

# **Valutazione della qualità tecnologica del frumento mediante indici reologici di tipo fondamentale**

**Donatella Peressini**

Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali, Università di Udine, via Sondrio 2/A-33100 Udine

Ricevuto: 26 maggio 2017 / Accettato: 9 giugno 2017 / Pubblicato online: 18 luglio 2017

**Sommario** Nelle abitudini alimentari mediterranee il frumento rappresenta un cereale essenziale essendo utilizzato per prodotti come pane e pasta, che costituiscono la base dell'alimentazione. Diverse sono le tipologie di frumento (specie e varietà), che si differenziano per caratteristiche di produzione, di adattabilità, resistenza alle malattie e qualità tecnologica di trasformazione. L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di individuare metodiche reologiche fondamentali per la valutazione della qualità panificatoria di farine di frumento tenero.

**Parole chiave** frumento, glutine, panificazione, indici qualitativi, reologia degli impasti

**Abstract** *Considering the Mediterranean diet, wheat represents a fundamental cereal as raw material to produce staple foods such as bread and pasta. There are several types of wheat (species and varieties), which exhibit different yields, adaptability, disease resistance and technological performances.*

*The aim of this work was to identify fundamental rheological methods to evaluate breadmaking performance of common wheat flours.*

**Keywords** *wheat, gluten, breadmaking, quality indexes, dough rheology*

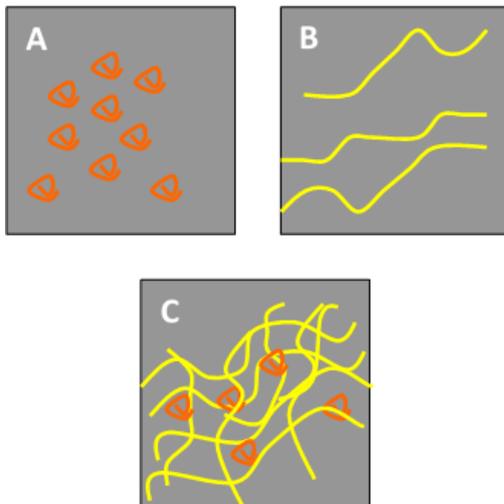
## **1. Introduzione**

Le proprietà funzionali uniche degli impasti di frumento sono principalmente ascrivibili alla quantità e qualità (composizione) delle proteine. Il contenuto proteico della cariosside si estende in un intervallo piuttosto ampio, dall'8 al 18%, poiché dipende da diversi fattori (genetici, ambientali e agronomici).

La qualità è determinata da due classi di proteine accumulate nell'endosperma durante lo sviluppo della cariosside, le gliadine e le glutenine, che rappresentano circa l'80% delle proteine totali e che possiedono la capacità di interagire tra di loro durante l'impastamento sviluppando un complesso proteico, denominato glutine (Fig. 1).

La qualità delle proteine del glutine è uno dei fattori più importanti, che determinano le proprietà viscoelastiche degli impasti di frumento, quali estensibilità ed elasticità. L'estensibilità assicura l'espansione in volume della massa di impasto durante la lievitazione e nelle prime fasi di cottura, mentre l'elasticità permette un controllo della forma desiderata.

Le gliadine sono proteine monomeriche (costituite da una singola catena polipeptidica), caratterizzate da una conformazione globulare e da una massa molecolare di 32000-70000 Da. Le glutenine sono dei polimeri nei quali i polipeptidi individuali (subunità) sono legati tra di loro da legami disolfuro (legami S-S inter-polipeptidici). Questa frazione è altamente polidispersa con un peso molecolare medio superiore a 1 milione di dalton. A differenza delle gliadine, le glutenine hanno l'opportunità di formare legami disolfuro intermolecolari permettendo la formazione di reticoli proteici di elevate dimensioni.



**Figura 1** – Gliadine (A), glutenine (B) e glutine (C).

Le proprietà viscoelastiche dell'impasto sono principalmente determinate dalle proprietà del glutine idratato. Da un lato c'è la funzione plasticizzante delle gliadine, dall'altro il contributo elastico delle glutenine, che cresce all'aumentare della grandezza del polimero.

La Fig. 2 rappresenta un'immagine della microstruttura dell'impasto per pane ottenuta mediante microscopia CSLM (*Confocal Scanning Laser Microscopy*). Questa tecnica ha il vantaggio di evidenziare molto chiaramente i due componenti principali dell'impasto, granuli di amido (verde) e proteine (rosso), ed eventuali bolle d'aria (nero). La funzione delle proteine della farina è quella di creare nell'impasto una rete proteica, rappresentata dal glutine, distribuita omogeneamente ed in grado di avvolgere gli altri componenti.

Particolarmente importante è la struttura proteica che circonda le bolle d'aria inglobate nell'operazione di impastamento. Durante la lievitazione, queste bolle si espandono per diffusione al loro interno di anidride carbonica, determinando l'incremento in volume dell'impasto. Un glutine ottimale per la panificazione è in grado da un lato di resistere alla pressione esercitata dal gas grazie alla presenza di un elevato numero di interazioni tra catene proteiche, dall'altro di manifestare una buona elongazione biassiale. Un'elevata quantità di glutenine, soprattutto di quelle a più elevato peso molecolare è una condizione indispensabile per la formazione di un glutine con un elevato numero di interazioni sia covalenti (legami disolfuro), che non covalenti (aggrovigliamenti), in grado di conferire all'impasto resistenza e forza (Dobraszczyk 2004).

