



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

**STRATEGIE PER IL MIGLIORAMENTO DI
DIVERSI ASPETTI QUALITATIVI DEL
FRUMENTO**

**STRATEGIES FOR THE IMPROVEMENT
OF DIFFERENT QUALITATIVE ASPECTS
OF WHEAT**

TIPO TESI: Compilativa

Studente:
LUCA PALMIROTTA

Relatore:
DOTT.SSA ROBERTA FOLIGNI

Correlatore:
DOTT.SSA CINZIA MANNOZZI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

INDICE

1	– INTRODUZIONE.....	1
	1.1 – Il frumento: generalità.....	1
	1.2 – La cariosside del frumento.....	2
	1.3 – Produzione di frumento in Italia.....	5
	1.4 – Qualità del frumento ed aspetti tecnologici.....	8
	1.5 – Maggiori prodotti derivati dal frumento in Italia.....	14
	1.6 – Gli acidi grassi.....	17
2	– PROCESSO MOLITORIO.....	20
	2.1 – Diagramma di flusso del processo di macinazione.....	20
3	– SILOS PER LO STOCCAGGIO DEL FRUMENTO.....	24
4	– ALTERAZIONI DURANTE LA CONSERVAZIONE.....	29
5	– LO STOCCAGGIO DEL FRUMENTO.....	33
	5.1 – Metodi convenzionali.....	33
6	– SISTEMI INNOVATIVI PER MIGLIORARE LA CONSERVAZIONE..	38
	BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA.....	47

1 – INTRODUZIONE

1.1 – Il frumento: generalità

Il frumento, anche noto come grano, è un cereale appartenente alla famiglia delle graminacee, dove le 5 specie principali sono (Mac Key, 2005):

- Frumento tenero, *Triticum aestivum* ssp. *aestivum*
- Frumento duro, *Triticum turgidum* ssp. *durum*
- Farro piccolo, *Triticum monococcum* ssp. *monococcum*
- Farro medio, *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*
- Farro grande, *Triticum aestivum* ssp. *spelta*

Consumato dalla maggior parte della popolazione mondiale, il frumento è alla base di moltissime diete, importante soprattutto per l'assunzione giornaliera di carboidrati, ma anche di proteine, vitamine, minerali e fibra. Attualmente il frumento tenero è il secondo cereale, dopo il riso, ad essere la principale coltura alimentare umana (FAOSTAT, 2014) ed è anche più utilizzato del mais nell'alimentazione del bestiame. Il frumento fu una tra le prime piante ad essere coltivate, dove la località in cui sembra che abbia avuto inizio la coltivazione del frumento è l'area della Mezzaluna Fertile, regione storica del Medio Oriente, circa 10000 anni fa. A rendere il frumento uno dei cereali più importanti è la possibilità di macinarlo per ottenere farina, dalla quale sono ottenuti un'enorme quantità di prodotti alimentari diversi. Il tasso di estrazione della farina varia, a seconda della varietà di frumento e dal processo di macinazione, dal 73% al 77%, dunque i sottoprodotti, quali il germe e la crusca, ammontano a circa il 23-27% (Mahmound et al., 2015). Sottoprodotti ottenuti dalle cariossidi di frumento sono anche amido e, previa fermentazione, alcol. Dal frumento duro si producono semole e semolati dai granuli grossi con spigoli netti, mentre dal frumento tenero si ottengono farine dai granuli sottili e tondeggianti. La maggior parte del frumento prodotto è il frumento tenero, usato prevalentemente nella produzione di pane o prodotti da forno, mentre il frumento duro è una specie utilizzata prevalentemente per la produzione di pasta. Il frumento duro è una specie tetraploide ($2n = 4x = 28$) presenta cioè genomi A e B ed ha formula genomica AABB. Il frumento tenero è una specie esaploide ($2n = 6x = 42$) formula genomica AABBDD, ottenuta dall'ibridazione naturale tra *T.turgidum* tetraploide (dicocco) con genomi A e B ed una specie diploide selvatica, *Aegilops tauschii* che ha fornito il genoma D. L'introduzione del genoma D, ha permesso il miglioramento delle proprietà della farina per la panificazione (van den Broeck et al., 2010). Il frumento è un alimento base in moltissime diete ed in base all'aumento

di mortalità nel mondo attribuibile a malattie correlate alla dieta, c'è un incremento nell'interesse di individuare specie di frumento con maggiori potenzialità salutari, ad esempio maggiori proprietà antiossidanti ed anti-infiammatorie. In particolare, le varietà antiche, definite come quelle specie che sono rimaste invariate negli ultimi cento anni, sono ultimamente oggetto di studio in quanto presentano un profilo nutrizionale più sano rispetto alle varietà moderne di frumento, fornendo ad esempio più vitamine e sali minerali. Esperimenti *in vitro* hanno già dimostrato che, le varietà di frumento antico mostrano convincenti effetti positivi in risposta a vari parametri collegati a malattie cardio-metaboliche come il colesterolo totale e LDL, glicemia, la pressione sanguigna e l'indice di massa corporea. Un'analisi recente (Dinu et al., 2017) ha confermato l'associazione tra il consumo di cereali integrali e una riduzione significativa del rischio di malattie cardiache e del cancro. L'aumento d'interesse in cibi salutari a base di frumento è anche correlato alla recente valorizzazione di prodotti ottenuti usando farine meno raffinate, dove le più raffinate peccano di nutrienti come fibre, sali minerali, vitamine, antiossidanti e acidi grassi (Huang et al., 2015). Varietà moderne di frumento sono inoltre più sensibili a variazioni delle condizioni ambientali rispetto alle varietà di frumento antico (Slafer et al., 1996; Fufa et al., 2005). In Italia, negli ultimi decenni, c'è stato un rinnovato interesse nel coltivare varietà antiche di frumento duro e tenero proprio perché sono considerati cibi salutari prodotti con sistemi agricoli sostenibili (Stallknecht et al., 1996; Ciccoritti et al., 2013).

1.2 – La cariosside del frumento

Le caratteristiche della foglia del frumento variano in funzione di specie e varietà, ma in linea generale il colore è verde inteso, e questo è un utile elemento diagnostico di squilibri nutrizionali, carenza idrica e stress. La spiga è formata da un asse principale, il rachide, sulla quale sono inserite le spighe. Il rachide, piuttosto fragile, è costituito da nodi ed internodi disposti a zig-zag, ed alla trebbiatura si rompe. La cariosside ha dimensioni variabili, 30-40 mg il frumento tenero, 30-50 mg il frumento duro. Nei frumenti teneri l'endosperma ha struttura farinosa o semi vitrea, mentre nei frumenti duri l'endosperma ha struttura vitrea e colore ambraceo. Importante sottolineare che nell'endosperma del frumento duro possono essere presenti aree farinose, ma queste, dovute alla bianconatura, che rappresenta un difetto qualitativo. L'85-90% della biomassa delle cariossidi deriva dall'assimilazione di nutrienti dopo la fase di spigatura e siccità precoci riducono le rese. Il frumento tenero ha un'altezza che va dai 70 ai 120 cm, le spighe sono con 2-5 fiori, la cariosside è bianca o rossiccia ed è farinosa o semi vitrea, ed ha un'elevata resistenza all'allettamento. Il frumento duro ha un'altezza che va dagli 80 ai 110 cm, le spighe sono con 2-5 fiori, la cariosside è bianca,

rossiccia o ambrata con frattura vitrea. Rispetto al frumento tenero la resistenza al freddo è inferiore ed ha scarsa resistenza all'allettamento. La cariosside è costituita da 15-20% di tegumenti esterni o pericarpo o crusca, 2-3% dall'embrione o germe e 80-85% di endosperma, farina (frumento tenero) o semola (frumento duro) (Figura 1).

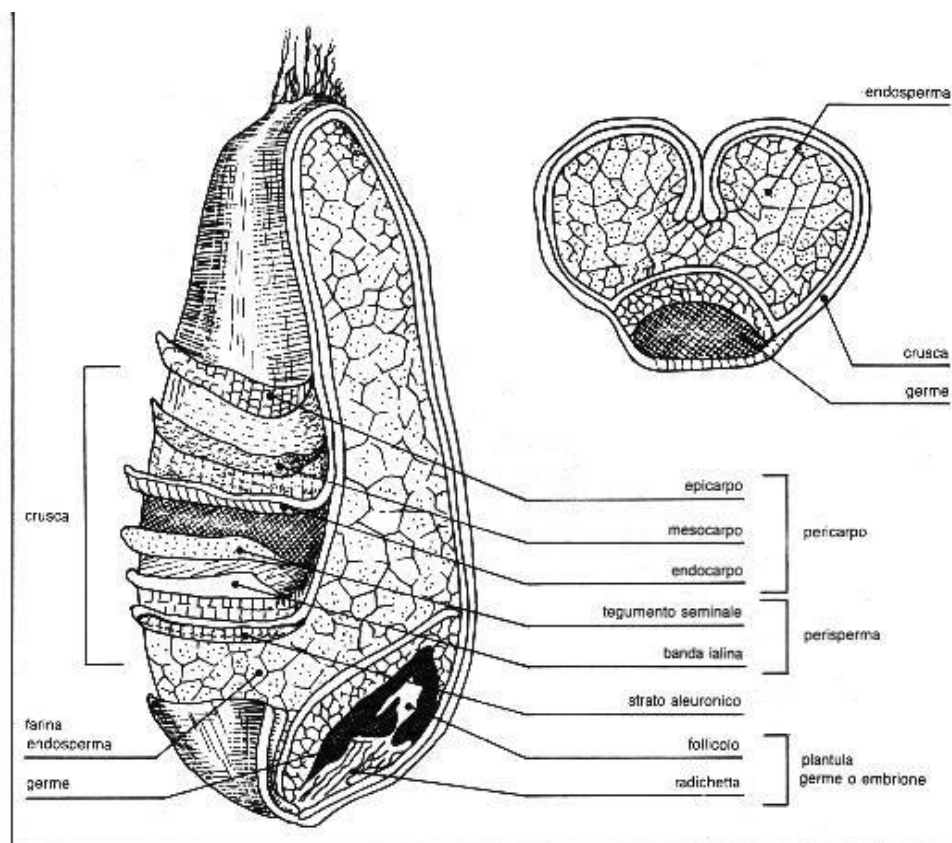


Figura 1 - Struttura della cariosside (web.tiscali.it)

Al di sotto del pericarpo è presente uno strato monocellulare denominato strato aleuronico, che separa l'endosperma dai tegumenti esterni. Il pericarpo è ricco in fibra alimentare, cellulosa e pentosani, sali minerali e vitamine. Lo strato aleuronico è ricco di nutrienti come proteine, lipidi, sali minerali e vitamine, tuttavia questa componente della cariosside è persa durante il processo molitorio. Il germe, composto da lipidi, vitamine B ed E, sali minerali, proteine, enzimi ed antiossidanti, è situato ad un'estremità della cariosside e durante il processo molitorio anche questa componente è allontanata per motivi di conservazione, in quanto è particolarmente ricca di proteine, ma soprattutto di lipidi, infatti oli e grassi irrancidiscono rapidamente alterando la qualità della farina. La crusca è nello specifico composta da fibre solubili ed insolubili (xilani, cellulosa, lignina, beta-glucani), vitamine B ed E, sali minerali, proteine, acido fitico, enzimi ed antiossidanti. L'endosperma è composto da

carboidrati, principalmente amido (75-80%), proteine (10-15%), fibre solubili e in percentuali molto basse lipidi e vitamine (Barron et al., 2007).

