata la corretta quantità di acqua da aggiungere alla farina per raggiungere la consistenza ottimale d'impasto, fissata per convenzione a 500 ± 20 FE. I valori di WZ trovati variano da 48,7% a 58,4%. Tali percentuali di idratazione, però, sono elevate e inadatte al processo di produzione di pasta. Durante una pastificazione, infatti, si lavora in condizioni di sotto-idratazione: la materia prima viene idratata al 30% per generare un impasto dalla consistenza e dalla viscosità adeguate a consentire l'estrusione.

Per un limite strumentale, non è possibile analizzare campioni idratati al 30% poiché l'impasto che si ottiene è troppo secco per generare la maglia glutinica e osservare un grafico significativo; perciò, si è scelto di raggiungere la consistenza ottimale e convenzionale di 500 FE, in modo tale da paragonare i valori di WZ di farine di qualità diversa.

Analizzando i dati ottenuti si osserva che l'assorbimento di acqua della farina granito è notevolmente inferiore a quello degli altri campioni. Tale risultato è dovuto principalmente a due fattori, primo fra tutti la granulometria: farine con particelle più grandi hanno una minore capacità di assorbimento; ne deriva che la farina granito ha una WZ inferiore rispetto alle farine azzurra, gialla, verde e rosa che hanno particelle più fini. Il secondo fattore che influenza l'assorbimento di acqua è la presenza di amidi danneggiati che si formano in seguito alla macinazione. La farina granito, non essendo stata macinata finemente e avendo mantenuto una consistenza più granulare, ha una minore percentuale di amidi danneggiati e assorbe una quantità inferiore di acqua.

4.1.3. Risultati di analisi aggiuntive: umidità – Falling Number – quantità e qualità di glutine – colore – amido danneggiato

Per avere un profilo più completo delle proprietà delle farine di grano tenero e per riuscire a correlare i risultati ottenuti dai diversi strumenti utilizzati in laboratorio, sono stati analizzati anche altri parametri composizionali e nutrizionali quali umidità, Falling Number, quantità e qualità di glutine che si forma durante l’impasto, colore e quantità di amido danneggiato. I risultati sono riportati in Tabella 4.4.

PARAMETRI		UNITA' MISURA						
CODICE CAMPIONE			23MP00031	23MP00032	23MP00033	23MP00033	23MP00034	23MP00035
NOME COMMERCIALE			FARINA AZZURRA	FARINA GIALLA	FARINA GRANITO	FARINA GRANITO MACINATA	FARINA VERDE	FARINA ROSA
UMIDITA' Metodo: FAVA		%	13.92 ± 0.3	13.60 ± 0.3	14.39 ± 0.3	14.04 ± 0.3	13.92 ± 0.3	13.31 ± 0.3
HAGBERG / FALLING NUMBER Metodo: ICC Standard No. 107/1,1995 and AACC Method 56-81B, 1992		sec	399 ± 19.35	390 ± 12.10	501 ± 9.00	451 ± 21	342 ± 25.16	468 ± 18.15
GLUTINE Metodo: ICC N.155 E 158; AACC N.38-12	GLUTINE SECCO	% s.s.	15.80 ± 0.4	12.09 ± 0.4	15.13 ± 0.4	14.25 ± 0.4	10.34 ± 0.4	10.73 ± 0.4
	INDICE DI GLUTINE	/	98.01 ± 4.3	97.76 ± 4.3	86.03 ± 4.3	87.04 ± 4.3	98.41 ± 4.3	99.02 ± 4.3
COLORE Metodo: DeltaE2000	LUMINOSITA' (L*)	/	90.72 ± 0.15	91.18 ± 0.15	88.40 ± 0.15	89.92 ± 0.15	91.48 ± 0.15	93.21 ± 0.15
	INDICE DI ROSSO (a*)		-0.02 ± 0.15	-0.12 ± 0.15	-0.33 ± 0.15	-0.46 ± 0.15	-0.34 ± 0.15	-0.43 ± 0.15
	INDICE DI GIALLO (b*)		10.74 ± 0.15	10.57 ± 0.15	17.31 ± 0.15	14.52 ± 0.15	11.29 ± 0.15	9.77 ± 0.15
AMIDO DANNEGGIATO Metodo: AA CC 76-31	A _I	%	93.59	93.83	76.36	84.18	93.60	94.73

Tabella 4.4

La quantità di amido danneggiato da macinazione (espresso come percentuale di assorbimento dello iodio [A_I] e determinato in laboratorio attraverso l’SD-MATIC) può essere correlata con i dati ottenuti dall’analisi delle *pasting properties* dell’amido al Micro Visco-Amilografo (Paragrafo 4.1.1).

Emerge che l’inizio della gelatinizzazione e la temperatura di inizio gelatinizzazione sono caratteristici di ogni materia prima e dipendono anche dal contenuto di amido danneggiato presente nella matrice di partenza. La farina rosa, avendo la maggiore percentuale di amido

danneggiato da macinazione, assorbe una quantità maggiore di acqua ed è la prima ad iniziare la fase di gelatinizzazione. L'ultima, invece, è la farina granito che presenta la maggiore granulometria e la minore percentuale di amido danneggiato meccanicamente.

In più, la gelatinizzazione della farina granito macinata finemente inizia prima e ad una temperatura inferiore rispetto a quella della farina granito tal quale. È noto che la macinatura danneggia la materia prima, aumentando il contenuto di amido danneggiato. Ne consegue che maggiore è il contenuto di amido danneggiato, maggiore è la velocità di diffusione dell'acqua nei granuli di amido, più l'inizio della gelatinizzazione è velocizzato.

Anche la quantità di glutine (espressa come percentuale di sostanza secca [% s.s.] e determinata attraverso il Glutomatic) può essere correlata con i dati ottenuti al Micro Visco-Amilografo. In questo modo si dimostra che le proteine, in particolar modo il glutine, impattano sulle *pasting properties* dell'amido. La gelatinizzazione della farina rosa e della farina verde, (presentano una minore percentuale di glutine secco) iniziano prima e ad una temperatura inferiore rispetto a quella delle farine azzurra, gialla e granito (maggiore percentuale di glutine secco). Per cui, maggiore è la quantità di glutine, più l'inizio della gelatinizzazione è rallentato.

Complessivamente, i dati ottenuti portano a concludere che la farina rosa è quella di qualità più elevata poiché ha la minor quantità di amido danneggiato da parte di alfa-amilasi e un glutine di ottima qualità. La farina azzurra e la farina gialla, invece, hanno un glutine di ottima qualità ma una maggiore quantità di amido danneggiato. La farina verde è la più scarsa poiché, pur avendo un buon indice di glutine, ha la quantità più alta di amido danneggiato. La farina granito, infine, ha un comportamento atipico per essere una farina e ciò è dovuto alla sua granulometria più grossolana; infatti, non avendo subito una macinazione spinta, mostra un glutine di qualità inferiore ma la minor quantità di amido danneggiato, sia da danno enzimatico che da danno meccanico.

4.2. Risultati dell'analisi su farine gluten-free

4.2.1. Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®

Le Figure 4.4 e 4.5 riportano rispettivamente il grafico riassuntivo delle curve dei cereali e dei legumi ottenute al Micro Visco-Amilografo. Trattandosi di materie prime con diversa origine botanica e differenti caratteristiche chimico-fisico-nutrizionali, si è ritenuto più appropriato graficare e analizzare i risultati separatamente.

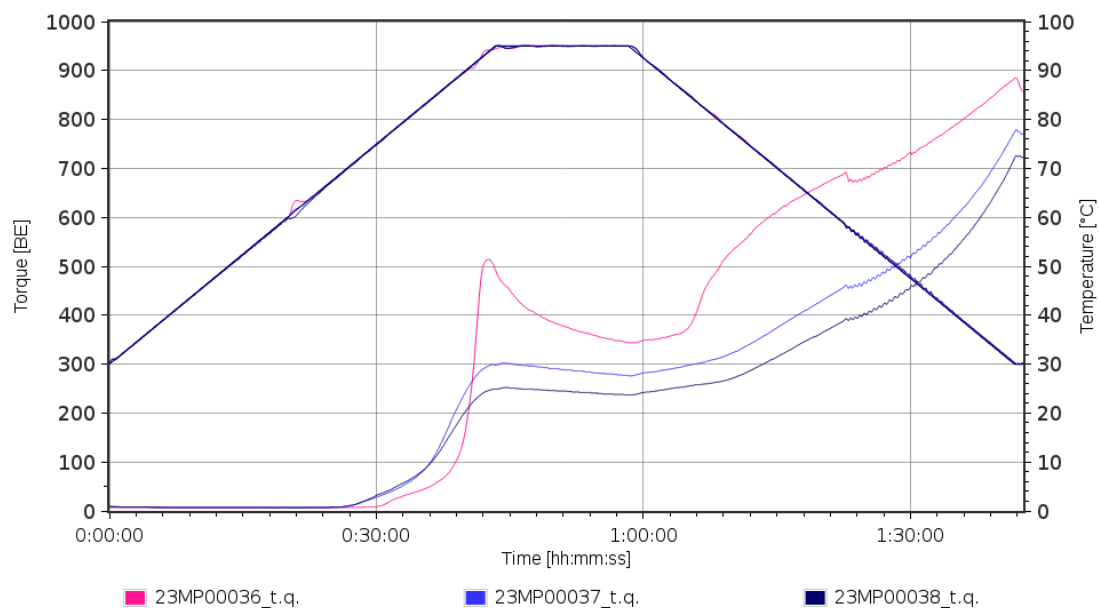


Figura 4.4: Grafici delle farine di cereali. In particolare: farina di riso (23MP00036_t.q.); farina di mais bianco (23MP00037_t.q.); farina di mais giallo (23MP00038_t.q.)