La qualità del glutine viene principalmente determinata ricorrendo alla valutazione delle proprietà reologiche degli impasti con metodi di tipo empirico ed imitativo. Gli strumenti reologici

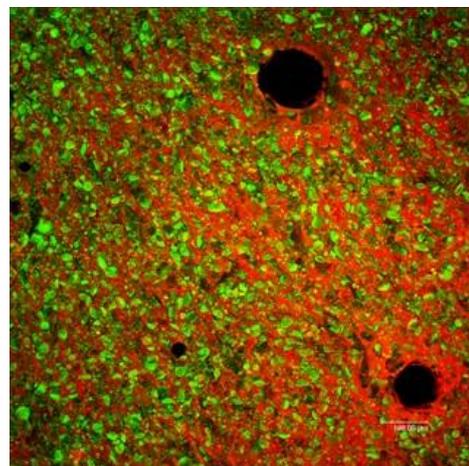
maggiormente utilizzati per la valutazione della qualità delle farine sono il farinografo Brabender e l'alveografo di Chopin (Peressini 2001).

Il farinografo permette di valutare le proprietà d'impastamento sulla base dei cambiamenti di consistenza dell'impasto, indotti dalle sollecitazioni meccaniche dell'impastatrice. Dalla curva farinografica di consistenza vs. tempo si ricavano diversi parametri (stabilità ed indice di rammollimento), associati alla forza del glutine.

La valutazione delle proprietà reologiche del sistema dopo la fase di impastamento viene effettuata con strumenti, che misurano la relazione sforzo-deformazione. Il più comune è l'alveografo di Chopin.

La tecnica alveografica è un'analisi imitativa di valutazione delle proprietà fisiche di un impasto, che viene gonfiato insufflando aria fino alla rottura della bolla al fine di simulare una lievitazione. L'alveografo di Chopin è lo strumento più utilizzato a livello internazionale nella caratterizzazione reologica degli impasti per la sua capacità di definirne contemporaneamente la forza e l'estensibilità. Tuttavia, nei programmi di selezione varietale dove la materia prima a disposizione è piuttosto limitata, la sua applicazione può costituire un problema per l'elevata quantità di sfarinato richiesta per l'analisi. In questo contesto la messa a punto di un metodo di valutazione delle proprietà reologiche dell'impasto su piccole quantità di campione risulterebbe estremamente interessante. Inoltre, differenze nei diagrammi di macinazione possono influenzare il rapporto P/L, ossia il bilancio tra resistenza ed estensibilità, portando a giudicare in modo errato la qualità della farina.

In questo contesto, l'obiettivo del presente lavoro è stato quello di individuare metodiche reologiche di tipo fondamentale da affiancare a quelle tradizionali per la valutazione della qualità panificatoria di farine di frumento.



**Figura 2** – Microstruttura dell'impasto (Peressini e Sensidoni, 2009).

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Materiali

Lo studio è stato condotto utilizzando 4 diverse farine commerciali di frumento tenero di diversa forza del glutine e destinazione d'uso (Tab. 1).

### 2.2 Determinazione dell'umidità

L'umidità dei vari campioni di farina è stata determinata valutando il calo peso dopo trattamento termico a 135°C per 1 ora secondo il metodo American Association of Cereal Chemists, AACC (2000).

### 2.3 Quantità di proteine

Il contenuto di proteine totali su sostanza secca (% su s.s.) delle farine è stato determinato con il metodo Kjeldahl moltiplicando la quantità di azoto per il fattore di conversione di 5.7 (AACC 2000).

### 2.4 Estrazione del glutine

Il glutine è stato estratto in accordo con il metodo AACC (2000). Gli impasti sono stati preparati al farinografo allo sviluppo ottimale ed immersi in acqua distillata per 20 minuti. Successivamente sono stati lavati in acqua corrente a 30°C al fine di rimuovere tutti i componenti idrosolubili (amido, pentosani, proteine solubili, zuccheri). Il glutine umido è stato liofilizzato e reidratato per aggiunta del 60% di acqua distillata.

### 2.5 Determinazioni reologiche di tipo fondamentale

Le misure reologiche di tipo fondamentale sono state effettuate su impasti e glutine al 60% di acqua utilizzando un reometro rotazionale a stress controllato (Rheometric Instrument, SR5, USA).

Gli impasti sono stati preparati con un farinografo del tipo Promylograph T6 (Max Egger, Austria), impastando la farina con acqua ad una temperatura di 30°C. Le prove sono state effettuate utilizzando sia il contenuto di acqua pari

all'assorbimento ottimale del campione, sia un contenuto fisso per tutti i campioni (50%).

Inoltre, l'influenza del processo è stata analizzata considerando il tempo ottimale di impastamento e un tempo superiore (20 min).

L'analisi reologica degli impasti è stata condotta utilizzando una geometria piatto-piatto zigrinato del diametro di 25 mm ed un *gap* tra i piatti di 2 mm.

Le misure sono state precedute da una sosta di 5 minuti per favorire il rilassamento degli sforzi legati al caricamento e la termostatazione del campione (25±0.2°C).

L'indagine reologica è stata condotta effettuando i seguenti test:

- test dinamico di frequency sweep da 0.1 a 10 Hz in campo viscoelastico lineare;

- test di creep in campo viscoelastico non lineare a (300 Pa per gli impasti di frumento e 800 Pa per il glutine) e di recovery.