Composizione chimica della farina di frumento

La farina di frumento è composta da carboidrati, proteine, lipidi, sali minerali, vitamine e fattori antinutrizionali (Goesaert et al., 2005). Tra i **carboidrati**, l'amido è il più rappresentato con percentuali che vanno dal 60 al 70%, poi troviamo pentosani 6,5%, cellulosa e lignina 2-2,5% e zuccheri riducenti 1,5% che derivano da processi di demolizione dell'amido e nonostante si tratti di una percentuale esigua è comunque estremamente importante ai fini della lievitazione visto che rappresentano il primo substrato organico utilizzabile dai lieviti durante la fermentazione. L'amido, accumulato nella cariosside con la funzione di riserva energetica, dal punto di vista molecolare è un carboidrato complesso composto da due polimeri del glucosio, l'amilosio e l'amilopectina. Il gran numero di unità di glucosio che formano l'amido sono unite tra loro tramite legami alpha-1,4-glicosidici (amilosio) e alpha-1,6-glicosidici (amilopectina) ed è costituito da 4/5 di amilopectina e da 1/5 di amilosio (Figura 2).

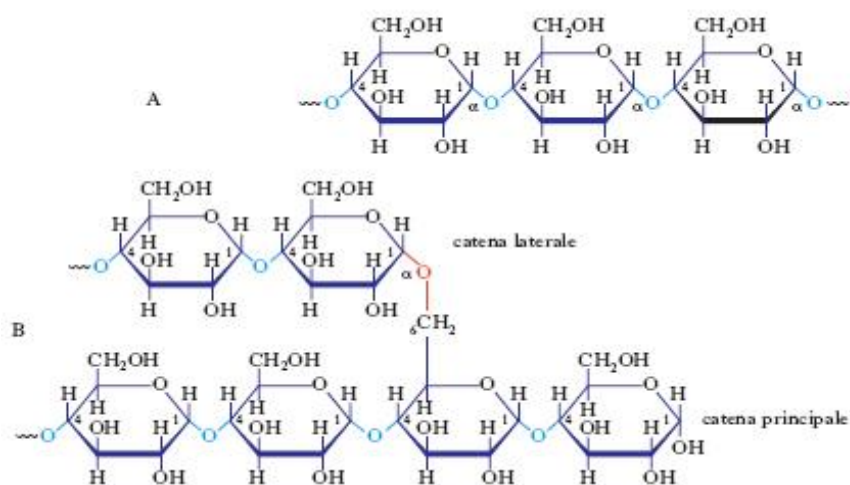


Figura 2 - Amilosio (A) e Amilopectina(B) (treccani.it)

Le **proteine**, in totale 10-15%, sono rappresentate da proteine solubili in acqua e proteine insolubili in acqua. Le albumine (9%), solubili in acqua, si trovano prevalentemente nello strato aleuronico e nel germe e dunque sono assenti nella farina tradizionale in quanto entrambi sono allontanati durante il processo molitorio. Le globuline (5-7%), solubili in soluzioni saline diluite, si trovano nel germe. Le gliadine, solubili nel 70-90% di alcol, e le glutenine, insolubili in soluzioni acquose neutre, soluzioni saline o alcol, rappresentano il 75-95% delle proteine totali ed abbondano nell'endosperma. Gliadine e glutenine sono le proteine che, con

l'idratazione della farina e l'impastamento, formeranno il glutine e la maglia glutinica. I **lipidi**, localizzati soprattutto nel germe, comprendono trigliceridi e piccole quantità di fosfolipidi, glicolipidi e steroli. Le **vitamine** maggiormente presenti sono del gruppo B, soprattutto a livello dello strato aleuronico e vitamina E, più abbondante nel germe. I **sali minerali** sono localizzati soprattutto nei tegumenti esterni e comprendono fosfati di magnesio e potassio, sali di calcio, ferro, rame e zinco. L'**acqua**, componente della cariosside definita umidità, è fortemente influenzata dal clima, dal terreno e dalle modalità di coltivazione (Bacic et al., 1981; Mares et al., 1973).

1.3 – Produzione di frumento in Italia

Il frumento è un cereale microtermo, infatti riesce a sopportare temperature molto basse, ed è una pianta annuale. Abbiamo diverse fasi di produzione:

- Semina
- Emergenza
- Accestimento
- Levata
- Spigatura
- Fioritura ed impollinazione
- Crescita e maturazione della cariosside

Durante la fase di levata il frumento cresce verso l'alto e in questo stadio necessita di molto azoto. La fase di crescita e maturazione della cariosside presenta tre sotto fasi, la moltiplicazione cellulare, l'accumulo di sostanze di riserva (dove si ha il trasporto di sostanze dalla pianta alla cariosside e se in questo punto la pianta si trova in condizioni di stress si ha la cariosside striminzita) ed essiccamento. L'accestimento, in caso di stasi invernale, riprende con l'aumentare delle temperature. Eventi traumatici come gelate tardive, possono causare la ripresa dell'accestimento, fattore positivo, mentre l'allettamento può causare la ripresa dell'accestimento con riduzione della produzione, fattore dannoso. Durante l'accestimento la pianta ha ancora una forma cespugliosa, la completa fuoriuscita della spiga avviene in 10-20 giorni. Durante la moltiplicazione cellulare, 7-15 giorni, la cariosside raggiunge la lunghezza definitiva e l'aumento in peso è scarso con l'umidità interna che passa dal 80-85% al 70%. L'accumulo di sostanze di riserva avviene in 20-40 giorni e si ha prima la maturazione lattea, durante la quale la cariosside è ripiena d'amido e sostanze proteiche di aspetto lattiginoso ed in seguito a questa maturazione lattea siamo in maturazione latteo-cerosa con umidità interna

del 45-50% ed embrione maturo fisiologicamente, ma dormiente. Successivamente si ha l'essiccamento dove è perso il colore verde ed arriva la maturazione cerosa, con umidità del 30%, abbastanza bassa per poter incidere la cariosside con l'unghia. La maturazione piena si ha quando l'umidità raggiunge il 15% ed è già possibile effettuare la raccolta. In questo momento non c'è più dormienza e la pianta germina. La vegetazione del frumento è ferma intorno a 0°C tra germinazione e spigatura, a 6°C tra fioritura e maturazione. La temperatura ottimale per la crescita del frumento è di 18-20°C, mentre la temperatura cardinale massima, con arresto della vegetazione, è 30°C. Il frumento è sensibile alle gelate specialmente nelle fasi di germinazione ed emergenza, dove la temperatura critica è di -8°C/-10°C, e in fase di levata dove la temperatura critica è -4°C. Elevate temperature in linea generale causano squilibri fisiologici. Il frumento tenero per uscire dalla fase vegetativa ha un'esigenza di vernalizzazione, ha dunque bisogno di una certa quantità di freddo. Per questa particolarità il frumento tenero viene chiamato frumento invernale, mentre il frumento duro, che non ha bisogno di vernalizzazione, è un frumento primaverile, di fatto il frumento duro ha una minore resistenza al freddo rispetto al frumento tenero. Il frumento risponde agli stress idrici con la parziale chiusura degli stomi e fino al 50-60% di acqua disponibile non si ha stress idrico. Per 10 tonnellate/ettaro di biomassa occorrono circa 450-500 mm di acqua e il problema dello stress idrico si ha quando c'è carenza idrica nel periodo di riempimento della cariosside. Il ringranio provoca marcata riduzione della resa di granella già a partire dal primo anno, dove il motivo principale per cui si ha questa riduzione di resa è che il frumento lascia il terreno in condizioni molto critiche specialmente di azoto. La semina è solitamente effettuata nella seconda decade di ottobre al nord, prima di novembre al centro ed entro metà dicembre al sud, mentre in nazioni con inverni più freddi rispetto all'Italia prevale la semina primaverile. Le densità di semina ottimali sono di 600-700 spighe al m² derivanti da 400-500 cariossidi al m² (180-220 Kg/ha). La semina è effettuata a file distanti fra esse di circa 15-18 cm ed è importante che il seme venga seminato ad una profondità di 3-5 cm, in quanto a profondità minori c'è il rischio di predazioni e di mancata germinazione causata da una carenza di umidità. L'assorbimento più elevato di sostanze dal terreno si ha nella fase di levata. L'azoto è un nutriente fondamentale per il frumento ed è assorbito al 75% prima della fioritura e nelle cariossidi si raccoglie l'80% dell'azoto totale della pianta, da ciò si deduce che se c'è carenza di azoto la carenza sarà di proteine nella cariosside, disponibilità tardive d'azoto invece ne aumentano il contenuto. Carenze tardive di azoto causano la bianconatura dell'endosperma, mentre eccessi causano minore resistenza meccanica, quindi ridotta resistenza all'allettamento, e maggiore suscettibilità alle malattie ed inoltre nei climi aridi inducono