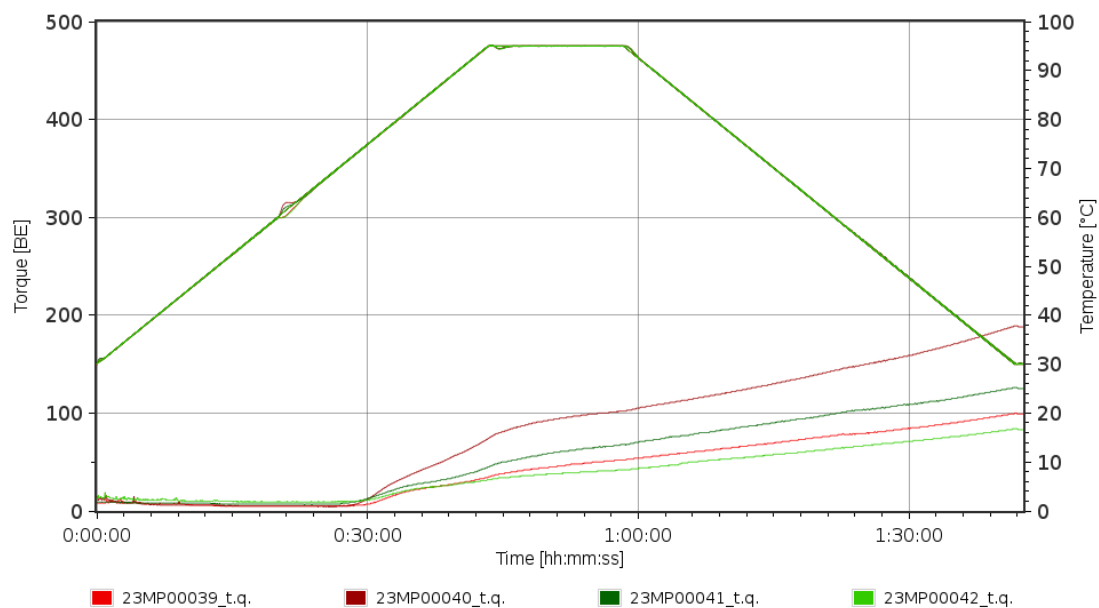


Figura 4.5: Grafici delle farine di legumi. In particolare: farina di lenticchie rosse (23MP00039_t.q.); farina di lenticchie gialle (23MP00040_t.q.); farina di piselli gialli (23MP00041_t.q.); farina di piselli verdi (23MP00042_t.q.)

Confrontando l'andamento dei grafici ottenuti, è evidente che le farine di cereali mostrano curve più alte, e quindi maggiori proprietà di gelatinizzazione e retrogradazione, rispetto alle farine di legumi. Questo è dovuto principalmente alle differenti caratteristiche compositive delle due famiglie di materie prime: il cereale, infatti, ha un maggiore contenuto in amido rispetto al legume.

Le Figure 4.4 e 4.5 e la Tabella 4.5 mostrano che il comportamento di gelatinizzazione dell'amido è influenzato anche dal contenuto di proteine della materia prima. Le farine di legumi, che hanno un maggiore contenuto di proteine, mostrano un inizio di gelatinizzazione più rallentato rispetto alle farine di cereali e una temperatura di inizio gelatinizzazione più elevata.

A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00036_t.q.	00:34:03	37	80.9
23MP00037_t.q.	00:31:07	36	76.5
23MP00038_t.q.	00:30:41	37	75.8
23MP00039_t.q.	00:43:24	35	94.9
23MP00040_t.q.	00:34:00	34	80.7
23MP00041_t.q.	00:40:13	36	90.1
23MP00042_t.q.	00:51:37	39	95

Tabella 4.5

I picchi di viscosità a 95°C dei campioni analizzati sono molto diversi fra di loro. Questo dato può essere osservato visivamente nei grafici delle Figure 4.4 e 4.5, ed è evidenziato meglio in Tabella 4.6. Tra le farine di cereali, solo la farina di riso presenta un vero picco di viscosità. Tra le farine di legumi, invece, non sono osservabili picchi di viscosità rilevanti e ciò è spiegato considerando che le pulses hanno un più basso contenuto di amido.

B (Maximum viscosity hot)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00036_t.q.	00:42:34	514	94.2
23MP00037_t.q.	00:44:22	302	94.7
23MP00038_t.q.	00:44:40	252	94.5
23MP00039_t.q.	00:58:20	52	95
23MP00040_t.q.	00:58:20	102	95
23MP00041_t.q.	00:58:21	68	95
23MP00042_t.q.	00:58:18	42	95

Tabella 4.6

Altri due parametri rilevanti sono i valori di Breakdown e di Setback, riportati in Tabella 4.7. Il Breakdown misura la stabilità dell'amido dopo la sua gelatinizzazione: maggiore è il valore di Breakdown, minore è la stabilità dell'amido gelatinizzato ai trattamenti termici e allo *shear thinning*. Tra i cereali, la farina di riso ha il valore di Breakdown più elevato e, quindi, è meno

stabile. Nelle farine di legumi, invece, il Breakdown è risultato pari a zero, mostrando che il granulo di amido gelatinizzato è molto stabile.

Il Setback fornisce informazioni sulla tendenza dell'amido a riorganizzarsi in una struttura più ordinata, compatta e dalla consistenza simile a un gel, durante il periodo di raffreddamento. La farina di riso, pur avendo un alto valore di Breakdown e quindi una bassa stabilità dell'amido, mostra un elevato Setback. Confrontando i dati ottenuti, le farine di cereali mostrano valori di Setback molto più alti rispetto alle farine di legumi; quest'ultime, quindi, retrogradano poco a causa del basso contenuto di amido. Queste differenze sono osservabili guardando la pasta di amido ottenuta a fine analisi: le foto in Figura 4.6 mostrano la pasta di amido ottenuta alla fine dei processi di gelatinizzazione e retrogradazione delle farine di riso (a), mais giallo (b), lenticchia rossa (c) e pisello giallo (d).

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00036_t.q.	170	540
23MP00037_t.q.	26	497
23MP00038_t.q.	15	483
23MP00039_t.q.	0	47
23MP00040_t.q.	0	87
23MP00041_t.q.	0	58
23MP00042_t.q.	0	42

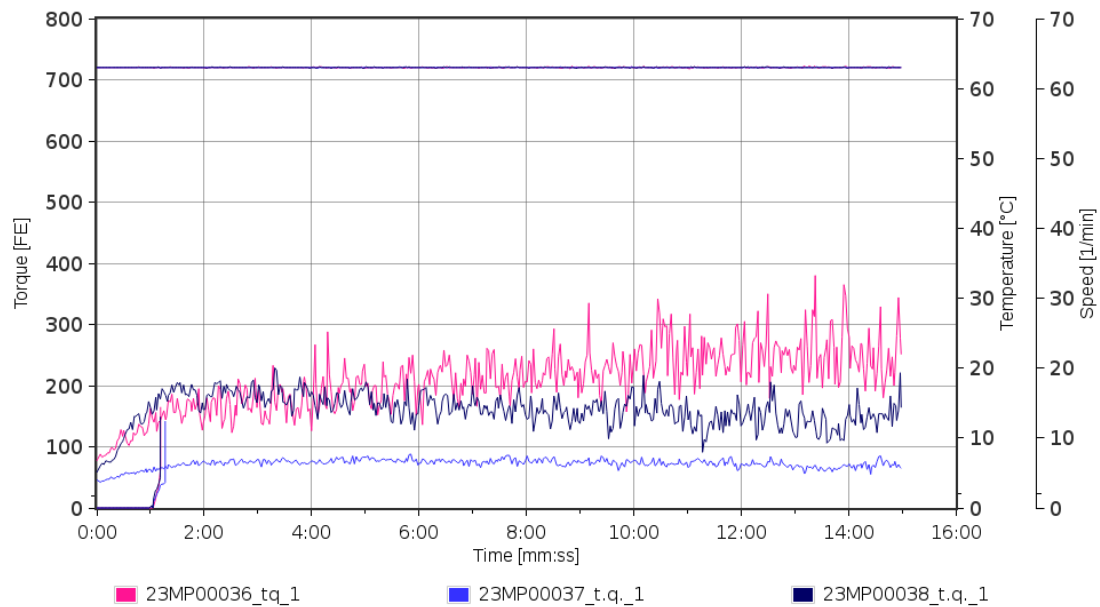
Tabella 4.7



Figura 4.6: Pasta di amido ottenuta a fine analisi: (a) farina di riso; (b) farina di mais giallo; (c) farina di lenticchia rossa; (d) farina di pisello giallo

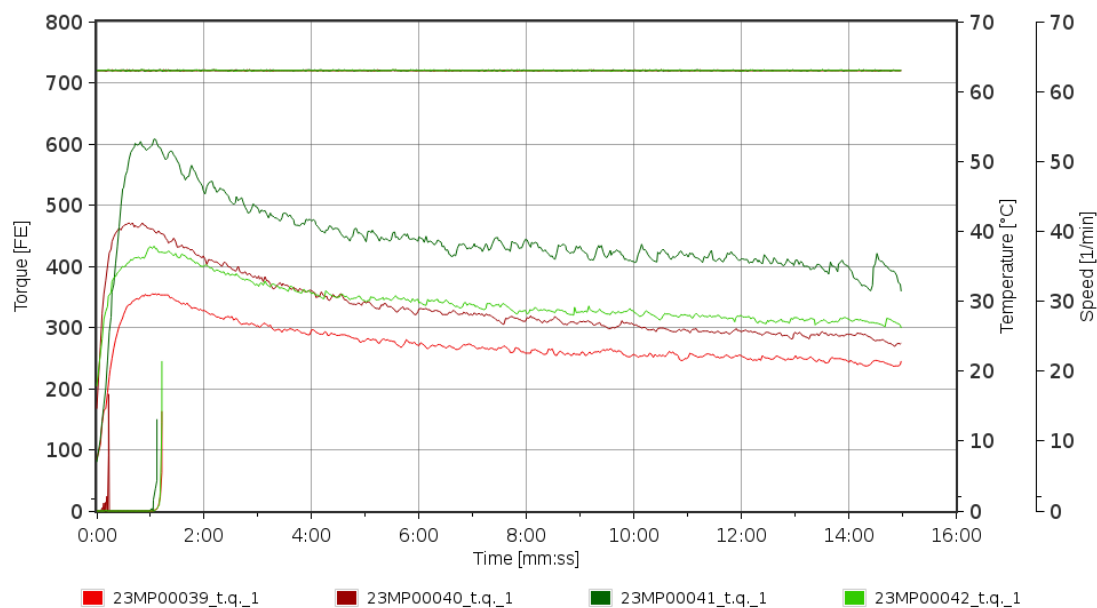
4.2.2. Risultati al Farinografo Brabender®

Le Figure 4.7 e 4.8 riportano rispettivamente il grafico riassuntivo delle curve dei cereali e dei legumi ottenute al Farinografo.



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00036_tq_1	14:59	28.1	10:42	260	33.3	27.3	23.4	
23MP00037_t.q._1	14:59	28.2	04:31	77	33.3	22.7	19.9	11:45
23MP00038_t.q._1	14:59	28.7	01:26	191	33.3	25.6	22.1	07:33

Figura 4.7: Grafici delle farine di cereali. In particolare: farina di riso (23MP00036_tq_1); farina di mais bianco (23MP00037_t.q._1); farina di mais giallo (23MP00038_t.q._1)



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00039_t.q._1	14:59	28.5	00:54	350	33.3	29.6	24.3	01:01
23MP00040_t.q._1	14:59	28.7	00:36	465	33.3	32.4	26.7	00:54
23MP00041_t.q._1	14:59	29	00:49	591	33.3	35.6	29.7	00:55
23MP00042_t.q._1	14:59	28.1	00:56	421	33.3	31.3	26.9	01:22

Figura 4.8: Grafici delle farine di legumi. In particolare: farina di lenticchie rosse (23MP00039_t.q._1); farina di lenticchie gialle (23MP00040_t.q._1); farina di piselli gialli (23MP00041_t.q._1); farina di piselli verdi (23MP00042_t.q._1)

Nelle farine di cereali si è osservata una miscelazione non uniforme, che si traduce in una curva molto oscillante e in valori di tempo di sviluppo dell'impasto (DDT) e di stabilità (S) non significativi.