Sono stati valutati i seguenti parametri reologici:  $G'$  (modulo di accumulo),  $G''$  (modulo dissipativo) e  $\tan\delta$  (tangente dell'angolo di sfasamento =  $G''/G'$ ) per il test dinamico, e la deformazione per il test di creep.

Tutte le analisi sono state effettuate in triplo su impasti preparati separatamente.

### 2.6 Analisi farinografica

L'analisi farinografica è stata condotta in accordo con il metodo AACC (2000) utilizzando un farinografo del tipo Promylograph T6 (Max Egger, Austria).

I parametri utilizzati per la caratterizzazione delle farine sono stati i seguenti:

- stabilità (min): indica il tempo durante il quale l'impasto resiste ad un'azione meccanica senza variare la propria consistenza. Per diagrammi di panificazione lunghi (biga e impasto acido), i valori ottimali di stabilità sono di 15 minuti o superiori;

- grado di rammollimento (in unità Promilografiche, UP): rappresenta la perdita di consistenza dell'impasto a 20 min di impastamento;

- assorbimento (%): è la quantità di acqua

**Tabella 1** - Destinazione d'uso ed indici alveografici (W, P/L) dei diversi campioni di farina.

Campioni	W (x 10 <sup>-4</sup> J)	P / L (-)	Destinazione d'uso
F1	484	0.73	Impasti acidi, Panettone
F2	325	0.91	Pane (lunga lievitazione)
F3	232	0.48	Pane (lievitazione breve)
F4	120	0.59	Biscotti

necessaria a raggiungere la consistenza massima di 500 UB (unità Brabender), espressa su uno sfarinato al 14% di umidità. E' un parametro fondamentale nella tecnologia di panificazione, poichè definisce la proporzione di acqua e farina necessaria per ottenere un impasto di consistenza ottimale.

## 2.7 Analisi alveografica

L'analisi alveografica è stata effettuata secondo la metodica ufficiale AACC (2000). I parametri qualitativi sono stati i seguenti:

- rapporto P/L: esprime il bilancio tra resistenza ed estensibilità dell'impasto. Valori ottimali per la panificazione sono di 0.40-0.60;
- energia di deformazione W (espressa in  $10^{-4}$  J): definisce la forza, indice positivamente correlato con la qualità panificatoria.

## 2.8 Prove di lievitazione

Per le prove di lievitazione sono stati pesati 100 g di farina al 14% di umidità e sono stati introdotti nella vasca impastatrice del farinografo miscelandoli con 6 g di zucchero, 5.3 g di lievito e 1.5 g di sale e una percentuale di acqua corrispondente all'assorbimento ottimale.

Gli impasti sono stati preparati utilizzando un tempo di impastamento corrispondente al raggiungimento della consistenza massima (tempo di sviluppo ottimale). Una quantità pari a 100 g di impasto è stata trasferita in un cilindro graduato da 500 mL, che è stato poi mantenuto in un termostato a una temperatura costante di 30°C (UR 85-90%) per un tempo variabile di 150-250 min, durante il quale ad intervalli di 15 min si è registrato l'incremento in volume.

## 3. Risultati e discussione

### 3.1 Proprietà di impastamento ed attitudine panificatoria delle farine

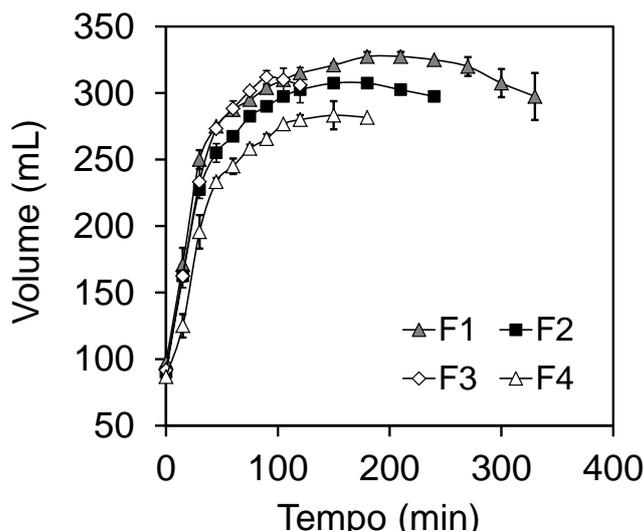
Per la sperimentazione sono state selezionate farine commerciali molto diverse in termini di forza degli impasti ( $W=125-484$ ) e potenzialità panificatoria. Sulla base dell'analisi farinografica (Tab. 2), le farine più forti sono state F1 e F2 con la maggiore stabilità e il minor grado di rammollimento, seguite da F3 (media forza) e F4 (debole), che ha presentato la stabilità più bassa e il grado di rammollimento più elevato. L'aggettivo "forte" viene attribuito ad una farina in grado di produrre un impasto con una buona capacità di trattenimento dei gas in lievitazione. I parametri di stabilità e grado di rammollimento sono importanti per definire la capacità dell'impasto di resistere ad un lavoro meccanico superiore a quello ottimale. Valori elevati di stabilità e bassi indici di rammollimento sono rappresentativi di farine, che possono essere impastate in condizioni di un eccesso di energia meccanica, con lievi cambiamenti nella consistenza dell'impasto (ridotto danneggiamento meccanico del glutine). La forza del glutine ha un ruolo fondamentale nella definizione delle potenzialità panificatorie degli impasti (volume del pane) (Rao et al. 2001).