esigenze idriche non sostenibili. Per il frumento l'uso di concime organico è sfavorevole perché ne trae poco vantaggio per il ritardo nella mineralizzazione e perciò c'è bassa disponibilità di nutrienti nei periodi di elevata esigenza ed elevata disponibilità nei periodi di scarso bisogno. Nel frumento tenero, è stata identificata una differenziazione nell'espressione dei geni nei grani dell'endosperma dovuta alla fertilizzazione azotata organica o inorganica (Lu et al., 2005). Uno studio durato diversi anni non ha individuato un effetto chiaro dei sistemi di coltivazione sui profili metabolici del frumento tenero, ma le differenze sono state maggiormente correlate all'effetto della concimazione azotata sul contenuto proteico (Mäder et al., 2007). La tradizione cerealicola nazionale si è sviluppata e consolidata lo scorso secolo anche grazie alla meccanizzazione del settore agricolo, all'introduzione di nuovi mezzi tecnici e all'intenso lavoro di miglioramento genetico dei frumenti realizzato in Italia. Ciò ha determinato un progressivo incremento della superficie investita in frumento duro, che raggiunse il culmine alla metà degli anni '80 con circa 1,8 milioni di ettari (Borghetti et al., 1986; Porceddu, 1987). Il frumento è stato sottoposto a selezione a partire dall'epoca preistorica, ma dallo scorso secolo l'attività di miglioramento genetico è stata svolta in maniera conscia e con fondamenta scientifiche da parte dell'uomo, dove esempi di obiettivi raggiunti sono la riduzione dell'altezza delle piante, la precocità del ciclo culturale, miglioramenti riguardanti la resa unitaria, l'indice di raccolto e la qualità della granella. Nonostante il raggiungimento di questi obiettivi, negli anni più recenti l'indice di raccolto non è aumentato con la stessa velocità registrata dal 1950 al 1990 (Calderini et al., 1998; Conway et al., 1999). La FAO con un articolo rilasciato il 06/02/2020 indica che, secondo le loro previsioni, la produzione cerealicola in generale nel mondo aumenterà nel prossimo anno, ma rispetto allo scorso anno è previsto un declino della produzione di frumento in alcuni paesi dell'Unione Europea, come la Francia e l'Inghilterra nelle quali si sono presentate piogge abbastanza forti e costanti che hanno ostacolato la semina. Stime ufficiali hanno confermato una riduzione della semina anche in Ucraina, nonostante le condizioni atmosferiche piuttosto favorevoli. In Russia invece stime ufficiali indicano un record per quanto riguarda la semina di frumenti invernali. Nonostante il calo di produzione in alcune nazioni le previsioni della FAO indicano un aumento del 1,5% rispetto all'anno 2018/19 dell'utilizzo di frumento, circa 759 milioni di tonnellate. In Italia negli ultimi anni la produzione di frumento tenero è restata piuttosto costante intorno a 2,8 tonnellate, mentre il frumento duro a partire dal 2016 ha subito un calo nella produzione da circa 5 tonnellate a 4 tonnellate (Grafico 1). La produzione di frumento tenero in Italia è insufficiente per soddisfare le richieste e circa 4,7 tonnellate sono importate annualmente, di cui il 77% da paesi dell'Unione Europea, 12% da Canada, Australia e USA e

11% da altre nazioni come Ucraina, Messico e Turchia, per soddisfare le richieste di mercato di farina (Zuppiroli, 2013). Il primo agosto 2019, Cosimo De Sortis, presidente di Italmopa (Associazione Industriali Mugnai d'Italia) per il biennio 2019-2020, ha dichiarato, durante una conferenza stampa, che *“Per garantire una costante fornitura di pasta negli scaffali dei supermercati, dobbiamo per forza importare grano. Se dovessimo utilizzare solo quello di produzione italiana, la pasta sarebbe in vendita solo per pochi mesi all'anno”*.

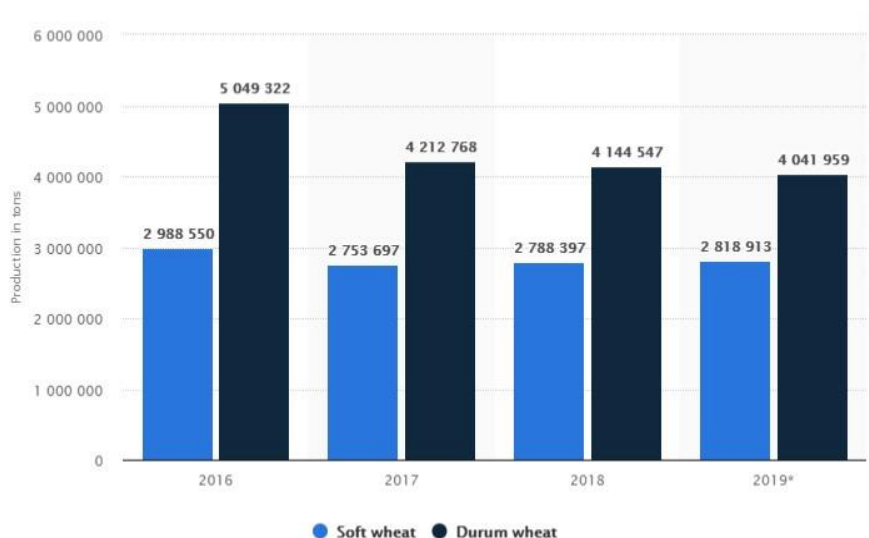


Grafico 1 - Produzione di frumento tenero e duro in Italia dal 2016 al 2019 (statista.com)

1.4 – Qualità del frumento ed aspetti tecnologici

Il frumento comprende diversi tipi di qualità, qualità commerciale, qualità molitoria, qualità tecnologica.

QUALITA' COMMERCIALE: l'umidità della cariosside alla vendita non deve essere maggiore del 14,5%, infatti al di sopra di questo valore d'umidità si applicano penali al prezzo e possono portare al rifiuto da parte dello stoccatore, infatti vengono prelevati ed analizzati dei campioni proprio per valutare questo parametro. Altro fattore che può portare ad un deprezzamento del prodotto è la presenza di paglia, sassolini, semi estranei, che nonostante vengano rimossi con la mietitura possono comunque essere presenti. Un ulteriore fattore importante per la qualità commerciale, specialmente del frumento duro, è la slavatura, un difetto grave dovuto ad un'alterazione di essiccamento ed inumidimento che porta ad una perdita di lucentezza e colore all'esterno della cariosside, questo perché vengono persi moltissimi pigmenti carotenoidi. Ciò influenza negativamente la produzione di pasta, che mancherebbe del suo caratteristico colore. La pre-germinazione è un ulteriore fattore da tenere

in considerazione per quanto riguarda la qualità commerciale, in quanto le cariossidi quando germinano subiscono danni a proteine e all'amido che viene idrolizzato.

QUALITA' MOLITORIA: le farine in commercio sono classificate in base al contenuto in ceneri, cioè minerali e i loro ossidi residui a seguito del trattamento delle farine a 550°C per circa 6 ore, nei tipi 00, 0, 1, 2 e integrale che sono i gradi di abburattamento, con le ceneri che diminuiscono all'aumento dei gradi di abburattamento (Tabella 1). La resa alla molitura diminuisce in funzione della raffinazione della farina (grado di abburattamento). Nelle farine più raffinate come la "00" e la "0" viene perso tutto il contenuto dello strato aleuronico ed il germe, parti che contengono l'intero gruppo di vitamine B, in particolare la tiamina e la niacina, acidi grassi polinsaturi e una grande quantità di tocoferoli (Vitamina E). Resta dunque prevalentemente la frazione amidacea ed il glutine. In contrasto alla perdita di vitamine, con la raffinazione c'è anche la perdita di sostanze antinutrizionali come l'acido fitico ed i suoi sali che sequestrano elementi come il calcio, magnesio, ferro, manganese e zinco, rendendoli quindi inutilizzabili per il nostro organismo.

TIPO DI FARINA	UMIDITA' MASSIMA	CENERI MINIME	CENERI MASSIME	PROTEINE MINIME	ABBURATTAMENTO
00	14,5%	-	0,55%	9.00%	50%
0	14,5%	-	0,65%	11.00%	72%
1	14,5%	-	0,80%	12.00%	80%
2	14,5%	-	0,95%	12.00%	85%
Integrale	14,5%	1,30%	1,70%	12.00%	100%

Tabella 1 – Caratteristiche e classificazione delle farine destinate al commercio (Reg.580/1967)

La bianconatura è un difetto qualitativo del frumento duro che si manifesta con la presenza di zone farinose nell'endosperma, dove la frazione deve qui essere vitrea data la presenza di semola. È possibile rimuovere queste parti farinose con la raffinazione, provocando tuttavia una perdita economica visto l'allontanamento di una parte di semola. Per determinare il difetto della bianconatura si utilizza un tagliagrani, che permette di tagliare la cariosside e visualizzarne la bianconatura. La bianconatura è dovuta a carenze d'azoto specialmente nella fase di riempimento della cariosside. La volpatura è un ulteriore difetto qualitativo che riguarda il frumento duro ed è l'imbrunimento delle cariossidi nella zona embrionale o ventrale. Anche la volpatura può essere rimossa con la raffinazione determinando una perdita. I regolamenti comunitari Reg. 165/2010 e Reg. 1881/2006 riguardano rispettivamente le aflatossine e i tenori massimi di alcuni contaminanti nei prodotti alimentari e nella tabella

seguinte (Tabella 2) sono indicati i limiti massimi ammessi di micotossine per i diversi cereali e loro prodotti.