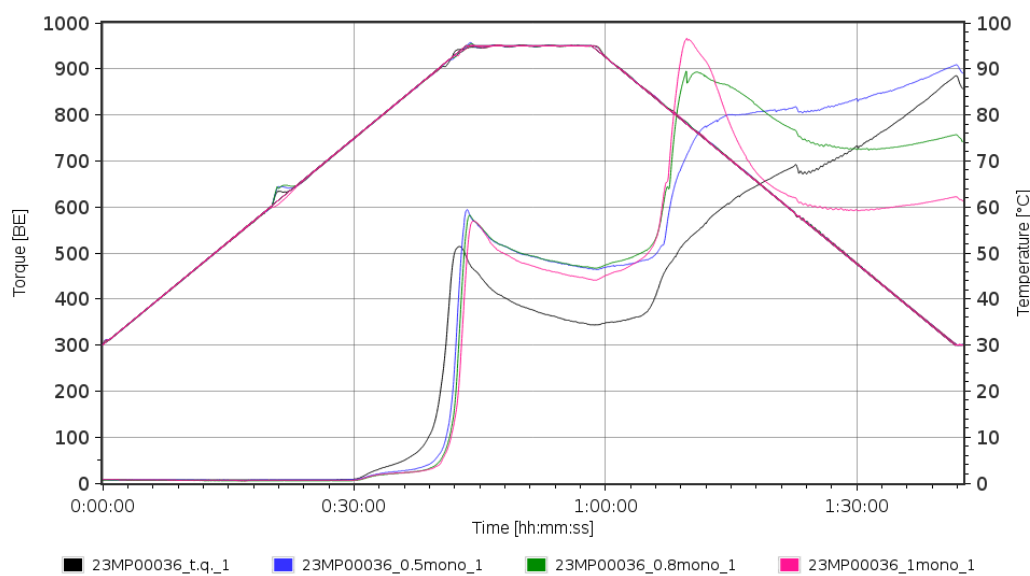
Il valore di stabilità viene determinato quando la curva della torque scende al di sotto del valore di consistenza. Nel caso della farina di riso, la curva della torque continua a salire per tutta la durata della prova; per ottenere tale valore, allora, occorre estendere la durata dell'analisi oltre i 15 minuti ma, non essendo un parametro rilevante, non è stato fatto.

Nelle farine di legumi, la mancanza di una rete viscoelastica come il glutine non porta alla formazione di un vero e proprio impasto; tuttavia, dall'andamento della curva si può osservare che il massimo della consistenza viene raggiunto in meno di 1 minuto, dimostrando che il legume non forma un impasto ma aggrega subito. La consistenza ottimale dell'impasto (C) si raggiunge generalmente a valori di consistenza inferiori a 500 FE. Un valore di consistenza maggiore, come nel caso della farina di piselli gialli (591 FE), può essere correlato a un contenuto di proteine o di fibre più elevato.

4.3. Risultati dell'analisi su farine gluten-free addizionate con E471

4.3.1. Risultati al Micro Visco-Amilografo Brabender®

Le Figure 4.9, 4.10 e 4.11 riportano rispettivamente il grafico delle curve ottenute al MVAG delle farine di riso, mais bianco e mais giallo, addizionate con E471 al 0.5% - 0.8% - 1% p/p.

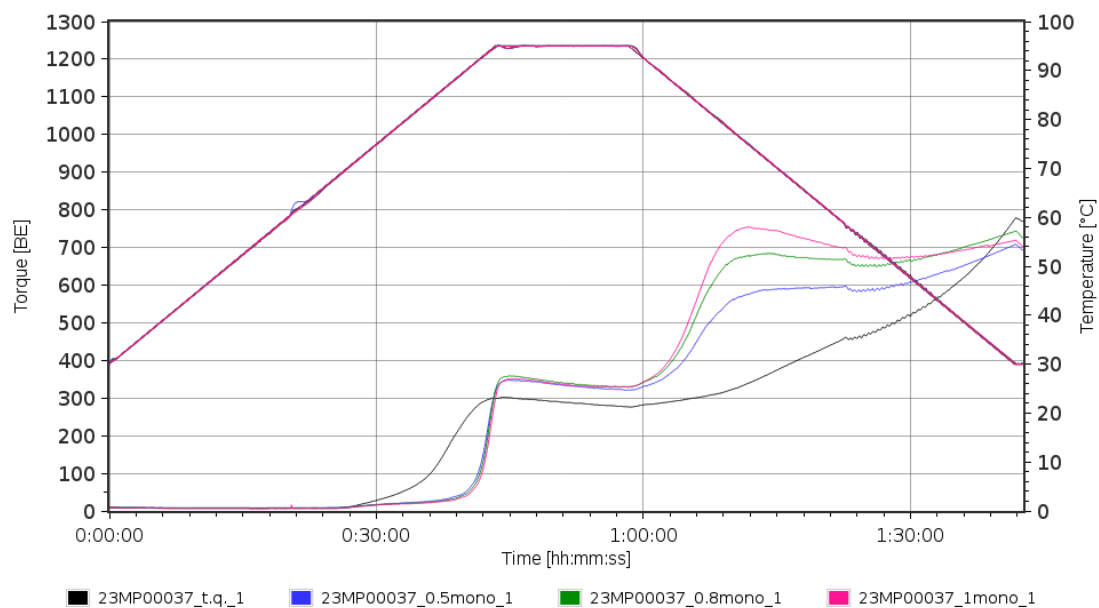


A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00036 t.q...	00:34:03	37	80.9
23MP00036 0.5...	00:38:14	36	87.2
23MP00036 0.8...	00:39:11	34	88.5
23MP00036 1m...	00:39:40	35	89.3

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00036 t.q...	170	540
23MP00036 0.5...	128	442
23MP00036 0.8...	114	288
23MP00036 1m...	128	180

Figura 4.9: Grafico riassuntivo dei test su farina di riso addizionata con mono- e digliceride degli acidi grassi E471. In particolare: farina di riso tal quale (23MP00036_t.q._1); farina di riso + 0.5% E471 (23MP00036_0.5mono_1); farina di riso + 0.8% E471 (23MP00036_0.8mono_1); farina di riso + 1% E471 (23MP00036_1mono_1)

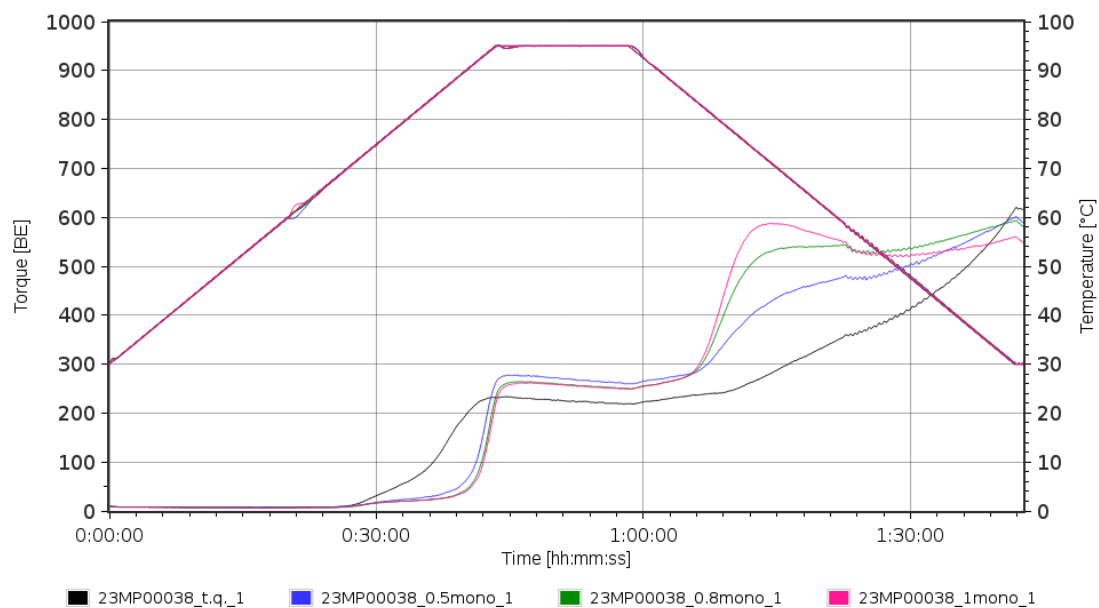


A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00037_t.q...	00:31:07	36	76.5
23MP00037_0.5...	00:38:44	38	88.1
23MP00037_0.8...	00:39:15	37	88.7
23MP00037_1m...	00:39:36	36	89.3

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00037_t.q...	26	497
23MP00037_0.5...	28	385
23MP00037_0.8...	30	413
23MP00037_1m...	21	388

Figura 4.10: Grafico riassuntivo dei test su farina di mais bianco addizionata con mono- e digliceride degli acidi grassi E471. In particolare: farina di mais bianco tal quale (23MP00037_t.q_1); farina di mais bianco + 0.5% E471 (23MP00037_0.5mono_1); farina di mais bianco + 0.8% E471 (23MP00037_0.8mono_1); farina di mais bianco + 1% E471 (23MP00037_1mono_1)



A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00038_t.q...	00:30:43	37	75.9
23MP00038_0.5...	00:37:39	37	86.4
23MP00038_0.8...	00:39:16	36	88.7
23MP00038_1m...	00:39:32	36	89.2

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00038_t.q...	15	396
23MP00038_0.5...	18	339
23MP00038_0.8...	14	343
23MP00038_1m...	13	310

Figura 4.11: Grafico riassuntivo dei test su farina di mais giallo addizionata con mono- e digliceride degli acidi grassi E471. In particolare: farina di mais giallo tal quale (23MP00038_t.q...); farina di mais giallo + 0.5% E471 (23MP00038_0.5mono_1); farina di mais giallo + 0.8% E471 (23MP00038_0.8mono_1); farina di mais giallo + 1% E471 (23MP00038_1mono_1)

Confrontando i grafici ottenuti, si osserva la presenza di un “doppio picco”: uno alla fine della fase di riscaldamento e uno in fase di raffreddamento. Il secondo picco, in fase di retrogradazione, indica che, sotto queste condizioni operative, l’amido si riorganizza due volte portando alla formazione di una pasta di amido dalla struttura molto ordinata e compatta.