I campioni F1 e F2 sono generalmente utilizzati nella produzione di impasti acidi e dei pani corrispondenti per la loro capacità da un lato di trattenere i gas durante la lievitazione e, dall'altro di favorire uno sviluppo ottimale dell'alveolatura della mollica. Le farine F3 e F4 rappresentano le materie prime rispettivamente di pane ottenuto con il metodo diretto (processo breve) e biscotti.

Il valore più elevato di assorbimento è stato del 58% per F1 e il più basso del 51% per F4. Un assorbimento elevato implica la necessità di una maggiore quantità di acqua da aggiungere all'impasto per raggiungere la consistenza desiderata. Le variazioni in assorbimento si possono attribuire a differenze nella qualità e

**Tabella 2** - Contenuto proteico ed indici farinografici delle diverse farine. A: assorbimento. Media di 3 repliche (CV% < 10%)

Campioni	W ( $\times 10^{-4}$ J)	P / L (-)	Destinazione d'uso
F1	484	0.73	Impasti acidi, Panettone
F2	325	0.91	Pane (lunga lievitazione)
F3	232	0.48	Pane (lievitazione breve)
F4	120	0.59	Biscotti



**Figura 3** - Variazione del volume dell'impasto in funzione del tempo di lievitazione.

quantità delle proteine (10.4-16.6%). Il contenuto di proteine è stato, infatti, positivamente correlato all'assorbimento ( $r^2 = 0.95$ ).

Un'elevata percentuale di proteine determina un aumento dell'estensibilità alveografica e della forza (W) degli impasti (Dexter et al. 1994). Quindi, gli indici alveografici non permettono di distinguere il contributo della quantità di proteine da quello della loro qualità. Un valore elevato di forza alveografica (W) può essere il risultato di un'elevata percentuale di proteine della farina oppure di una loro elevata qualità.

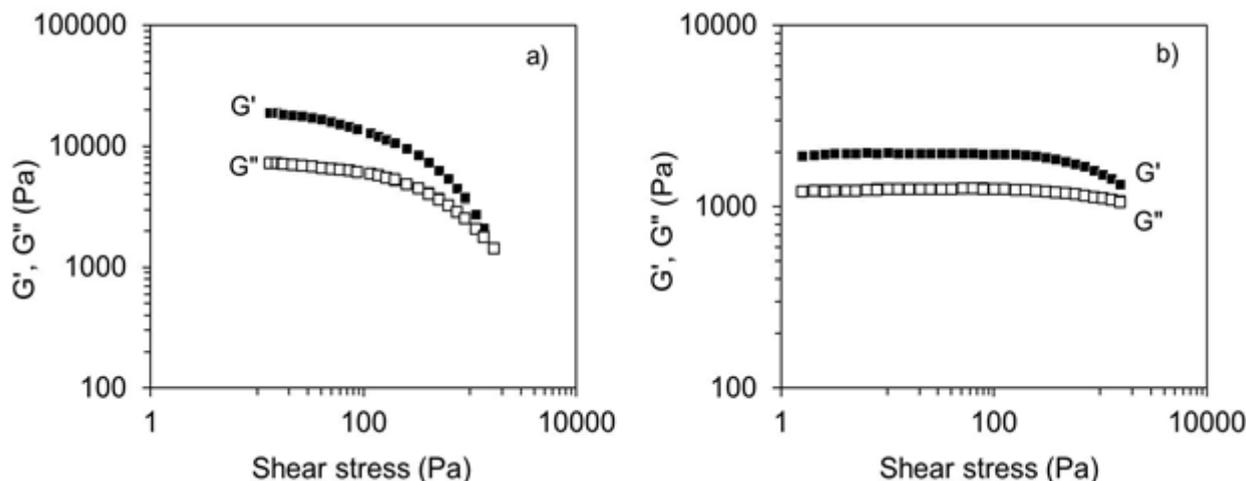
Secondo quanto riportato da Edwards et al. (1999), la stabilità farinografica è un buon indice per valutare la qualità delle proteine. Questi Autori non hanno osservato differenze significative nella stabilità farinografica di campioni con differenze nella percentuale di proteine.

In generale, farine di buona qualità panificatoria presentano assorbimenti maggiori, richiedono tempi più elevati di impastamento e tollerano maggiormente il processo rispetto alle farine deboli

(Uhlen et al. 2004).

La potenzialità panificatoria delle diverse farine di frumento è stata valutata seguendo l'incremento in volume dell'impasto durante la lievitazione. La Fig. 3 illustra i cambiamenti in volume in funzione del tempo per i diversi campioni. Il volume dell'impasto è aumentato rapidamente durante i primi 60 min raggiungendo un valore massimo, e successivamente ha subito una diminuzione attribuibile ad un danneggiamento del glutine per l'effetto della pressione esercitata dall'anidride carbonica. Come era prevedibile sulla base della caratterizzazione reologica, il campione F1 ha raggiunto il maggiore incremento in volume e resistenza alla rottura, mentre F4 ha esibito le peggiori *performances* (volume e stabilità ridotti) (Fig. 3).

Sulla base dei dati alveografici, farinografici e del comportamento in lievitazione l'ordine di forza delle farine (da elevato a basso) è stato il seguente: F1 > F2 > F3 > F4.