TIPO DI MERCE/PRODOTTO	MICOTOSSINA	L.M.A. (MICROG/Kg)	REGOLAMENTO DI RIFERIMENTO
Tutti i cereali e loro prodotti derivati	Aflatossina B1 Aflatossine	2,0	165/2010
Tutti i cereali e loro prodotti derivati	Somma di B1, B2, G1 e G2	4,0	165/2010
Cereali non trasformati	Ocratossina A	5,0	1881/2006
Tutti i prodotti derivati da cereali non trasformati	Ocratossina A	3,0	1881/2006
Cereali non trasformati diversi da grano duro, avena e granturco	Deossinivalenolo	1250	1881/2006
Grano duro e avena non trasformati	Deossinivalenolo	1750	1881/2006
Cereali destinati al consumo umano diretto	Deossinivalenolo	750	1881/2006
Pasta secca	Deossinivalenolo	750	1881/2006
Pane e prodotti da forno	Deossinivalenolo	500	1881/2006
Cereali non trasformati	Zearalenone	100	1881/2006
Cereali destinati al consumo umano diretto	Zearalenone	75	1881/2006
Pane e prodotti da forno	Zearalenone	50	1881/2006

Tabella 2 - Limiti massimi ammessi di micotossine per i diversi cereali e loro prodotti (Reg.165/2010; Reg.1881/2006)

QUALITA' TECNOLOGICA: la qualità tecnologica può essere descritta come l'attitudine della farina o della semola ad essere trasformata e può essere valutata in risposta a diversi parametri. Nel frumento tenero la velocità di fermentazione dipende dall'attività alpha-amilasica della farina, cioè la velocità di trasformazione dell'amido in zuccheri semplici, che i microrganismi possono utilizzare durante la fermentazione, mediante le amilasi endogene della farina. Se l'attività alpha-amilasica è bassa l'impasto sarà poco rigonfiabile e secco, se è alta l'impasto sarà poco stabile e colloso (Figura 3).

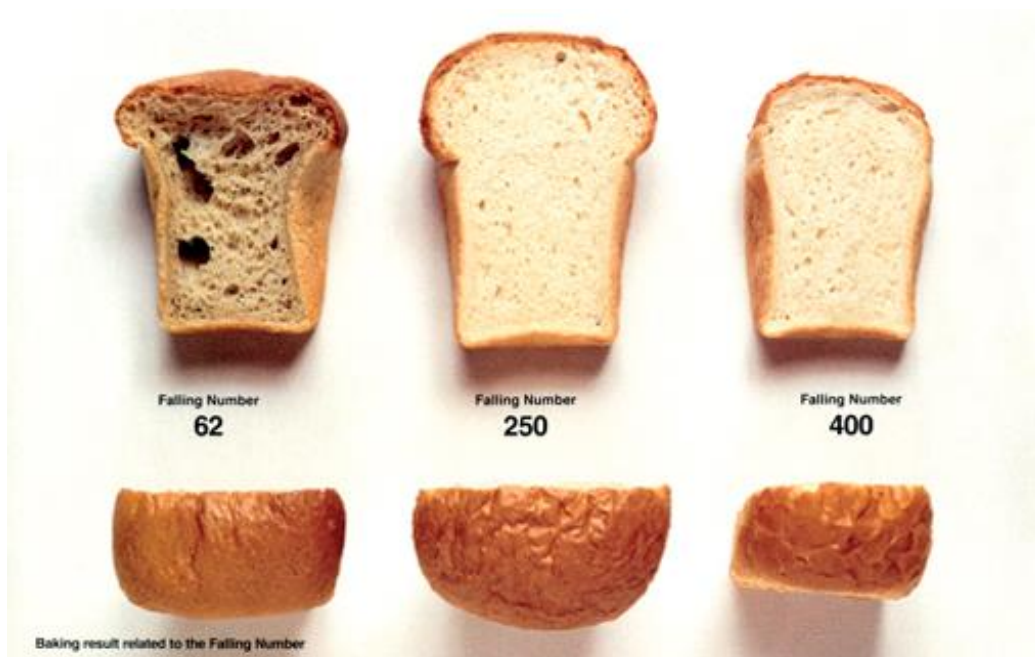


Figura 3 - Diversi risultati della panificazione in risposta al falling number delle farine utilizzate (molinopiantoni.it)

La valutazione dell'attività alpha-amilasica è effettuata mediante il falling number espresso in secondi, dove in un cilindro standard si fa "gelatinizzare" un impasto in acqua bollente. La viscosità dell'impasto diminuisce con la degradazione dell'amido per azione dell'alpha-amilasi e si valuta il tempo impiegato dall'impasto a cadere in un agitatore tarato. Valori sotto i 160-200 secondi indicano un'eccessiva attività alpha-amilasica, valori sopra i 300 secondi indicano bassa attività alpha-amilasica. Altro fattore che influenza la qualità tecnologica è la quantità e la qualità del glutine. La quantità di glutine è valutabile mediante un lavaggio in soluzione salina a 30°C per rimuovere l'amido e le proteine solubili, dove infatti rimane una sostanza grigiastra che è sostanzialmente glutine. La qualità del glutine è poi valutabile mediante metodo turbidimetrico, dove il glutine è messo in una soluzione di acido lattico in cui il glutine si scioglie. L'intorbidimento della soluzione è proporzionale allo scioglimento del glutine e quindi alla sua qualità, dove maggiore sarà la torbidità e maggiore sarà la tenacità del glutine. Del frumento vengono effettuate diverse misure reologiche che permettono di valutare tenacità, estensibilità, elasticità, viscosità e adesività. Gli strumenti che misurano le proprietà reologiche della farina sono l'alveografo di Chopin, il farinografo di Brabender, l'estensografo di Brabender e il consistografo. Attraverso l'alveografo di Chopin si ottiene un alveogramma (Figura 4), che è la rappresentazione grafica dell'attitudine alla panificazione di una farina, attraverso la simulazione di una lievitazione. Per effettuare quest'analisi reologica si preparano dischi di impasto con 250g di farina e una soluzione con 2,5% NaCl. In questo

disco di impasto è insufflata aria fino a provocarne il rigonfiamento ed infine la rottura. Durante il processo le variazioni di pressione all'interno della bolla vengono misurate e riportate nell'alveogramma.

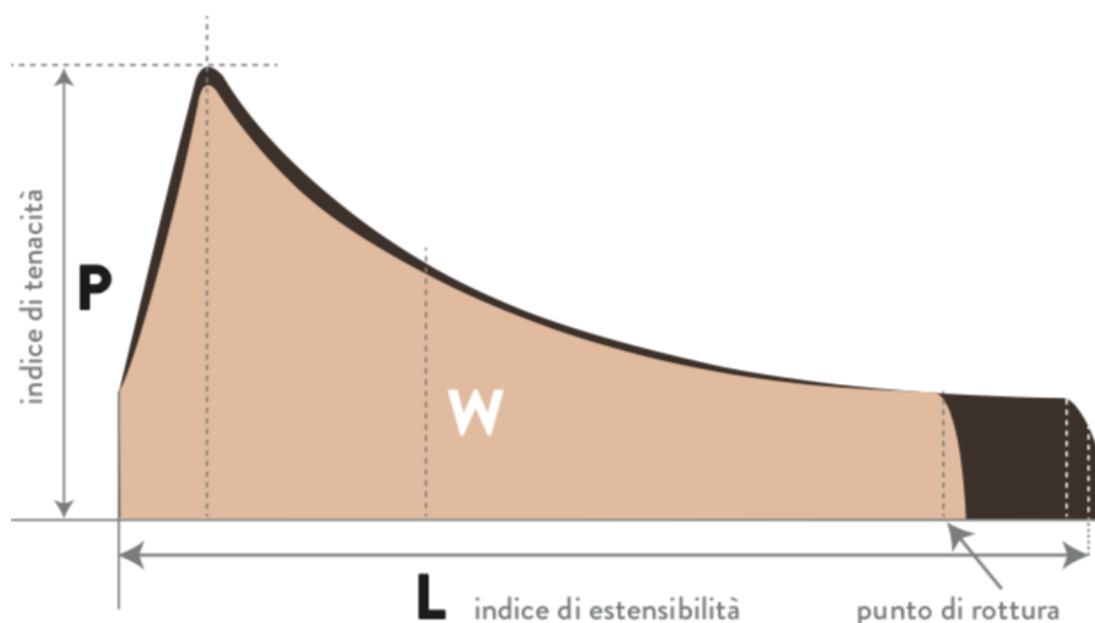


Figura 4 - Alveogramma di Chopin (ristorazioneitalianamagazine.it)

Gli indici rilevati da questo alveogramma sono:

- P – indice di tenacità dell'impasto espresso in millimetri. Con valori elevati di P l'impasto è tenace ed è richiesta più acqua per arrivare ad una consistenza ottimale dell'impasto, con una conseguente alta resa alla panificazione.
- L – indice di estensibilità dell'impasto espresso in millimetri. È l'indice della capacità di dare un pane con buona porosità ed è collegata alla capacità dell'impasto di estendersi senza rompersi.
- W – indice di forza dell'impasto espresso in decimillesimi di Joule. È l'energia necessaria a gonfiare la bolla dell'impasto fino al punto di rottura e si calcola a partire dall'area compresa dalla curva dell'alveogramma. W fornisce informazioni sulla qualità della rete proteica dell'impasto.
- G – indice di rigonfiamento dell'impasto ed è la radice quadrata del contenuto d'aria della bolla alla rottura. Indica l'attitudine a produrre pane ben sviluppato e con buona porosità.
- P/L – indica l'equilibrio tra tenacità ed estensibilità.

Un valore di P/L basso, solitamente inferiore a 0,5, è un indice di un impasto molle, estensibile e probabilmente colloso, un valore di P/L elevato, maggiore di 0,8, indica impasti difficili da lavorare che danno pane poco voluminoso e con mollica compatta. Grani di forza sono adatti per prodotti da forno soffici, come panettoni e pane in cassetta, che vanno incontro ad una lunga fermentazione, con $W > 300$ e $P/L \geq 1$. Per la panificazione superiore, quindi per produrre Rosette o Baguette ad esempio, $W > 260$ e $P/L \geq 0,8$, mentre per la produzione di pane, come pane Pugliese e Ciabatta, W compreso tra 160 e 250 e $P/L = 0,6-0,7$. Le farine deboli, usate per produrre biscotti, hanno W compreso tra 90 e 160 e $P/L = 0,3-0,4$. La stabilità dell'impasto durante la lavorazione si valuta con il farinografo di Brabender. Gli indici rilevabili dal farinogramma (Figura 5) ottenuto sono l'assorbimento % di acqua, il tempo in minuti di sviluppo dell'impasto, il tempo in minuti di stabilità dell'impasto, il tempo di caduta dell'impasto e il grado di rammollimento dopo 10, 12 o 20 minuti. Per ottenere il farinogramma l'impasto di farina è sottoposto a lavorazione mediante pale rotanti e la resistenza alla lavorazione aumenta fino ad un valore massimo e dopo un periodo in cui rimane più o meno stabile diminuisce bruscamente in quanto si ha la sfibratura. Le farine migliori hanno un tempo di sviluppo medio lungo, da 7 a 10 minuti, basso indice di caduta, stabilità di circa 10 minuti e elevato quantitativo di acqua assorbita, maggiore al 55%, mentre farine di qualità scadente hanno tempi di lavorazione relativamente brevi, hanno una stabilità di circa 2-3 minuti e indice di caduta alto.