I risultati mostrano che l’aggiunta di additivo influenza le *pasting properties* dell’amido. La frazione di amido che lega i lipidi, e quindi il mono- e digliceride degli acidi grassi E471, è l’amilosio. Le prove eseguite dimostrano che E471 si posiziona all’interno dell’elica di amilosio e, limitandone la solubilizzazione, rallenta il rigonfiamento dei granuli di amido e, di conseguenza, rallenta l’inizio della gelatinizzazione. I campioni additivati mostrano una temperatura di inizio gelatinizzazione più elevata rispetto ai campioni addizionati tal quale.

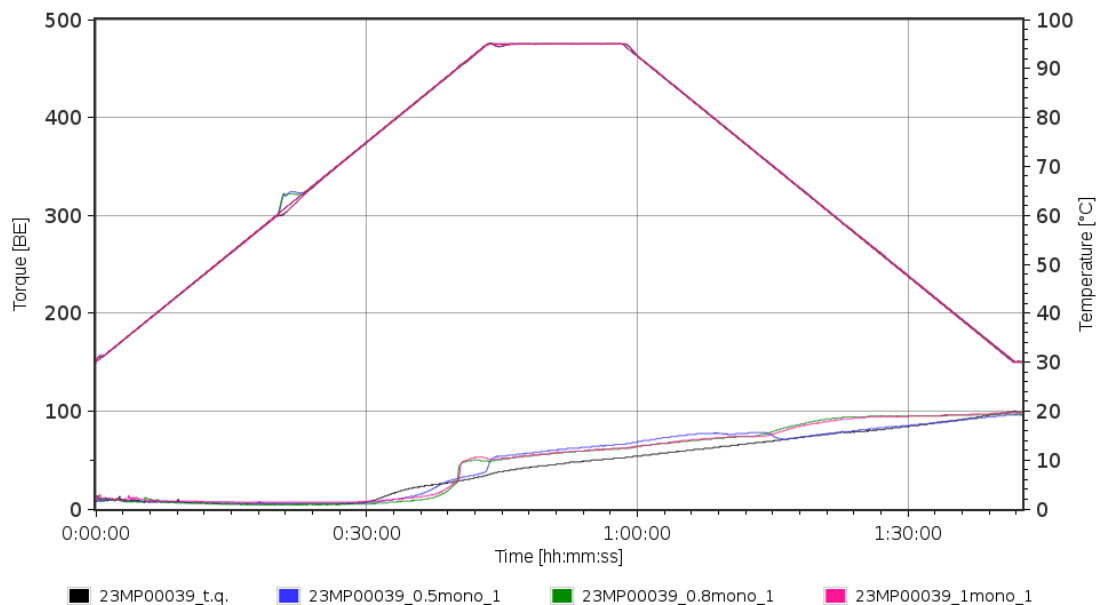
Oltretutto, come mostrato dalle tabelle, l’inizio della gelatinizzazione e la temperatura di inizio gelatinizzazione sono correlati positivamente con la percentuale di mono- e digliceride addizionata: infatti, all’aumentare della percentuale di E471, aumentano anche questi due parametri.

Analizzando le viscosità a 95°C, si osserva che i picchi delle curve dei campioni additivati sono più alti in confronto alle rispettive farine prive di additivo ma, se confrontati tra di loro, risultano pressoché sovrapposti. Di conseguenza, la percentuale di additivo aggiunta non impatta sulla viscosità della pasta di amido alla fine del periodo di riscaldamento.

Il Breakdown misura la stabilità dell’amido dopo la sua gelatinizzazione: maggiore è il valore di Breakdown, minore è la stabilità dell’amido gelatinizzato ai trattamenti termici e allo *shear thinning*. Solo nella farina di riso si osservano differenze significative tra il valore di Breakdown dei campioni additivati rispetto al tal quale: in particolare, l’aggiunta dell’additivo migliora la stabilità del granulo di amido.

Il Setback fornisce informazioni sulla retrogradazione dell’amido durante il periodo di raffreddamento. Analizzando i valori di Setback, si osserva che i lipidi rallentano la fase di retrogradazione dell’amido, ma non in maniera proporzionale alla quantità di additivo aggiunto.

Le Figure 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 riportano, invece, il grafico delle curve ottenute al MVAG delle farine di legumi addizionate con mono- e digliceride E471 al 0.5% - 0.8% - 1% p/p.

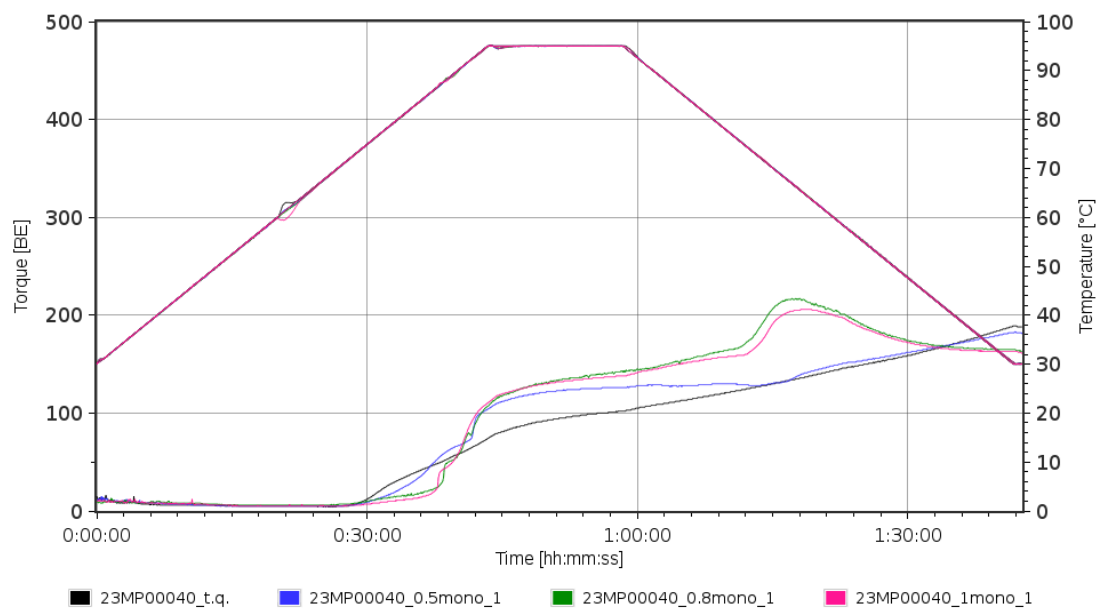


A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00039_t.q.	00:43:24	35	94.9
23MP00039_0.5...	00:42:24	36	93.5
23MP00039_0.8...	00:40:10	35	90.4
23MP00039_1m...	00:40:21	38	90.3

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00039_t.q.	0	47
23MP00039_0.5...	0	30
23MP00039_0.8...	0	35
23MP00039_1m...	0	37

Figura 4.12: Grafico riassuntivo dei test su farina di lenticchia rossa addizionata con E471. In particolare: farina di lenticchia rossa tal quale (23MP00039_t.q.); farina di lenticchia rossa + 0.5% E471 (23MP00039_0.5mono_1); farina di lenticchia rossa + 0.8% E471 (23MP00039_0.8mono_1); farina di lenticchia rossa + 1% E471 (23MP00039_1mono_1)

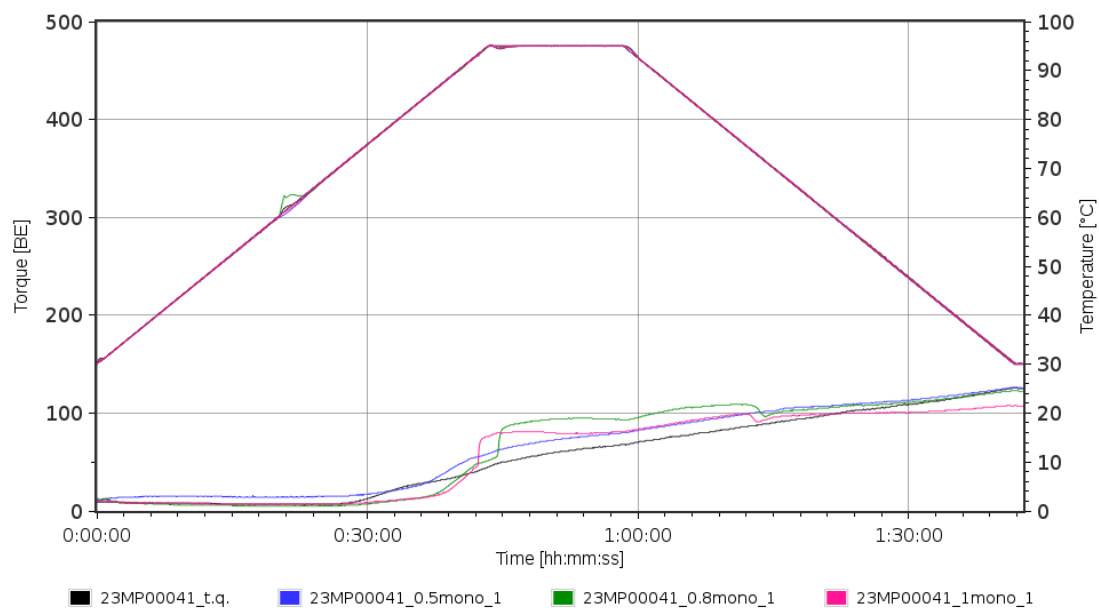


A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00040_t.q.	00:34:00	34	80.7
23MP00040_0.5...	00:35:49	35	83.5
23MP00040_0.8...	00:38:32	39	87.9
23MP00040_1m...	00:37:57	35	87.2

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00040_t.q.	0	87
23MP00040_0.5...	0	56
23MP00040_0.8...	1	23
23MP00040_1m...	0	25

Figura 4.13: Grafico riassuntivo dei test su farina di lenticchia gialla addizionata con E471. In particolare: farina di lenticchia gialla tal quale (23MP00040_t.q.); farina di lenticchia gialla + 0.5% E471 (23MP00040_0.5mono_1); farina di lenticchia gialla + 0.8% E471 (23MP00040_0.8mono_1); farina di lenticchia gialla + 1% E471 (23MP00040_1mono_1)