**Figura 4** - Moduli viscoelastici vs. shear stress alla frequenza di 1 Hz. a) impasto; b) gel di glutine.

### 3.2 Proprietà viscoelastiche lineari valutate mediante test dinamici

Nel contesto reologico il termine misura dinamica si riferisce ad un esperimento nel quale sforzo e deformazione variano sinusoidalmente nel tempo. Questa procedura è la più utilizzata nello studio delle proprietà viscoelastiche dei materiali. I test dinamici o in oscillatorio sono generalmente condotti in condizioni di viscoelasticità lineare, che assicurano una indipendenza delle proprietà reologiche dallo sforzo applicato.

Per valutare l'intervallo di viscoelasticità lineare, i campioni di impasto sono stati sottoposti a un test di *stress sweep*, nel quale l'ampiezza di oscillazione è stata aumentata ad una frequenza costante di 1 Hz (Fig. 4a). I risultati hanno evidenziato che i moduli dinamici ( $G'$  e  $G''$ ) si mantengono costanti fino a circa 50 Pa. Per ampiezze di oscillazione inferiori a questo valore critico le condizioni del test sono tali da non modificare o distruggere la struttura dell'impasto, mentre valori superiori determinano cambiamenti evidenziati dalla riduzione dei moduli viscoelastici. Se l'obiettivo è quello di ottenere informazioni sulla struttura e/o organizzazione del glutine nell'impasto, è preferibile scegliere delle condizioni *mild* di misura (in campo viscoelastico lineare). Tuttavia, analisi in condizioni di elevate deformazioni possono essere utili quando lo scopo è quello di comprendere il comportamento durante il processo.

In generale, gli impasti di frumento presentano un andamento lineare di  $\log G'$ ,  $G''$  vs.  $\log$  frequenza, e  $G'$  è più elevato di  $G''$  per una prevalenza della componente elastica (Fig. 5). La pendenza di  $\log G'$  vs.  $\log$  frequenza è stata simile per le diverse farine (dati non riportati). Pertanto, è ragionevole utilizzare i valori di  $G'$  a una frequenza costante (1 Hz) per confrontare le

caratteristiche dei diversi campioni.

Tab. 3 presenta i parametri viscoelastici lineari a 1 Hz per diversi campioni e condizioni di processo. Le variabili sono state le seguenti:

- assorbimento: costante e variabile sulla base dell'analisi farinografica;
- tempo di impastamento: ottimale e in eccesso (condizione di *over-mixing*).

In una prima fase tutti gli impasti sono stati preparati variando la quantità di acqua per ottenere una consistenza standard, ottimale per la panificazione. In tali condizioni, la farina F4 ha esibito il valore più elevato di  $G'$  e più basso di  $\tan\delta$ , mentre F1 ha presentato valori intermedi. Diversi Autori (Miller e Hosney 1999; Edwards et al. 1999) hanno osservato moduli di  $G'$  maggiori e  $\tan\delta$  inferiori per farine di forza rispetto ad impasti preparati con farine deboli o di media forza. Sulla base dei nostri risultati, i test dinamici non permettono di distinguere impasti forti e deboli preparati all'assorbimento ottimale. La causa è probabilmente l'elevata differenza nell'assorbimento farinografico delle farine (51-58%). Navickis et al. (1982) e Berland e Launay (1995) hanno evidenziato una diminuzione di  $G'$  e  $G''$  all'aumentare del contenuto in acqua dell'impasto per un effetto di diluizione.

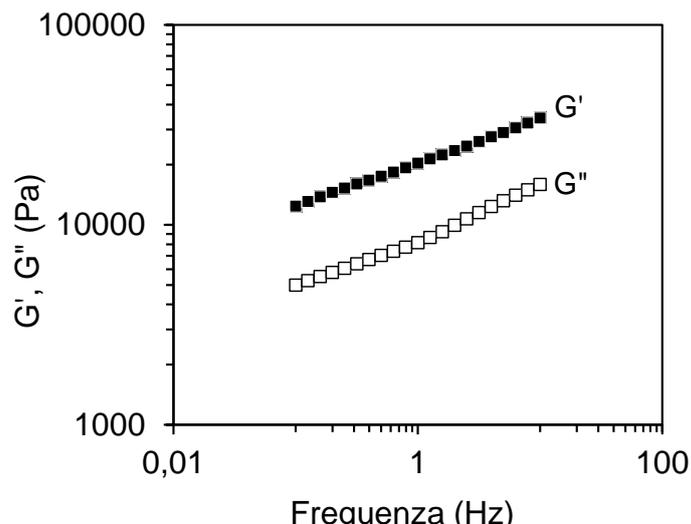
I diversi livelli di assorbimento delle farine utilizzate nella presente sperimentazione possono aver influenzato i risultati, pertanto l'assorbimento è stato fissato ad un valore costante.

Gli impasti preparati al 50% di assorbimento hanno fornito valori di  $G'$  maggiori per le farine di forza (F1 e F2) rispetto al campione debole e di media forza, ma non è stata possibile una discriminazione tra F1 e F2, ed inoltre il campione F4 ha presentato un'elasticità superiore a F3.