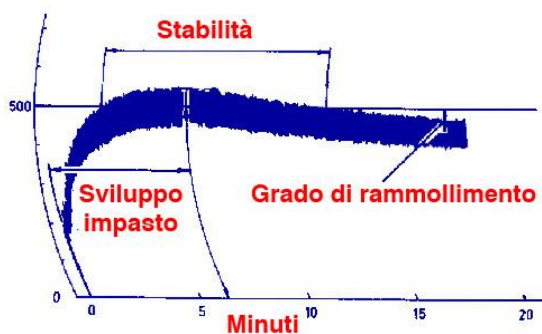


Figura 5 - Farinogramma di Brabender (lievitando.wordpress.com)

La durezza è una caratteristica varietale legata al tipo di reticolo proteico dell'endosperma e determina risposte differenti alla macinazione e alla lievitazione. Grani soft richiedono minori energie per la macinazione con minori danni all'amido, danno maggiori rese, assorbono meno acqua per formare l'impasto ed hanno minori attività enzimatiche. Grani hard hanno caratteristiche opposte. La durezza si misura con la resistenza allo schiacciamento delle cariossidi o mediante spettroscopia NIR.

1.5 – Maggiori prodotti derivanti dal frumento

Il pane è uno dei più antichi alimenti base in tutto il mondo, ed il mercato è in una continua ricerca per innovare il settore al fine di rispondere alle esigenze dei consumatori e per ottenere maggiori quote di mercato. Al momento, il mercato internazionale, tende a muoversi verso farine organiche e non convenzionali. Varietà antiche di frumento tenero hanno particolari caratteristiche nutrizionali che sono idonee per aumentare il valore nutrizionale di vari prodotti, in particolare del pane (Di Silvestro et al., 2012; Dinelli et al., 2007; Migliorini et al., 2016; Valli et al., 2018). Tuttavia, ci si aspettava che la loro attitudine alla panificazione sarebbe stata inferiore alle farine ottenute dalle varietà moderne di frumento, dove i produttori si sono concentrati per ottimizzare la produzione di pane in termini di qualità della farina e del processo produttivo (Marotti et al., 2012; Ormoli et al., 2015). Come risultante di ciò, i processi industriali e i vari macchinari sono più adatti a lavorare con varietà moderne di frumento rispetto a varietà di frumento antico. I fornai stanno poi affrontando una sfida piuttosto complessa per raggiungere il perfetto equilibrio tra la produzione di impasti ottenuti con farina di varietà antiche con alte qualità tecnologiche, comparabili con le qualità tecnologiche delle varietà moderne, e tutte le varie caratteristiche sensoriali ed organolettiche desiderabili. Secondo la legislazione italiana, il pane è *“il prodotto ottenuto dalla cottura totale o parziale di un impasto convenientemente lievitato, preparato con sfarinati di grano o di altri cereali, acqua e lievito, con o senza aggiunta di cloruro di sodio o sale comune, spezie o erbe aromatiche”*. Il pane quotidiano può essere ottenuto tramite fermentazione diretta, mediante l'uso del panetto di lievito, o tramite fermentazione indiretta. Frumento, farro e segale sono cereali con cui è possibile ottenere lievitati 100% frumento, 100% segale, 100% farro, mentre con altri cereali, quali orzo e avena per esempio, non è possibile in quanto la maglia glutinica che viene a formarsi non è abbastanza forte. Nell'endosperma della cariosside sono presenti gluteline e prolamine (75-95%) che nel frumento sono chiamate rispettivamente glutenine e gliadine. Le prolamine, chiamate gliadine nel caso del frumento, determinano la celiachia, una malattia infiammatoria cronica dell'intestino tenue. In Asia la diffusione della malattia celiaca è in aumento a causa di cambiamenti di diete verso stili occidentali (Cummins et al., 2009) ed i cambiamenti nello stile di vita e l'introduzione di prodotti contenenti frumento nella prima infanzia possono essere considerati fattori ambientali che causano un aumento di casi della celiachia (Ventura et al., 1999; Invarsson et al., 2000; Fasano 2006). Le diverse prolamine nei diversi cereali hanno diversi amminoacidi che formano la proteina e quanto più è alto il contenuto di prolina e glutammina, tanto più risulta tossico l'effetto dell'ingestione per i celiaci. Per i celiaci il frumento è il cereale più tossico con 17-23% prolina e 36% glutammina,

meno tossici sono invece orzo e segale. Ingrediente fondamentale per la panificazione è l'acqua che fa reidratare la farina, con tutte le sue proteine ed enzimi ed è anche fondamentale per l'espressione dell'attività metabolica di microrganismi, oltre ad esplicare azione solvente per altri ingredienti quali il sale. E' con l'impastamento che gliadine e glutenine vanno a formare il glutine (Figura 7).

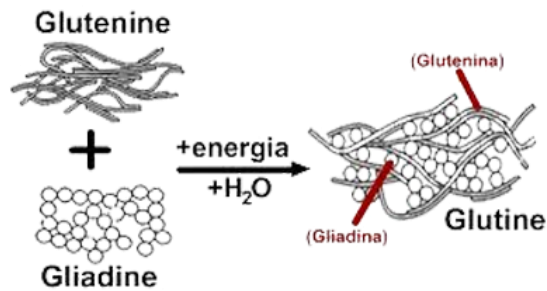


Figura 7 - Formazione del glutine (allergie-intolleranze.it)

Infatti gliadine e glutenine vanno ad ordinarsi e riarrangiarsi formando un reticolo con proprietà viscoelastiche (Figura 8). Le proprietà viscoelastiche sono conferite proprio dalle gliadine, che danno estensibilità e viscosità, e dalle glutenine, che danno elasticità e tenacità.

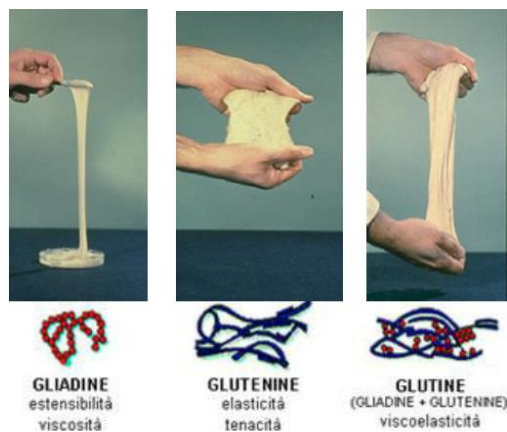


Figura 8 - Proprietà viscoelastiche

Ad inizio impastamento la struttura è disordinata e man mano che avviene l'impastamento le glutenine si ordinano tutte nella stessa direzione e le gliadine si dispongono tra i fasci paralleli delle glutenine, formando così la maglia glutinica con la capacità di trattenere la CO₂ liberata dalle fermentazioni dei lieviti durante la lievitazione e più forte è la maglia glutinica è maggiore sarà la capacità dell'impasto di gonfiarsi trattenendo CO₂ (Figura 9). Se

l'impastamento dura troppo si va incontro ad "overmixing" che è la rottura dell'ordine che si è formato tra gliadine e glutenine.

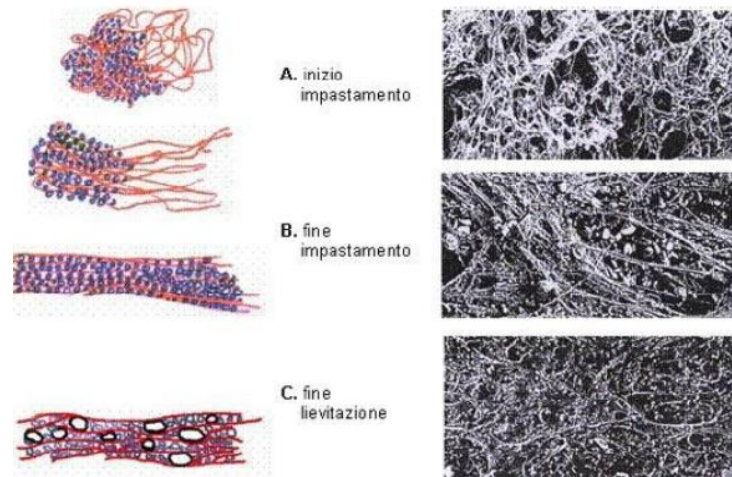


Figura 9 - Proteine ad inizio impastamento, fine impastamento e fine lievitazione