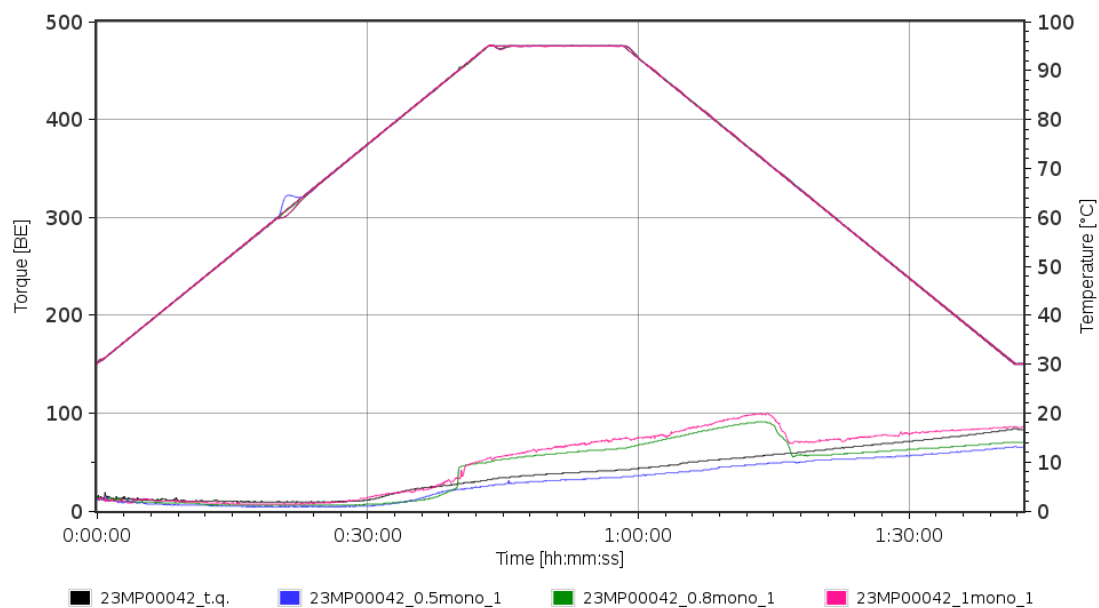


A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00041 t.q.	00:40:13	36	90.1
23MP00041 0.5...	00:38:43	40	87.9
23MP00041 0.8...	00:40:15	35	90
23MP00041 1m...	00:40:59	36	91.3

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00041 t.q.	0	58
23MP00041 0.5...	0	46
23MP00041 0.8...	2	30
23MP00041 1m...	0	26

Figura 4.14: Grafico riassuntivo dei test su farina di pisello giallo addizionata con E471. In particolare: farina di pisello giallo tal quale (23MP00041_t.q.); farina di pisello giallo + 0.5% E471 (23MP00041_0.5mono_1); farina di pisello giallo + 0.8% E471 (23MP00041_0.8mono_1); farina di pisello giallo + 1% E471 (23MP00041_1mono_1)



A (Beginning of gelatinization)

ID	Time [hh:mm:ss]	Torque [BE]	Temperature [°C]
23MP00042_t.q.	00:51:37	39	95
23MP00042_0.5...	00:55:42	34	95
23MP00042_0.8...	00:40:03	36	90.1
23MP00042_1m...	00:40:22	40	90.3

ID	B-2 (Breakdown) [BE]	3-2 (Setback) [BE]
23MP00042_t.q.	0	42
23MP00042_0.5...	0	31
23MP00042_0.8...	0	6
23MP00042_1m...	0	11

Figura 4.15: Grafico riassuntivo dei test su farina di pisello verde addizionata con E471. In particolare: farina di pisello verde tal quale (23MP00042_t.q.); farina di pisello verde + 0.5% E471 (23MP00042_0.5mono_1); farina di pisello verde + 0.8% E471 (23MP00042_0.8mono_1); farina di pisello verde + 1% E471 (23MP00042_1mono_1)

I risultati dell'analisi delle farine gluten-free a base di legumi dimostrano che, nonostante l'aggiunta di percentuali crescenti di mono- e digliceride degli acidi grassi E471, si ottengono curve al Micro Visco-Amilografo molto più basse rispetto ai cereali.

I risultati ottenuti non mostrano nessun impatto del mono- e digliceride in fase di gelatinizzazione: infatti, non si osserva nessuna correlazione tra l'aggiunta dell'additivo e il ritardo nell'inizio della gelatinizzazione o l'aumento della temperatura di inizio gelatinizzazione.

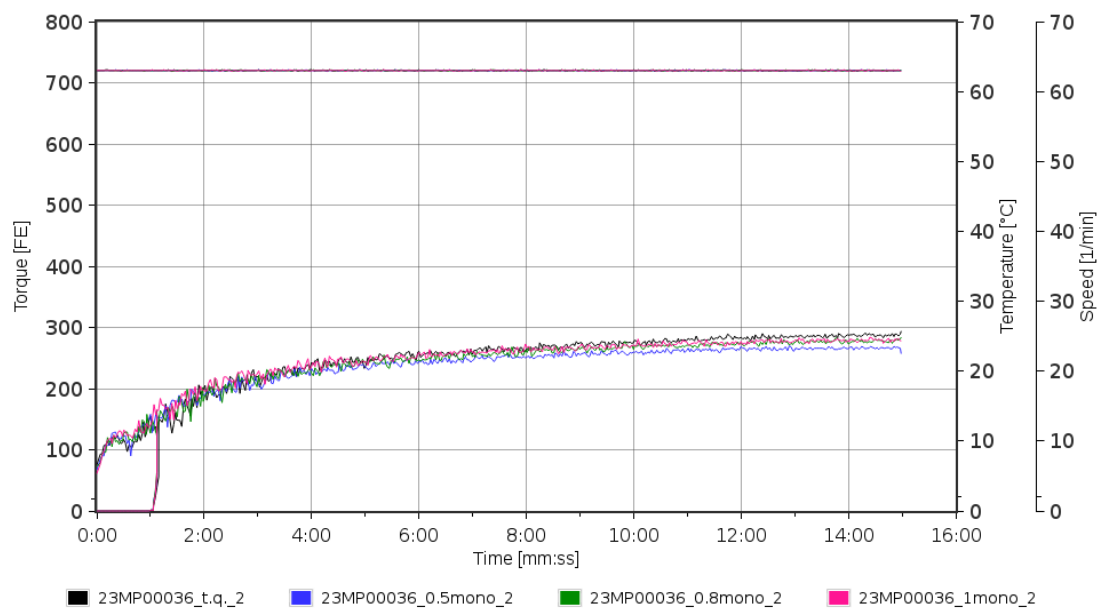
Confrontando le viscosità a 95°C, non sono osservabili cambiamenti significativi nei picchi di viscosità nei campioni additivati rispetto al campione analizzato tal quale.

Il Breakdown misura la stabilità dell'amido gelatinizzato ai trattamenti termici e allo *shear thinning*. I valori di Breakdown ottenuti, perlopiù uguali a zero, mostrano le farine di legumi sono molto stabili a queste due tipologie di stress, con o senza l'aggiunta di additivo.

Il Setback fornisce informazioni sulla retrogradazione dell'amido durante il periodo di raffreddamento. Analizzando i valori di Setback si osserva che, anche nel caso delle farine di legumi, il mono- e digliceride rallenta la fase di retrogradazione dell'amido, ma non in maniera proporzionale alla quantità di additivo aggiunta.

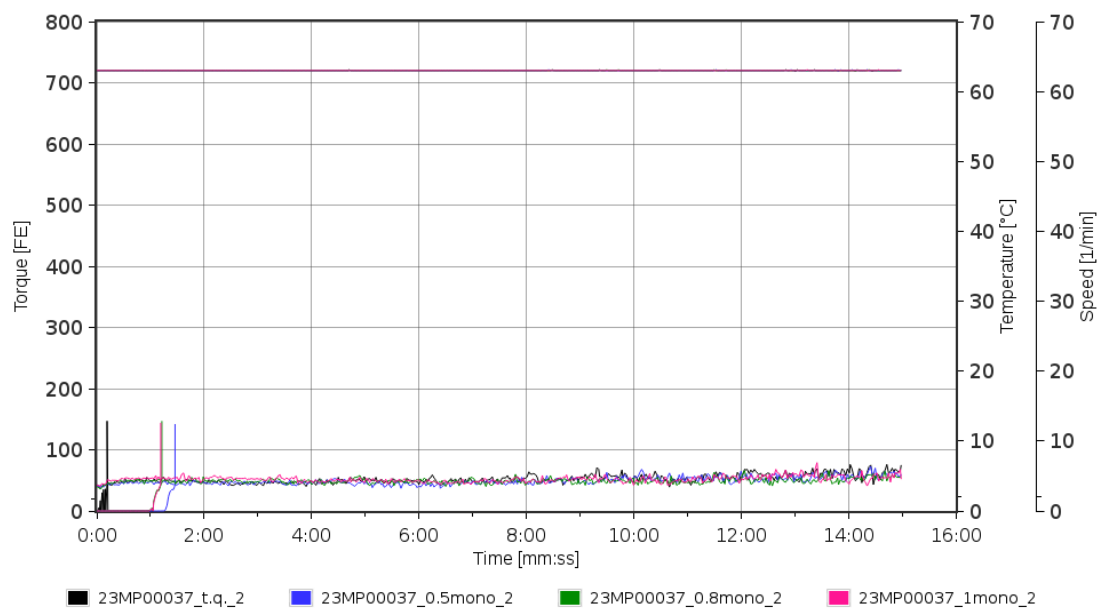
4.3.2. Risultati al Farinografo Brabender®

Le Figure 4.16, 4.17 e 4.18 riportano rispettivamente i grafici delle curve ottenute analizzando al Farinografo i campioni di farina di riso, farina di mais bianco e farina di mais giallo addizionate con il mono- e digliceride degli acidi grassi E471 al 0.5% - 0.8% - 1% p/p e confrontate con il campione non additivato.