**Tabella 3** - Modulo di accumulo ( $G'$ ) and  $\tan\delta$  a 1Hz per i diversi impasti.

Condizioni	Campioni	$G'$ (Pa)	$\tan\delta$
Assorbimento ottimale <sup>a</sup>	F1	13490 ± 90	0.40 ± 0.01
	F2	17520 ± 1000	0.39 ± 0.01
	F3	8980 ± 1	0.48 ± 0.02
	F4	24100 ± 2120	0.35 ± 0.01
50% assorbimento <sup>a</sup>	F1	36070 ± 1100	0.35 ± 0.02
	F2	37030 ± 1680	0.35 ± 0.01
	F3	20360 ± 1440	0.40 ± 0.01
	F4	24650 ± 480	0.35 ± 0.02
50% assorbimento Impastamento eccessivo (20 min)	F1	-	-
	F2	31840 ± 3000	0.38 ± 0.01
	F3	12600 ± 390	0.48 ± 0.02
	F4	15480 ± 850	0.41 ± 0.02

<sup>a</sup> tempo ottimale di impastamento; media ± deviazione standard.



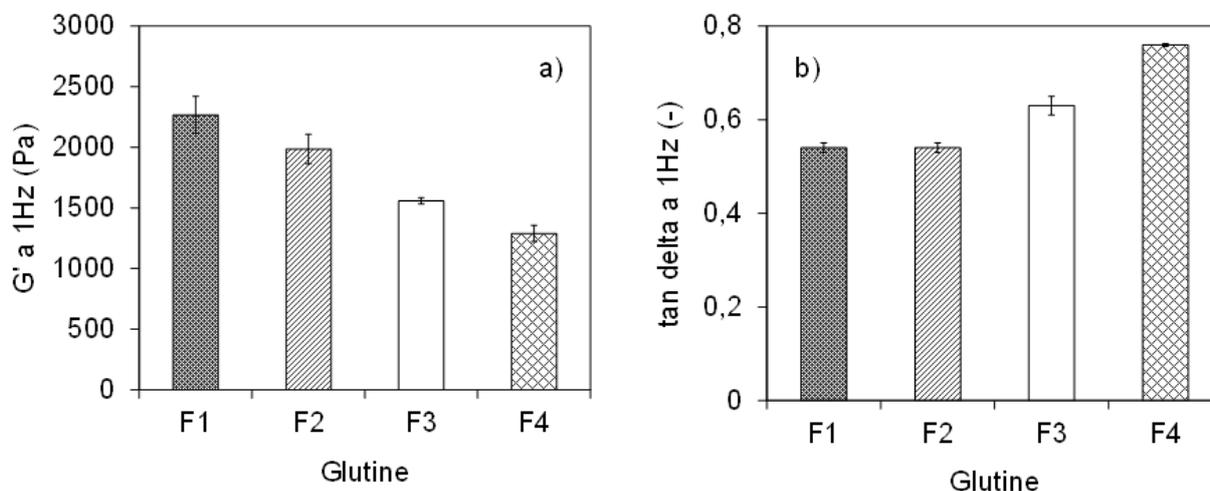
**Figura 5** - Moduli viscoelastici vs. frequenza per l'impasto.

I valori di  $\tan\delta$  non hanno evidenziato differenze significative (Tab. 3). Secondo Edwards et al. (1999) la quantità di proteine della farina non influenza il modulo  $G'$ , che può rappresentare un indice della qualità intrinseca del glutine. Il parametro  $\tan\delta$  è fortemente influenzato dalla quantità di proteine (riduzione al diminuire della percentuale di proteine) e non può essere un parametro effettivamente utile per stabilire la qualità del glutine quando il frumento è stato coltivato in ambienti diversi (elevata variabilità nella quantità di proteine) (Edwards et al. 1999).

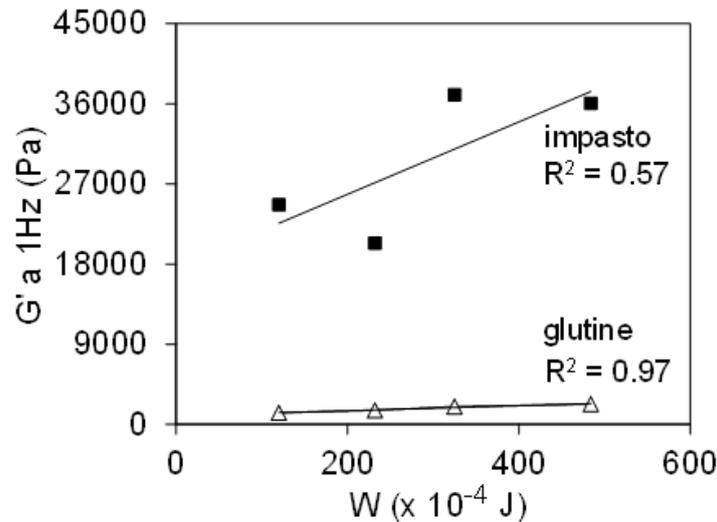
Campioni preparati in condizioni di *over-mixing* hanno fornito la stessa discriminazione tra campioni osservata per gli impasti al tempo di sviluppo ottimale, ma i valori più bassi di  $G'$  e più elevati di  $\tan\delta$  hanno evidenziato un effetto negativo del processo sulla struttura del glutine (danneggiamento meccanico) (Tab. 3).