Gli agenti lievitanti maggiormente utilizzati per la panificazione sono lievito di birra, impasto acido di tipo I, II e III, biga e poolish. Il lievito di birra è sostanzialmente biomassa di lievito, cellule di *Saccaromyces cerevisiae* compresse, dove per grammo ci sono circa 10 miliardi di cellule vive di questo lievito. Nella panificazione diretta si usa 2% di lievito sul peso dell'impasto. Il lievito di birra può anche essere utilizzato in panificazione indiretta al fine di formare un pre-impasto, quindi panetti di biga o poolish, tra essi varia il tipo di farina e il quantitativo d'acqua utilizzato, che il giorno successivo alla formazione vengono usati essi stessi come agenti lievitanti. La panificazione indiretta richiede tempi più lunghi della panificazione diretta che solitamente porta alla formazione di un impasto ben lievitato nel giro di poche ore, ma il vantaggio della panificazione indiretta sta nel fatto che i lieviti crescono più lentamente avendo anche la possibilità di formare metaboliti utili e i batteri lattici naturalmente presenti nella farina hanno abbastanza tempo per acidificare, dando un importante impatto aromatico al prodotto finito. Nonostante le caratteristiche migliori della panificazione indiretta, nei processi industriali continua ad essere preferita la panificazione diretta visto i tempi abbondantemente ridotti. L'impasto acido di tipo I o lievito madre è un impasto di acqua e farina, fermentato a 22-28°C e rinfrescato ogni 24 o 48 ore attraverso la tecnica del back sloping, ovvero aggiungendo all'impasto fermentato farina ed acqua. La composizione dei microrganismi presente nel lievito madre dipende da vari fattori quali il tipo di sfarinato usato, la temperatura di incubazione, i numeri e la frequenza dei rinfreschi e così come per il poolish e la biga il lievito madre non è molto utilizzato nell'industria che mira ad

avere un prodotto qualitativamente costante e standardizzato, cosa che non è possibile garantire per gli impasti acidi perché i microrganismi, e rapporti tra essi, che possono presentarsi sono molto variabili proprio in risposta alle variabili già menzionate. Ciò che invece viene più utilizzato nell'industria è l'impasto acido di tipo II o l'impasto acido di tipo III, dove in questo caso questi, in formulazione liquida o in polvere, vengono aggiunti in panificazione diretta solo per fini legati all'aroma e l'agente lievitante vero e proprio resta *Saccaromyces cerevisiae*, il lievito di birra, che assicura una lievitazione ben riuscita in tempi brevi.

1.6 – Gli acidi grassi

I lipidi sono presenti nei cereali in piccole quantità, circa il 3% della cariosside, tuttavia rivestono un ruolo piuttosto significativo per l'alimentazione umana e la tecnologia di lavorazione dei cereali. Sono concentrati maggiormente nel germe, che contiene circa il 28,5% dei lipidi, e nello strato aleuronico, che contiene circa l'8% dei lipidi (Delcour et al., 2010). Gli acidi grassi hanno una struttura molecolare riconducibile ad una catena alifatica in genere lineare, con un gruppo carbossilico (-COOH) ad un'estremità. Gli acidi grassi possono essere distinti in acidi grassi saturi, ovvero privi di doppi legami, monoinsaturi, con un doppio legame, e polinsaturi con più doppi legami e gli acidi grassi naturali presentano in genere i doppi legami in configurazione *-cis*, mentre i *trans*-isomeri sono rari e la loro presenza può indicare attività microbica, dato che i *trans*-isomeri sono tipici del metabolismo batterico. C'è un particolare interesse dedicato agli acidi grassi a doppi legami coniugati, in relazione alle loro considerevoli attività biologiche come effetti anticancerogeni, modulazione della funzionalità immunitaria, effetti antidiabete e antisclerotica. Gli acidi grassi a doppi legami coniugati sono rappresentati essenzialmente da termini a 18 atomi di carbonio, con insaturazioni localizzate sui carboni 7,9; 8,10 (Cabras, Martelli, 1997). La maggior parte degli studi sui lipidi liberi mostra che il farro è più ricco di lipidi rispetto al frumento e i principali acidi grassi sono l'acido linolenico C 18:2, l'acido palmitico C 16:0, l'oleico C 18:1 e il linolenico C 18:3. La porzione di acido oleico negli acidi grassi è più elevata nel farro rispetto al frumento tenero, ma la porzione di acido linoleico e linolenico è più bassa nel farro rispetto al frumento (Abdel A. et al., 1995; Ranhotra et al., 1995; Grela, 1996; Piergiovanni et al., 1996; Ruibal-Mendieta et al., 2004; Ruibal-Mendieta et al., 2005). In natura possiamo trovare catene carboniose corte, medie e lunghe, ma le più comuni sono quelle comprese tra 16 e 24 atomi di carbonio. In linea generale, gli acidi grassi più diffusi in natura sono riportati nella tabella seguente (Tabella 3).

Numero di C	Denominazione comune	Denominazione IUPAC	Notazioni abbreviate
4	Butirrico	Butanoico	C 4:0
6	Caprinico	Esanoico	C 6:0
8	Caprilico	Ottanoico	C 8:0
10	Caprinico	Decanoico	C 10:0
12	Laurico	Dodecanoico	C 12:0
14	Miristico	Tertadecenoico	C 14:0
16	Palmitico	Esadecanoico	C 16:0
16	Palmitoleico	<i>cis</i> -6-esadecenoico	C 16:1 Δ9
18	Stearico	Ottadecanoico	C 18:0
18	Oleico	<i>cis</i> -9-ottadecenoico	C 18:1 Δ9
18	Linoleico	<i>cis,cis</i> -9,12-octadecadienoico	C 18:2 Δ6, 12
18	Linolenico	<i>cis,cis,cis</i> -6,9,12-octadecatrienoico	C 18:3 Δ9, 12, 15
20	Arachico	Eicosanoico	C 20:0
20	Arachidonico	<i>cis,cis,cis,cis</i> -5,8,12,15-eicosatetraenoico	C 20:4
22	Beenico	Docosanoico	C 22:0
22	Erucico	<i>cis</i> -13-docoseinoico	C 22:1
24	Lignocerico	Tetracosanoico	C 24:0

Tabella 3 – Principali acidi grassi saturi e insaturi diffusi in natura (slideplayer.it)

Le alterazioni dei lipidi, anche se presenti in piccole quantità nei cereali, possono determinare instabilità e perdita di qualità in prodotti derivati da essi come paste o prodotti da forno. Nonostante i lipidi costituiscano solamente l'1,5-7% delle cariossidi di frumento, presentano una grande diversità strutturale e sono distribuiti in modo non uniforme nella cariosside, dove i lipidi neutri sono principalmente presenti nel germe, nello strato aleuronico e nella crusca, mentre i lipidi polari sono più abbondanti nell'endosperma. Lipidi neutri sono trigliceridi, acidi grassi liberi, steroli, esteri di steroli, cere e pigmenti idrofobi, i lipidi polari comprendono glicolipidi e fosfolipidi. I lipidi della farina, durante lo stoccaggio e la conservazione, a causa di enzimi lipasi, possono dare origine ad acidi grassi liberi, facilmente ossidabili. I lipidi totali nella farina integrale sono C 16:0 17-24%, C 18:0 1-2%, C 18:1 8-21%, C 18:2 55-60%, C 18:3 3-5%. Nella crusca sono C 16:0 18-28%, C 18:0 1-4%, C 18:1 17-24%, C 18:2 41-58%, C 18:3 1-6%. Nel germe sono C 16:0 18-28%, C 18:0 <2%, C 18:1 8-17%, C 18:2 54-57%, C 18:3 4-9%. Nella farina, non considerando la frazione amidacea sono C 16:0 16-21%, C 18:0 <2%, C 18:1 12-13%, C 18:2 60-66%, C 18:3 4-5%. Nella farina, inclusa la frazione amidacea

sono C 16:0 35-54%, C 18:0 <2%, C 18:1 7-14%, C 18:2 44-52%, C 18:3 1-4% (Morrison, 1997). Gli acidi grassi dei lipidi nel frumento sono prevalentemente insaturi (C 18:2, C 18:1, C 18:3) e due di questi, il linoleico e il linolenico, sono acidi grassi essenziali. Questo aumenta il valore dei lipidi del frumento per la nutrizione umana, in quanto sono acidi grassi essenziali e sono precursori di importanti biomolecole come le prostaglandine e i fosfolipidi di membrana e sono coinvolti in processi metabolici come la regolazione del livello lipidico nel sangue, particolarmente del colesterolo (Lafiandra et al., 2012; Mozaffarian et al., 2011). Gli acidi grassi essenziali (EFA) sono considerati dunque molto importanti per il metabolismo umano e si classificano in ω 3, quando l'ultimo doppio legame è presente sul terzo carbonio a partire dalla fine (esempio degli ω 3 è l'acido linolenico C 18:3 Δ 9,12,15) e ω 6, quando l'ultimo doppio legame è presente sul sesto carbonio a partire dalla fine (esempio degli ω 6 è l'acido linoleico C18:2 Δ 6,12) Il contenuto e la composizione lipidica sono influenzati dalla variabilità genetica, compresa la *cultivar* e la classe del grano, dagli effetti ambientali durante la crescita, compreso l'anno, il clima e il suolo, e dagli effetti dell'interazione genetica con l'ambiente (Chung et al., 2009). A riguardo delle condizioni climatiche, è stato visto che i climi freddi favoriscono un aumento del contenuto lipidico nel frumento e una maggiore quantità di acidi grassi insaturi (Nejadsadeghi et al., 2015). I lipidi del frumento possono essere suddivisi in lipidi semplici, lipidi complessi e lipidi secondari. I lipidi semplici comprendono gli esteri degli acidi grassi e del glicerolo e circa il 97% dei lipidi appartenenti a questo gruppo sono trigliceridi presenti specialmente nello strato aleuronico e nel germe. Il restante 3% è rappresentato da mono- e digliceridi. Un altro tipo di lipidi presenti nel gruppo dei lipidi semplici sono le cere, esteri di acidi grassi e alcoli diversi dal glicerolo, e si possono trovare maggiormente nella crusca. I lipidi complessi sono un gruppo di composti contenenti acidi grassi, alcoli e altre strutture chimiche, in particolare contengono fosfolipidi che sono componenti strutturali della pianta, costituenti delle membrane biologiche e partecipano anche alla formazione dell'amido. I lipidi secondari sono derivati dei lipidi semplici e complessi, formati prevalentemente come risultato della loro idrolisi e includono quindi acidi grassi, alcoli e carboidrati.