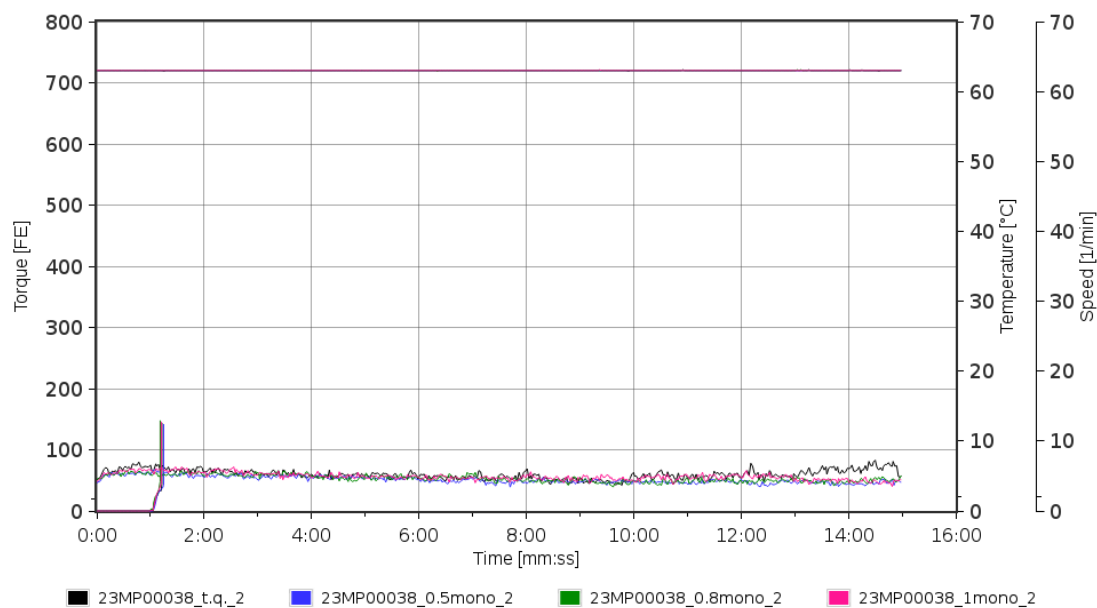
ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00036 t.q. 2	14:59	28	13:48	286	40	34.7	33	
23MP00036 0.5mono...	14:59	29	11:53	264	40	34.1	32.6	
23MP00036 0.8mono...	14:59	29.3	13:25	276	40	34.4	32.7	
23MP00036 1mon...	14:59	29.4	12:26	277	40	34.4	32.6	

Figura 4.16: Grafico riassuntivo dei test su farina di riso addizionata con E471. In particolare: farina di riso tal quale (23MP00036_t.q._2); farina di riso + 0.5% E471 (23MP00036_0.5mono_2); farina di riso + 0.8% E471 (23MP00036_0.8mono_2); farina di riso + 1% E471 (23MP00036_1mono_2)



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00037_t.q._2	14:59	28	14:45	64	40	29.1	27.6	
23MP00037_0.5mono...	14:59	28	13:35	58	40	29	27.2	
23MP00037_0.8mo...	14:59	28.2	14:12	54	40	28.9	26.8	
23MP00037_1mon...	14:59	28.8	12:41	58	40	29	26.9	

Figura 4.17: Grafico riassuntivo dei test su farina di mais bianco addizionata con E471. In particolare: farina di mais bianco tal quale (23MP00037_t.q._2); farina di mais bianco + 0.5% E471 (23MP00037_0.5mono_2); farina di mais bianco + 0.8% E471 (23MP00037_0.8mono_2); farina di mais bianco + 1% E471 (23MP00037_1mono_2)

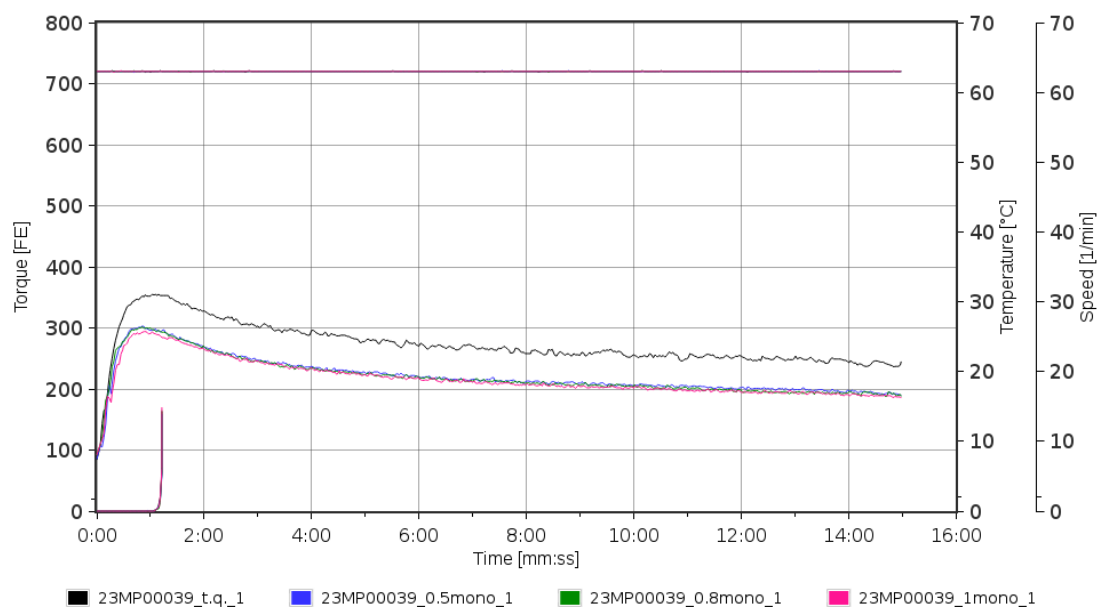


ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00038_t.q._2	14:59	28	00:36	71	40	29.3	27.8	02:49
23MP00038_0.5mo...	14:59	28	00:30	60	40	29	27.7	05:11
23MP00038_0.8mo...	14:59	28.2	00:17	56	40	28.9	27.4	08:09
23MP00038_1mon...	14:59	28.4	00:34	65	40	29.1	27.3	04:07

Figura 4.18: Grafico riassuntivo dei test su farina di mais giallo addizionata con E471. In particolare: farina di mais giallo tal quale (23MP00038_t.q._2); farina di mais giallo + 0.5% E471 (23MP00038_0.5mono_2); farina di mais giallo + 0.8% E471 (23MP00038_0.8mono_2); farina di mais giallo + 1% E471 (23MP00038_1mono_2)

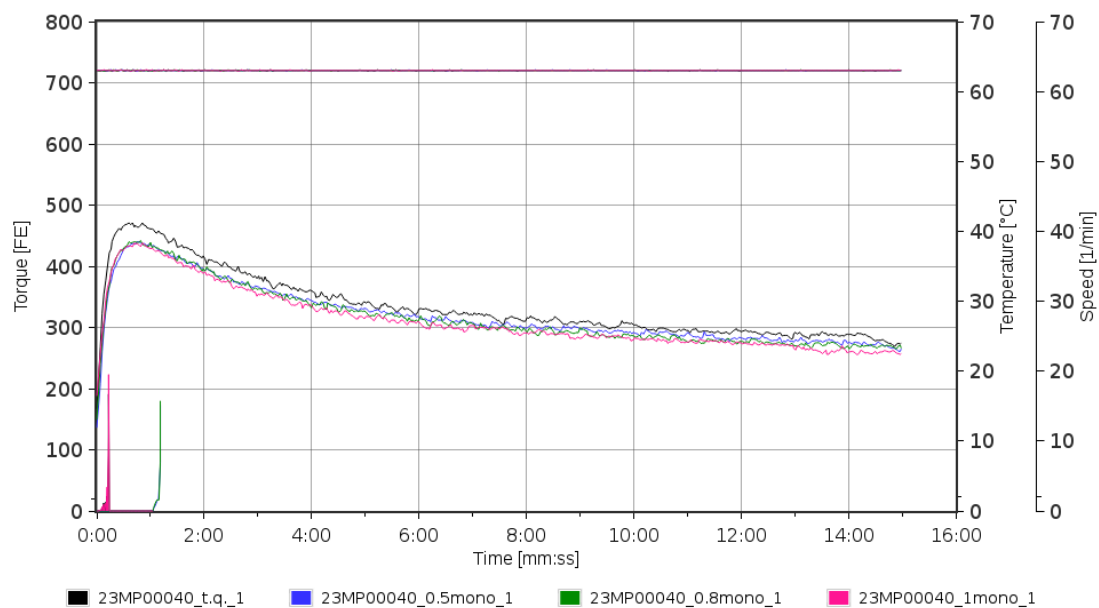
Confrontando le curve ottenute al Farinografo delle farine gluten-free a base di cereali e addizionate con il mono- e digliceride degli acidi grassi E471 è possibile osservare che le curve corrispondenti ai campioni addizionati non mostrano differenze significative in termini di consistenza in confronto alle rispettive farine prive del mono- e digliceride. Tale risultato è indipendente dalla quantità di additivo usata.

Le Figure 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22 riportano, invece, i grafici delle curve ottenute analizzando al Farinografo i campioni delle farine di legumi addizionate con tre differenti percentuali di mono- e digliceride degli acidi grassi E471 (0.5% - 0.8% e 1% p/p) e confrontate con il rispettivo campione non additivato.



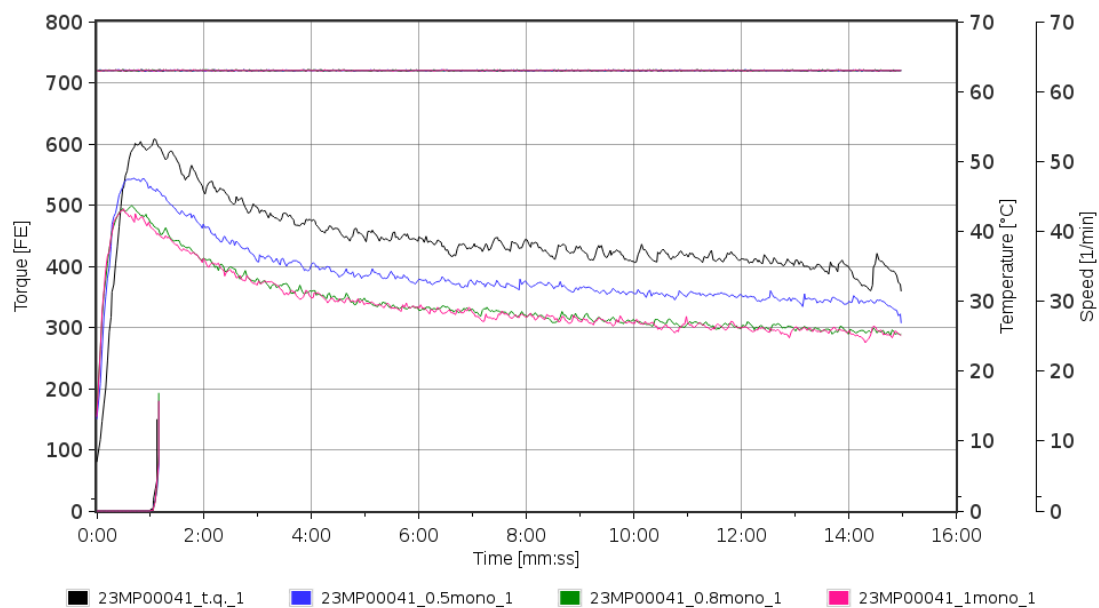
ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00039_t.q._1	14:59	28.5	00:54	350	33.3	29.6	24.3	01:01
23MP00039_0.5mono_1	14:59	28.3	00:45	295	33.3	28.2	24	00:56
23MP00039_0.8mono_1	14:59	29.6	00:45	294	33.3	28.2	24	00:58
23MP00039_1mono_1	14:59	30	00:45	287	33.3	28	23.8	00:59