Per evitare l'interferenza di alcuni componenti della farina, si è proceduto con l'estrazione del

glutine dalle diverse farine e la caratterizzazione di gel di glutine al 60% di umidità. Dalla Fig. 4b è evidente come l'allontanamento della frazione solubile della farina porti ad un incremento dello stress critico, che definisce il campo di viscoelasticità lineare. La Fig. 6 riporta i parametri viscoelastici  $G'$  e  $\tan\delta$  a 1Hz per i diversi gel di glutine. L'ordine di forza dei campioni (da elevata a bassa) è stata  $F1 > F2 > F3 > F4$  in accordo con la caratterizzazione alveografica e farinografica. L'allontanamento della frazione solubile della farina sembrerebbe, quindi, importante per una buona discriminazione delle diverse farine. Per valutare l'eventuale correlazione tra indici dinamici dell'impasto e parametri elongazionali, si è calcolato il coefficiente di determinazione ( $r^2$ ) per  $G'$  vs.  $W$  (Fig. 7). Il modulo di accumulo è fortemente correlato con  $W$  ( $r^2 = 0.97$ ) per il glutine, mentre una bassa correlazione si è osservata per l'impasto di farina ( $r^2 = 0.57$ ).



**Figura 6** - Modulo di accumulo (a) e  $\tan\delta$  (b) a 1 Hz per gel di glutine.



**Figura 7** - Correlazione tra indice alveografico W e G' a 1 Hz per impasto e gel di glutine.

### 3.3 Proprietà viscoelastiche non lineari valutate mediante test di *creep* e *recovery*

La Fig. 8 illustra le curve di *creep* e *recovery* per impasti di farina al 50% di assorbimento per i diversi impasti e gel di glutine.

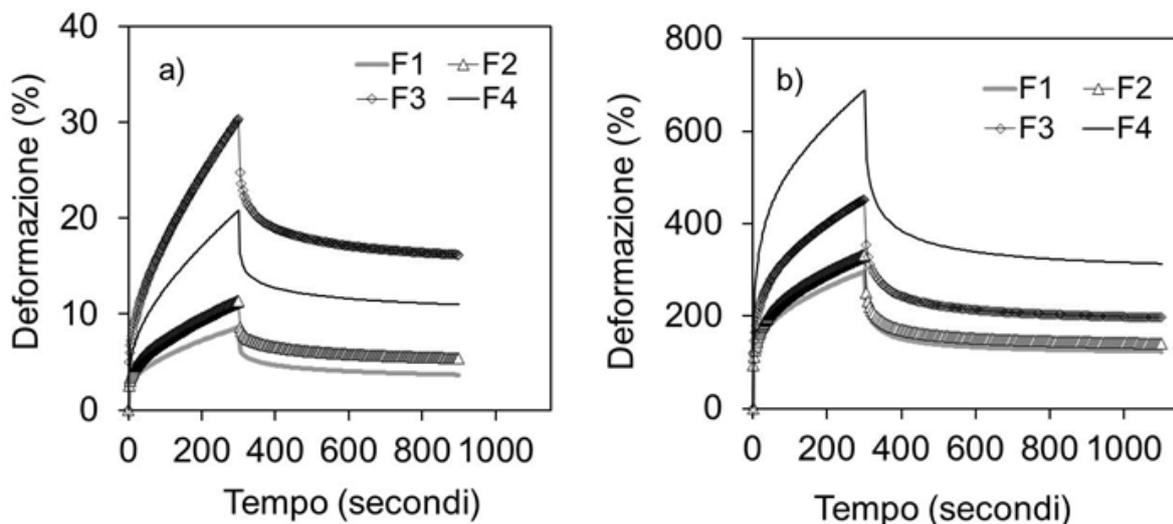
Il test di *creep* è stato condotto nell'intervallo viscoelastico non lineare (stress elevato) per investigare condizioni di elevata deformazione (processo). La deformazione massima in *creep* ( $strain_{max}$ ) potrebbe essere utilizzata per descrivere la rigidità dell'impasto. L'impasto più forte con una maggiore resistenza alla deformazione dovrebbe presentare deformazioni inferiori rispetto ad impasti deboli. Le curve di *creep* e i valori di  $strain_{max}$  hanno subito una diminuzione all'aumentare della forza della farina, ma F3 non è stato discriminato correttamente (Fig. 8a).

Test di *creep* sul glutine (Fig. 8b) hanno

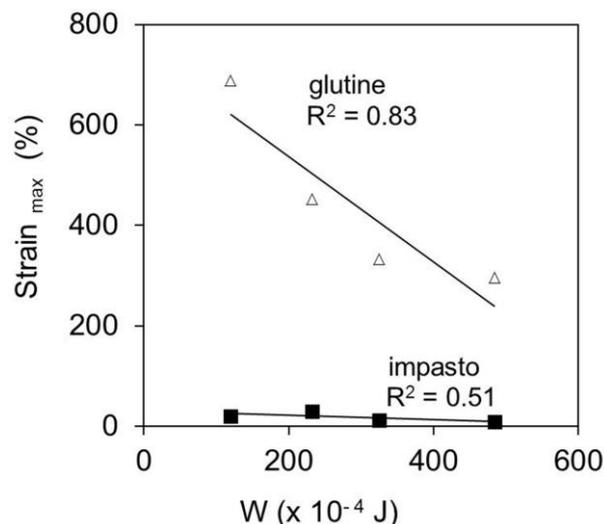
permesso di classificare in modo appropriato i diversi campioni e di fornire valori di  $strain_{max}$ , che sono risultati correlati con l'indice alveografico W e il volume massimo dell'impasto in lievitazione ( $r^2 = 0.83$ ) (Fig. 9, 10).