2 – PROCESSO MOLITORIO

L'industria molitoria si basa sul principio di separare quanto più possibile l'endosperma dalle altre parti della cariosside. La macinazione del frumento fornisce, oltre agli sfarinati adatti alla produzione del pane, pasta ed altri prodotti da destinare all'alimentazione umana, crusche che, insieme al cruschello e al farinaccio, raggruppati con il nome "cruscami" vengono attualmente utilizzati per la preparazione di mangimi. Un molino può essere distinto in quattro sezioni, una sezione atta alla prepulitura ed immagazzinamento del grano, una sezione per la prima e la seconda pulitura e condizionamento, una sezione per la macinazione vera e propria ed una sezione che riguarda l'immagazzinamento e il successivo confezionamento degli sfarinati in sacchi o in carico alla rinfusa. Il processo di macinazione è rappresentato da una sequenza di operazioni fisiche che attraverso prepulitura, stoccaggio, puliture, rotture, vagliature e rimacine, consente di separare, sotto forma di sfarinati, l'endosperma dalle parti corticali della cariosside del frumento.

2.1 – Diagramma di flusso del processo molitorio

Il diagramma di flusso del processo molitorio di un molino (Figura 13) si presenta differente a seconda se si vuole trasformare il frumento tenero in farine o il frumento duro in semole, tuttavia in entrambi i casi il processo inizia con il ricevimento del frumento che, dopo l'ispezione e il prelevamento dei campioni per le analisi, viene inviato a un trattamento di prepulitura mediante aspirazione e vagliatura. Il frumento successivamente viene immesso in strutture per lo stoccaggio, come magazzini orizzontali o sili verticali, che devono avere particolari requisiti di idoneità per la conservazione. Il processo di macinazione viene fatto precedere da un'ulteriore operazione di pulitura e dall'umidificazione o condizionamento con l'aggiunta di un'adeguata quantità di acqua potabile. Questa operazione serve a facilitare la separazione dell'endosperma dalla parte corticale e consente il mantenimento costante e controllato dell'umidità e della temperatura durante il processo di macinazione. La macinazione vera e propria è costituita da due fasi, la rottura e la rimacina. Le due operazioni vengono eseguite in modo differente a seconda che si tratti della macinazione del frumento tenero e di quella del frumento duro. Scopo principale della rottura, che si realizza solitamente con macinatori a cilindri rotanti (Figura 10), è quello di aprire la cariosside, distaccare il più possibile l'endosperma dalla parte corticale e lasciare la parte corticale sotto forma di scaglie larghe e piatte, dalle quali, in un secondo tempo, vengono ulteriormente separati i frammenti di endosperma ancora aderenti. I mulini a cilindri sono formati da due cilindri che ruotano lungo il loro asse ed il frumento arrivando dall'alto viene schiacciato tra essi.

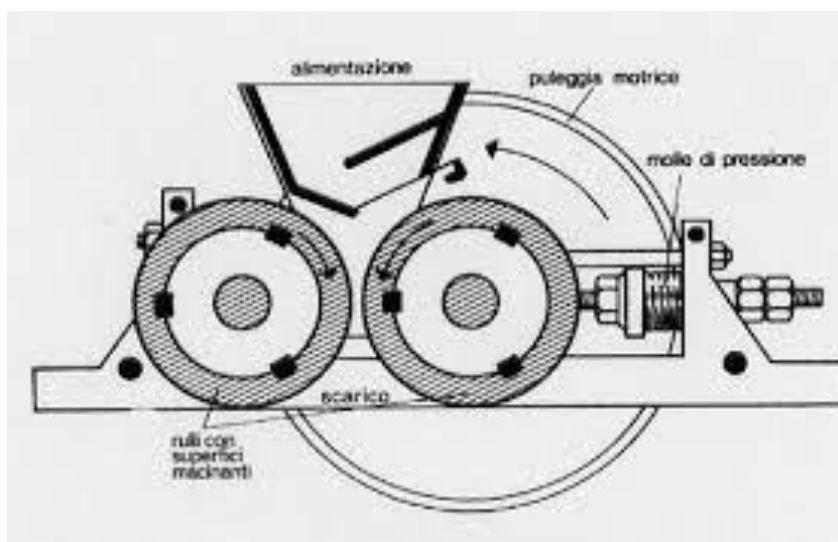


Figura 10 – Macinatrice a cilindri rotanti (win.spazioinfo.com)

La rimacina, nel caso del frumento tenero, ha la funzione di ridurre le particelle scagiose provenienti dalle rotture (graniti) in sfarinati attraverso il passaggio su cilindri lisci e successive setacciature. Nel caso del frumento duro, i passaggi di rottura sono di numero superiore con rigature più profonde rispetto alla macinazione del frumento tenero, mentre è più ridotto il numero delle rimacine. Un altro tipo di macinatrice utilizzata è la macinatrice a coltelli (Figura 11). In questo caso gli elementi macinanti sono delle lame di acciaio inox montate su un albero rotante all'interno di una camera di macinazione, ed inoltre nella parte inferiore della camera si trova una griglia intercambiabile che permette di controllare la granulometria.

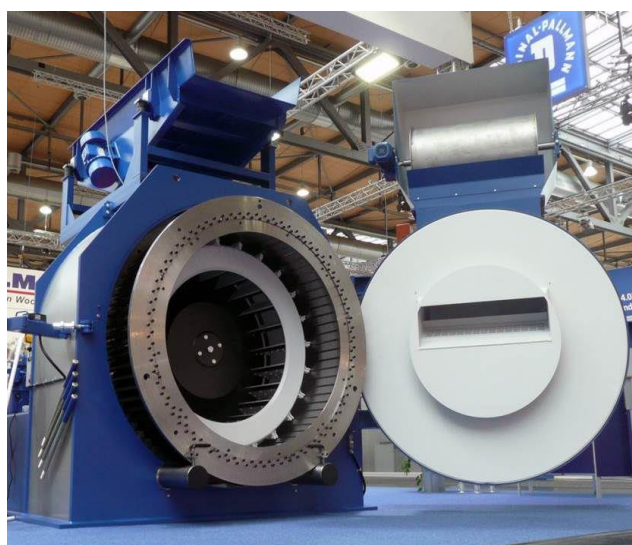


Figura 11 – Macinatrice a coltelli (directindustry.it)

La setacciatura, ovvero la separazione delle farine e delle semole dalle parti più grossolane e cruscali, avviene in setacci piani oscillanti denominati “Plansichter” (Figura 12). La pulizia e la selezione granulometrica delle farine, senza alterarne lo stato, viene effettuata da gruppi modulari di telai setaccianti che oscillano in senso orizzontale. Il prodotto, caricato nella parte superiore, viene setacciato per caduta tra i telai e quindi selezionato per l’utilizzo e lo scarto con appositi scarichi. Il movimento oscillante è ottenuto mediante un cinematismo eccentrico a masse regolabili azionato da motore elettrico, con aste di sospensione elastiche collegate ad una robusta struttura portante.



Figura 12 – Setaccio oscillante Plansichter (CMBSrl.com)

Dalla fase di macinazione si ottiene un prodotto principale, farine di frumento tenero o semole di frumento duro, e uno o più prodotti secondari, comunemente denominati “sottoprodotti” che sono crusca, cruschello, farinetta, farinaccio, tritello, sottoprodotti destinati prevalentemente all’alimentazione animale come materie prime per mangimi o mangimi

semplici. I medesimi sottoprodotti possono trovare utilizzazione anche nell'alimentazione umana. In tal caso essi devono rispettare la vigente normativa igienico sanitaria, comunitaria e nazionale, in materia di prodotti alimentari (ITALMOPA, 2020).

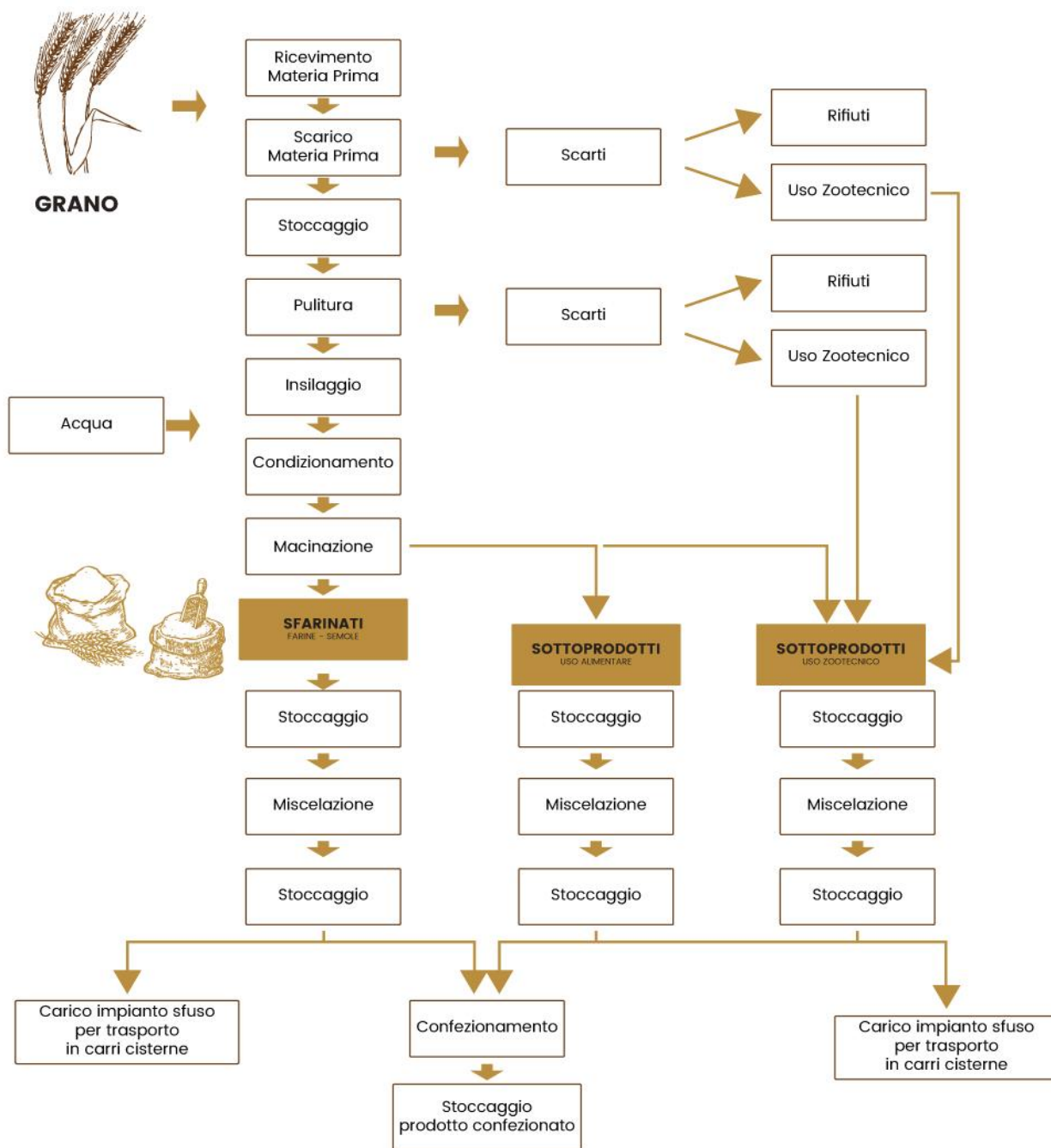


Figura 13 – Diagramma di flusso del processo molitorio (italmopa.com)