Figura 4.19: Grafico riassuntivo dei test su farina di lenticchia rossa addizionata con E471. In particolare: farina di lenticchia rossa tal quale (23MP00039_t.q._1); farina di lenticchia rossa + 0.5% E471 (23MP00039_0.5mono_1); farina di lenticchia rossa + 0.8% E471 (23MP00039_0.8mono_1); farina di lenticchia rossa + 1% E471 (23MP00039_1mono_1)



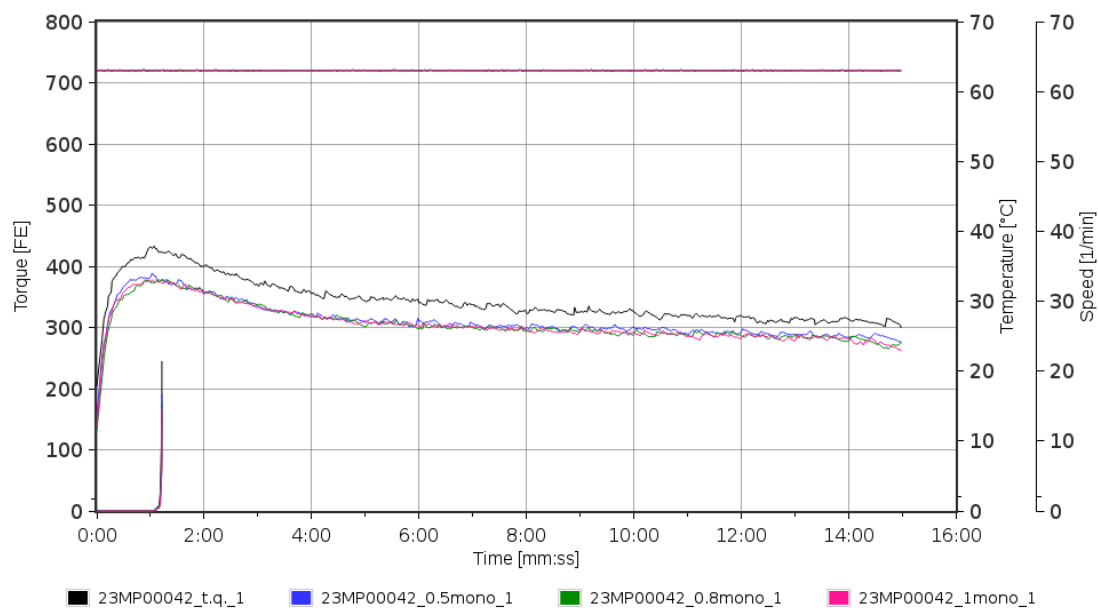
ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00040_t.q._1	14:59	28.7	00:36	465	33.3	32.4	26.7	00:54
23MP00040_0.5mo...	14:59	29.2	00:40	431	33.3	31.6	26	01:01
23MP00040_0.8mo...	14:59	29.7	00:38	433	33.3	31.6	26	01:03
23MP00040_1mon...	14:59	28.4	00:38	431	33.3	31.6	26.3	00:55

Figura 4.20: Grafico riassuntivo dei test su farina di lenticchia gialla addizionata con E471. In particolare: farina di lenticchia gialla tal quale (23MP00040_t.q._1); farina di lenticchia gialla + 0.5% E471 (23MP00040_0.5mono_1); farina di lenticchia gialla + 0.8% E471 (23MP00040_0.8mono_1); farina di lenticchia gialla + 1% E471 (23MP00040_1mono_1)



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00041_t.q._1	14:59	29	00:49	591	33.3	35.6	29.7	00:55
23MP00041_0.5mono...	14:59	28.4	00:42	537	33.3	34.2	31	00:48
23MP00041_0.8mo...	14:59	28.4	00:36	488	33.3	33	30.6	00:48
23MP00041_1mon...	14:59	28.9	00:30	476	33.3	32.7	30	00:50

Figura 4.21: Grafico riassuntivo dei test su farina di pisello giallo addizionata con E471. In particolare: farina di pisello giallo tal quale (23MP00041_t.q._1); farina di pisello giallo + 0.5% E471 (23MP00041_0.5mono_1); farina di pisello giallo + 0.8% E471 (23MP00041_0.8mono_1); farina di pisello giallo + 1% E471 (23MP00041_1mono_1)



ID	T	DT	DDT	C	WZ	WAC	WAM	S
23MP00042_t.q._1	14:59	28.1	00:56	421	33.3	31.3	26.9	01:22
23MP00042_0.5mo...	14:59	28.5	00:43	377	33.3	30.2	26.1	01:27
23MP00042_0.8mo...	14:59	28.9	00:56	372	33.3	30.1	25.9	01:27
23MP00042_1mon...	14:59	28.9	00:49	371	33.3	30.1	25.7	01:33

Figura 4.22: Grafico riassuntivo dei test su farina di pisello verde addizionata con E471. In particolare: farina di pisello verde tal quale (23MP00042_t.q._1); farina di pisello verde + 0.5% E471 (23MP00042_0.5mono_1); farina di pisello verde + 0.8% E471 (23MP00042_0.8mono_1); farina di pisello verde + 1% E471 (23MP00042_1mono_1)

Confrontando le curve ottenute è possibile osservare che i campioni a base di legumi e additivati con il mono- e digliceride degli acidi grassi E471 mostrano una consistenza minore, diversamente da quanto ottenuto con le farine di cereali. In realtà, si tratta di un risultato atteso: il mono- e digliceride, infatti, sommato ai lipidi presenti nella materia prima di partenza, porta ad un eccesso di sostanze grasse nelle farine di legumi che determina una diminuzione del valore della consistenza.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

La popolarità della pasta è da attribuire alla sua praticità, ampia distribuzione, versatilità, prolungata shelf-life, nonché alle sue proprietà nutrizionali. Nonostante la semola di grano duro sia riconosciuta come la materia prima ideale per la produzione di pasta secca convenzionale, negli ultimi anni farine di grano tenero e farine gluten-free stanno trovando ampio impiego nella produzione di pasta. Tuttavia, le materie prime non convenzionali influiscono sulle proprietà tecnologiche e sensoriali del prodotto finale e non esistono ancora delle metodologie standardizzate per valutarne l'attitudine alla pastificazione.

Nel corso di questo lavoro sono state sviluppate delle metodologie basate su Micro Visco-Amilografo e Farinografo Brabender® per la caratterizzazione di materie prime gluten-free adatte alla produzione della pasta secca industriale.

Cereali e legumi rappresentano le più importanti fonti di alimenti di origine vegetale per l'uomo e contribuiscono in maniera importante alla sicurezza alimentare e nutrizionale sia dei Paesi Sviluppati sia dei Paesi in Via di Sviluppo. Dalla ricerca bibliografica preliminare è emerso che, rispetto ai cereali, i legumi hanno un minore contenuto di amido, una maggiore concentrazione di fibre alimentari e un maggiore contenuto proteico, caratterizzato da una composizione amminoacidica più equilibrata e ricca in amminoacidi essenziali. Perciò, trattandosi di materie prime con diversa origine botanica e con differente composizione e qualità nutrizionale, si è ritenuto opportuno graficare e analizzare in maniera separata i sette campioni di farine gluten-free scelti per condurre la ricerca.

In assenza di una maglia viscoelastica come il glutine, nella pasta gluten-free l'amido è un importante determinante della qualità, dell'accettabilità e della shelf-life del prodotto finito. Le proprietà strutturali e nutrizionali della pasta gluten-free sono legate sia alla quantità e all'organizzazione dell'amido nella materia prima di partenza, sia alle sue modificazioni promosse da processi idro-termici e meccanici che si verificano durante la produzione del prodotto finito. Di conseguenza, la scelta di materie prime idonee (cioè con elevata capacità di gelatinizzazione e retrogradazione) e le condizioni di lavorazione (ovvero i parametri

di processo in grado di favorire la destrutturazione dell'amido e la sua riorganizzazione) sono fondamentali per ottenere un prodotto finale con un buon comportamento in cottura. Tuttavia, nonostante l'importanza centrale delle *pasting properties* dell'amido in molte applicazioni tecnologiche, ad oggi vi è una comprensione limitata dei fattori che ne controllano la velocità e l'andamento.

L'origine botanica e genetica degli amidi è indubbiamente un importante determinante di tali proprietà, come dimostrato dai differenti profili Micro Visco-Amilografici degli amidi delle farine di cereali in confronto con quelli delle farine di legumi.

La velocità e l'entità del rigonfiamento dei granuli di amido sono influenzati anche dalla presenza di materiale non polisaccaridico in corrispondenza o in prossimità della superficie del granulo. La ricerca dimostra che una maggiore quantità di proteine determina un inizio di gelatinizzazione più rallentato e una temperatura di inizio gelatinizzazione più elevata. Tale effetto potrebbe essere dovuto al fatto che le proteine si dispongono formando un film attorno ai granuli di amido ostacolando, così, la diffusione di acqua all'interno del granulo e ritardando l'inizio della gelatinizzazione. In più, le proteine competono con l'amido per l'assorbimento di acqua, riducendo la quantità di acqua libera e a disposizione per l'amido per gelatinizzare.

Il contenuto di lipidi, tra i quali il mono- e digliceride degli acidi grassi E471, è stato provato avere un impatto in fase di gelatinizzazione solo nel caso delle farine di cereali. I lipidi interagiscono con l'amido venendo intrappolati nella cavità elicoidale dell'amilosio; ciò riduce la solubilità dell'amido in acqua, diminuisce la capacità di rigonfiamento dei granuli di amido determinando un ritardo dell'inizio di gelatinizzazione e una temperatura di inizio gelatinizzazione più elevata. Al contrario, i lipidi influenzano la fase di retrogradazione di entrambe le famiglie di materie prime, limitandola.

Oltre all'effetto di proteine e lipidi indagati in questa ricerca preliminare, anche la composizione dell'amido (contenuto di amilosio rispetto all'amilopectina), la dimensione del granulo e la quantità di amido danneggiato (sia meccanicamente, sia enzimaticamente) presente nella matrice di partenza sono fattori che influenzano le *pasting properties* dell'amido e, quindi, l'attitudine della materia prima alla pastificazione. Tali aspetti si prestano ad indagini e approfondimenti futuri.