## 4. CONCLUSIONI

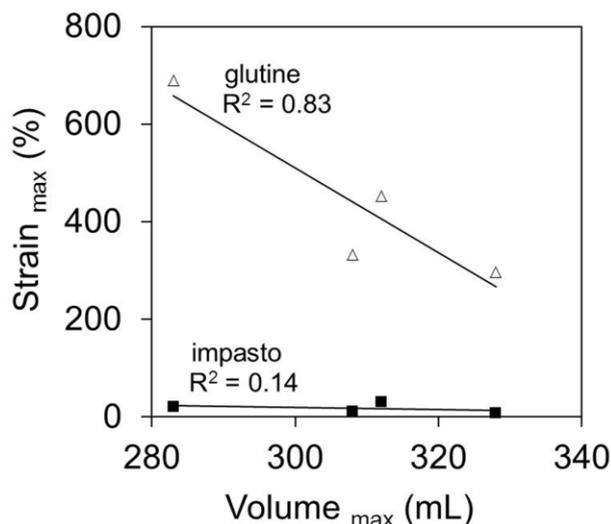
Il lavoro sperimentale ha riguardato la caratterizzazione reologica di farine commerciali di diversa qualità panificatoria ricorrendo a metodi reologici di tipo imitativo, ampiamente utilizzati nel settore degli impasti di frumento, e metodi innovativi di tipo fondamentale. La forza e la qualità tecnologica delle diverse farine è stata inizialmente valutata sulla base degli indici alveografici, farinografici e di test di lievitazione, che hanno permesso di selezionare campioni, che si



**Figura 8** - Test di *creep* e *recovery* in campo viscoelastico non lineare. a) impasti al 50% di assorbimento e allo sviluppo ottimale; b) gel di glutine.



**Figura 9** - Correlazione tra indice alveografico W e strain<sub>max</sub> per impasto e gel di glutine.



**Figura 10** - Correlazione tra volume massimo in lievitazione e strain<sub>max</sub> per impasto e gel di glutine.

collocavano in un intervallo molto ampio di qualità panificatoria.

Dall'indagine sono emerse le seguenti considerazioni:

- le analisi farinografica ed alveografica hanno confermato la loro capacità di fornire indici utili per la classificazione qualitativa delle farine di frumento;

- i moduli viscoelastici ottenuti da test dinamici in condizioni di piccola deformazione (viscoelasticità lineare) non permettono una classificazione appropriata di farine commerciali analizzando gli impasti. L'estrazione del glutine e la valutazione delle proprietà meccaniche dei gel ha permesso di ottenere un'elevata correlazione tra l'indice viscoelastico  $G'$  e la forza alveografica W ( $r^2 = 0.97$ ) confermandosi come parametro potenzialmente interessante per la valutazione della qualità panificatoria delle farine;

- le proprietà viscoelastiche ottenute da test di *creep* in condizioni di elevata deformazione (viscoelasticità non lineare) su campioni di glutine hanno permesso di classificare i diversi campioni e di fornire un indice di deformazione ben correlato sia con l'indice alveografico W, sia con il volume massimo dell'impasto in lievitazione ( $r^2 = 0.83$ ).

Data l'importanza ai fini tecnologici della caratterizzazione della forza degli impasti, sono stati messi a punto dei metodi reologici fondamentali in grado di dare questo tipo di informazione su quantità ridotte di materiale.

## Bibliografia

American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. The Association, S. Paul (MN).

Berland S., Launay B. 1995. Rheological properties of wheat flour doughs in steady and dynamic shear: effect of water content and some additives. *Cereal Chemistry*, 72, 48-52.

Dexter J.E., Preston K.R., Martin D.G., Gander E.J. 1994. The effect of protein content and starch damage on the physical dough properties and bread-making quality of Canadian durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 20, 139-151.

Dobraszczyk B.J. 2004. The physics of baking: rheological and polymer molecular structure-function relationship in breadmaking. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 124, 61-69.

Edwards N.M., Dexter J.E., Scanlon M.G., Cenkowski S. 1999. Relationship of creep-recovery and dynamic oscillatory measurements to durum wheat physical dough properties. *Cereal Chemistry*, 76, 638-645.

Miller K.A., Hosney R.C. 1999. Dynamic rheological properties of wheat starch gluten doughs. *Cereal Chemistry*, 76, 105-109.

Navickis L.L., Anderson R.A., Bagley E.B., Jasberg B.K. 1982. Viscoelastic properties of wheat flour doughs: variation of dynamic moduli with water and protein content. *Journal of Texture Studies*, 13, 249-264.

Peressini D. 2001. Metodi di valutazione delle proprietà reologiche degli impasti. *Tecnica Molitoria*, 52, 337-379.

Peressini D., Sensidoni A. 2009. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49, 190-201.

Rao V.K., Mulvaney S.J., Dexter J.E., Edwards N.M., Peressini D. 2001. Stress-relaxation properties of mixograph semolina-water doughs from durum wheat cultivars of variable strength in relation to mixing characteristics, bread and pasta-making performances. *J. of Cereal Science*, 34, 215-232.

Uhlen Ak, Sahstrom S., Magnus E.M., Faergestad E.M., Dieseth J.A., Ringlund K. 2004. Influence of genotype and protein content on the baking quality of hearth bread. *J. of Food Science and Agriculture*, 84, 887-894.