Sebbene molti additivi siano usati per migliorare la lavorazione e/o la qualità dei prodotti gluten-free, gli emulsionanti rappresentano la classe di composti più comunemente utilizzati. Nello specifico, l'additivo più usato nella produzione industriale di pasta è il mono- e digliceride degli acidi grassi E471.

Dall'analisi comparativa dei campioni addizionati rispetto al tal quale emerge che il complesso amilosio-E471 si forma alle elevate temperature, in quanto si osservano differenze significative solo nelle curve ottenute al Micro Visco-Amilografo e non in quelle Farinografiche. Tali risultati permettono di concludere che il mono- e digliceride impatta in fase di gelatinizzazione e retrogradazione, ma non in fase di impastamento. In particolare, E471 rallenta la retrogradazione dell'amido, ma non in maniera proporzionale alla percentuale di additivo aggiunto. Ecco perché la quantità di mono- e digliceride usato in pastificazione varia tra 0.5% e 1%, in funzione della materia prima di partenza (cereale o legume) e del formato da produrre (pasta corta o pasta lunga).

Considerando la sua natura grassa, quindi, il mono- e digliceride può essere additivato per facilitare il processo di produzione, agendo come lubrificante nel processo di estrusione e consentendo una migliore separazione della pasta dalla trafilatura; oltretutto, conferisce una consistenza più compatta al prodotto finito, diminuendo la collosità e riducendo le perdite di amido in cottura.

Se nel processo di produzione della pasta secca convenzionale (a base di semola di grano duro) la gelatinizzazione dell'amido è auspicabile che sia più bassa possibile per ottenere un prodotto finale di buona qualità, nella produzione della pasta secca gluten-free occorre invece sfruttare le capacità riorganizzative dell'amido a seguito di un trattamento idro-termico per ottenere un prodotto finale con una consistenza e una struttura ottimale. Per gli amidi convenzionali, maggiore è la gelatinizzazione, maggiore sarà la tendenza a retrogradare. Perciò, per ottenere una pasta che non si sfaldi in cottura, occorre disorganizzare maggiormente l'amido in fase di gelatinizzazione affinché questo possa riorganizzarsi e compattarsi in fase di raffreddamento. I parametri che regolano la gelatinizzazione e la retrogradazione, tuttavia, non devono essere

portati all'estremo; il rischio è quello di ottenere un prodotto molto compatto, difficile da lavorare e processare.

Il “picco” registrato nella curva di retrogradazione delle farine di cereali è dovuto al lavoro meccanico compiuto dalla rotazione della paletta dello strumento, che determina due riorganizzazioni della struttura dell'amido. Questo risultato ci permette di concludere che la produzione di pasta gluten-free a base di cereali richiede un raffreddamento più veloce per evitare che l'amido si riorganizzi più volte, formando una struttura molto compatta e difficile da lavorare.

Detto questo, le farine di cereali, avendo un maggiore contenuto amidaceo, presentano una maggiore tendenza alla gelatinizzazione e retrogradazione dell'amido che le rende le materie prime più usate nella produzione industriale di pasta aglutinica.

La produzione di pasta 100% di legumi risulta essere più complessa poiché c'è una minore quantità di amido su cui lavorare. Tuttavia, il processo di produzione può essere eseguito senza l'aggiunta del mono- e digliceride degli acidi grassi E471, poiché le sostanze grasse sono naturalmente presenti e abbondanti nella materia prima di partenza.

Complessivamente, i metodi sviluppati in questo studio preliminare per la caratterizzazione di materie prime gluten-free adatte alla pastificazione hanno portato a conclusioni importanti sulle *pasting properties* dell'amido e sulle caratteristiche reologiche dell'impasto. Ciò è particolarmente importante considerando che non c'è ancora un grande know-how riguardo le analisi delle proprietà funzionali e strutturali di materie prime non convenzionali.

I metodi sviluppati possono essere sicuramente ottimizzati in futuro. Inoltre, se combinati con l'analisi di altre proprietà dell'amido (ad esempio, analisi della quantità di amido danneggiato), questi metodi possono aiutare a comprendere meglio il comportamento delle farine gluten-free nel processo di pastificazione. Sono necessari, però, ulteriori studi per migliorare le conoscenze in questo campo.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Ai, Y.; Jane, J. (2015). *Gelatinization and rheological properties of starch*. *Starch - Stärke*, 67(3 - 4), 213 - 224. doi:10.1002/star.201400201

Allen, B.; Orfila, C. (2018). *The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta*. *Nutrients*, 10, 1370. doi:10.3390/nu10101370

Blazek, J.; Gilbert, E. P.; Copeland, L. (2011). *Effects of monoglycerides on pasting properties of wheat starch after repeated heating and cooling*. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 151 - 159. doi:10.1016/j.jcs.2011.02.014

Boukid, F.; Folloni, S.; Sforza, S.; Vittadini, E.; Pranzi, B.; (2017). *Current Trends in Ancient Grains-Based Foodstuffs: Insights into Nutritional Aspects and Technological Applications*. *Food Science and Food Safety*. doi: 10.1111/1541-4337.12315

Boukid, F.; Zannini, E.; Carini, E.; Vittadini, E. (2019). *Pulses for bread fortification: A necessity or a choice?* *Trends in Food Science & Technology*, 88, 416 – 428. doi:10.1016/j.tifs.2019.04.007

Bresciani, A.; Annor, G.A.; Gardella, M.; Marti, A.. *Use of the Farinograph for gluten-free grains*. Chapter 9 in *The Farinograph Handbook (Fourth Edition)*, 111 - 126. doi:10.1016/B978-0-12-819546-8.00012-1

Bresciani, A.; Giordano, D.; Vanara, F.; Blandino, M.; Marti, A. (2021). *High-amylose corn in gluten-free pasta: Strategies to deliver nutritional benefits ensuring the overall quality*. *Food Chemistry*, 353, 129489. doi:10.1016/j.foodchem.2021.129489

Bresciani, A.; Pagani, M.A.; Marti, A. (2022). *Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality*. *Foods* 2022. doi:10.3390/foods11030256

Bruneel, C.; Pareyt, B.; Brijs, K.; Delcour, J.A. (2010). *The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products*. *Food Chem.* 120, 371 - 378. doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.069

Cornejo-Ramírez, Y. I.; Martínez-Cruz, O.; Del Toro-Sánchez, C. L.; Wong-Corral, F. J.; Borboa-Flores, J.; Cinco-Moroyoqui, F. J. (2018). *The structural characteristics of starches and their functional properties*. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003 - 1017. doi:10.1080/19476337.2018.1518343

Debet, M. R.; Gidley, M. J. (2006). *Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids*. *Carbohydrate Polymers*, 64(3), 452 - 465. doi:10.1016/j.carbpol.2005.12.011

Decreto del Presidente della Repubblica n.146. Regolamento per la revisione della normativa sulla produzione e commercializzazione di sfarinati e paste alimentari, a norma dell'articolo 50 della legge 22 febbraio 1994. Gazz. Uff. 2001, 117, 6 - 12

Food And Agriculture Organization of the United Nations. FAO/INFOODS Global Database for Pulses on Dry Matter Basis – version 1.0 (PulsesDM1.0).

Fuad, T.; Prabhasankar, P. (2010). *Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments*. *Crit. Rev. Food Sci.* doi:10.1080/10408390903001693

Gallant, D.J.; Bouchet, B.; Baldwin, P.M. (1997). *Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization*. *Carbohydrate Polymers* 32: 177 - 191. doi:10.1016/S0144-8617(97)00008-8

Hoover, R.; Hungnes, T.; Chung, H.J.; Liu, Q. (2010). *Composition, molecular structure, properties and modification of pulse starches: A review*. *Food Research International*. 43(2), 399 – 413. doi:10.1016/j.foodres.2009.09.001

IPO. The World Pasta Industry Status Report – International Pasta Organization.

Jane, J.; Chen, Y. Y.; Lee, L. F.; McPherson, A. E.; Wong, K. S.; Radosavljevic, M.; Kasemsuwan, T. (1999). *Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch*. *Cereal Chemistry Journal*, 76(5), 629-637. doi:10.1094/cchem.1999.76.5.629

Jekle, M.; Mühlberger, K.; Becker, T. (2016). *Starch–gluten interactions during gelatinization and its functionality in dough like model systems*. *Food Hydrocolloids*, 54, 196 - 201. doi:10.1016/j.foodhyd.2015.10.005

Mariotti, M.; Zardi, M.; Lucisano, M.; Pagani, M. A. (2005). *Influence of the Heating Rate on the Pasting Properties of Various Flours*. *Starch - Stärke*, 57(11), 564 - 572. doi:10.1002/star.200500425

Marti, A.; Pagani, M. A.; Seetharaman, K. (2011). *Understanding starch organization in gluten-free pasta from rice flour*. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 1069 - 1074. doi:10.1016/j.carbpol.2010.12.070

Marti, A.; Pagani, M.A. (2013). *What can play the role of gluten in gluten free pasta? Trends in Food Science & Technology*, 31(1), 63 - 71. doi:10.1016/j.tifs.2013.03.001

Padalino, L.; Conte, A.; Del Nobile, M.A. (2016). *Overview on the General Approaches to Improve Gluten-Free Pasta and Bread*. *Foods*, 5, 87. doi:10.3390/foods5040087

Salimi, M; Channab, B; El Idrissi, A; Zahouily, M (2023). *A comprehensive review on starch: Structure, modification, and applications in slow/controlled-release fertilizers in agriculture*. *Carbohydrate Polymers*, 322. doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121326

The Farinograph Handbook (2022): Advances in Technology, Science, and Applications. Fourth Edition. Edited by Jayne E. Bock and Clyde Don

Wang, S.; Li, C.; Copeland, L.; Niu, Q.; Wang, S. (2015). *Starch Retrogradation: A Comprehensive Review*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568 - 585. doi:10.1111/1541-4337.12143

<https://agritechno.ch/produit/falling-number-perten-fn-1500/>

<https://asinstruments.it/product/glutomatic/>

<https://brabender.com/en/product/farinograph/>

<https://brabender.com/en/product/micro-visco-amylo-graph/>

<https://eoptis.com/it/prodotti/standard/colorimetro-da-laboratorio>

https://eqec.pt/doc_ficheiros/sdmatc.pdf

<https://fao.org/faostat/en/#data/QC>

<https://geass.com/termobilancia-per-analisi-umidita-ohaus-mb120/>

<https://internationalpasta.org/annual-report/>

<https://it.scribd.com/document/162658138/GM-Method-Eng-Final>

<https://mulinopadano.it/blog/appfondimenti/falling-number-farina/>

<https://reire.com/wp-content/uploads/2021/01/4-18--e471-mono-e-digliceridi-degli-acidi-grassi-mdg-90.pdf>

<https://youtube.com/watch?v=nsNBoXJa-F0>