3 – SILOS PER LO STOCCAGGIO DEL FRUMENTO

Il frumento può essere raccolto ancora fresco e quindi conterrebbe una discreta quantità di acqua al suo interno. L'umidità, tuttavia, costituisce un elemento controproducente per la buona conservazione del prodotto raccolto. È proprio per questo motivo che prima di procedere a ulteriori fasi di lavorazione, a seguito della mietitrebbiatura, è necessario operare l'essiccazione e il corretto stoccaggio del prodotto, prima di procedere con le altre fasi della lavorazione, come la macinazione e la successiva conservazione. Tuttavia il frumento è tipicamente raccolto quando ha un'umidità del 12-13%, sia per la maggior conservabilità, sia per evitare i costi correlati all'essiccamento. Lo stoccaggio del frumento o sfarinati avviene in silos (Figura 14) dove, per silo, si intende una struttura o un magazzino o un locale all'esterno o all'interno di un edificio separato e chiuso, nel quale sono immagazzinati i prodotti dell'industria agroalimentare.



Figura 14 – Silos in acciaio inox (pixabai.com)

I silos possono essere in acciaio, cemento o vetroresina. I silos in acciaio sono i più utilizzati in assoluto e garantiscono lunga durata di conservazione nel tempo, sono impermeabili e resistenti agli agenti atmosferici e sono anche molto igienici con un elevato grado di conservazione della materia prima. I silos in cemento (Figura 15) vengono usati principalmente nelle zone portuali in quanto di grandi altezze e grande capacità contenitiva. Sono più

permeabili rispetto a quelli in acciaio. I magazzini di stoccaggio in cemento hanno il vantaggio di essere di ampio spazio e possono essere open space o divisi a celle come se fossero dei silos.



Figura 15 – Silos in cemento in zona portuaria (mapio.net)

I silos in vetroresina (Figura 16) sono quelli che hanno la maggiore resistenza termica, elevate resistenze meccaniche e un buon isolamento termico e sono solitamente costruiti a sezione circolare non richiedono particolare manutenzione e vengono usati principalmente per i mangimi animali (N.A. Elettronica).



Figura 16 – Silos in vetroresina (silosilca.it)

Dal 1 agosto 2017 è entrato in vigore l'aggiornamento della UNI EN 1993-4-1 in materia di Silos, che sostituisce la precedente versione del 2007. La norma fornisce i principi e le regole applicative per la progettazione strutturale di silos di acciaio a sezione circolare o rettangolare, in posizione libera o appoggiata, dove la norma tratta solo i requisiti di resistenza e stabilità, non trattando quindi altri requisiti, quali per esempio quelli relativi al controllo qualità, alle fasi di costruzione e prova, alle prestazioni di funzionamento, né i dettagli costruttivi di pozzetti, flange e dispositivi di riempimento. A tal riguardo i silos verticali devono essere costruiti di materiali idonei da consentire facili pulizie e operazioni di disinfestazione e disinfezioni, i silos devono essere dotati di bocche di aerazione, per consentire la ventilazione dei cereali, e/o altri sistemi idonei (freddo, anidride carbonica, azoto) e le operazioni di stoccaggio e prelievo devono essere effettuate con l'adozione di sistemi idonei per contenere le emissioni diffuse di polveri nell'ambiente (UNI EN 1993-4-1:2017). Il riempimento dei silos può essere eseguito attraverso un sistema meccanico o pneumatico, che solitamente è il sistema più adottato, utilizzando autocisterne idonee per il trasporto delle polveri. La cisterna è pressurizzata e, una volta aperta la valvola, la pompa permette il trasferimento di un fluido, composto da aria e polvere, verso il silo. L'apertura e la regolazione della valvola, durante la fase di riempimento, sono di responsabilità dell'autista della cisterna, che, con la propria esperienza, deve provvedere al completo svuotamento della stessa dal carico di cereali o sfarinati. Durante la fase di riempimento, all'interno del silo si ha una separazione delle due fasi: mentre la parte solida si deposita nel silo, l'aria deve essere evacuata, ed un eccessivo innalzamento della pressione all'interno del contenitore può portare al rigonfiamento del silo, con conseguenti danneggiamenti strutturali dello stesso, o in situazione limite alla sua esplosione con effetti molto gravi per persone, strutture ed ambiente, dove la fase maggiormente critica risulta essere quella di fine caricamento, in cui la portata di sfarinati/frumento risulta essere molto inferiore rispetto a quella dell'aria, infatti la pressione passa da circa 1,3 bar a pressione atmosferica, con conseguente incremento della velocità dell'aria. In questo momento è quindi possibile avere un rapido innalzamento della pressione interna del silo. Allo stesso modo, una rapida variazione di pressione durante la fase di svuotamento del silo può portare ugualmente all'implosione, determinando elevati livelli di rischio per gli addetti, per le strutture dell'impianto e per l'ambiente (Colombo, 2001). Una soluzione a questo problema può essere che sul tetto dei silos si adotti un sistema di apertura che consenta lo sfiato dell'aria a "cielo aperto" o, in alternativa, possono essere usati tubi di sfiato di diametro variabile. Essendo l'aria carica di particelle di polvere, una semplice apertura comporterebbe lo sfiato non solo dell'aria, ma anche l'emissione in atmosfera del

contenuto (polveri/sfarinati) e la possibilità che il prodotto venga a contatto con fattori esterni, quali pioggia, microrganismi, umidità, eccetera. Occorre quindi un adeguato sistema di abbattimento delle polveri che permetta il rilascio dell'aria, ma che trattenga le stesse, al fine di evitare emissioni dannose in atmosfera, in risposta alla UNI EN 1993-4-1:2017. I dispositivi di controllo della pressione vengono installati sulla parte superiore dei silos (Figura 17) in quanto in questo modo è possibile il recupero diretto del materiale all'interno del silo e non c'è perdita di materiale pericoloso/inquinante.



Figura 17 – Sistema di sicurezza silos

I filtri devono lasciar passare l'aria trattenendo le polveri, e nel caso in cui l'aria abbia difficoltà ad uscire dal sistema di filtrazione, la pressione interna del silo cresce, vanificando l'impiego del filtro. Per ovviare a problematiche, come aumenti improvvisi di pressione, è obbligatorio installare un dispositivo di controllo della pressione che intervenga qualora si verifichi una situazione di rischio. Tale accorgimento è denominato valvola di controllo pressione PRV (Hauert et al., 1996) e nel caso in cui la pressione interna del silo raggiunga un valore limite, sia in termini positivi che negativi, la valvola si deve aprire e permettere l'evacuazione/introduzione di aria. Le frequenti aperture delle valvole non previste generano molteplici problemi come l'emissione di polvere in atmosfera, perdita di prodotto, con conseguente aggravio di costi per la manutenzione e la pulizia delle aree circostanti le emissioni e incremento della manutenzione dei vari componenti, che devono essere puliti da eventuali depositi. Per misurare il livello di materiali solidi nei silos bisogna scegliere la tecnologia più adeguata fra tutti gli indicatori di livello a disposizione. Il materiale da misurare

si comporta spesso in un modo da rendere difficile la misurazione del livello per ottenere risultati affidabili, infatti durante i cicli di riempimento e svuotamento, la superficie dei materiali granulari, ad esempio le cariossidi di frumento, è raramente piatta o orizzontale, con una tendenza a formare un picco sotto l'ingresso. Un altro dei problemi più comuni per le tecnologie di misurazione del livello dei solidi è l'effetto della polvere generata durante il ciclo di riempimento. I sensori di prossimità sono dei sensori in grado di rilevare la presenza di oggetti nelle immediate vicinanze, senza che vi sia un effetto contatto con il sensore stesso e l'assenza di meccanismi d'attuazione meccanica e di un contatto fisico tra il sensore e le cariossidi, fa sì che questi sensori presentino un'affidabilità elevata. I sensori rotativi, che sono considerati i più affidabili in assoluto, si basano sul principio della rilevazione del materiale che viene a contatto con una paletta rotante. I sensori capacitivi si basano sul principio della rilevazione della capacità elettrica di un condensatore dove il loro lato sensibile ne costituisce un'armatura (piastra metallica conduttiva) e l'eventuale presenza nelle immediate vicinanze di un oggetto conduttore, realizza l'altra armatura del condensatore. Quindi commutano solo quando il materiale da misurare è in prossimità (N.A. Elettronica).

4 – ALTERAZIONI DURANTE LA CONSERVAZIONE

La conservazione dei cereali stoccati può essere compromessa da diversi fattori abiotici e biotici che, se non debitamente monitorati, possono alterare negativamente le proprietà intrinseche ed estrinseche delle materie prime. I fattori abiotici più rilevanti sono la temperatura e l'umidità ambientale, ma non deve mai essere trascurata la qualità merceologica della materia prima in entrata e le condizioni dei centri destinati allo stoccaggio. Questi parametri si mantengono connessi e modulati, mentre le variazioni oltre certi livelli "soglia" generano rapidamente uno squilibrio in grado di favorire l'insediamento dei parassiti delle derrate, elevando il rischio di infestazioni e, quindi, di ulteriori effetti negativi sull'intera partita di cereale.

ALTERAZIONI DOVUTE ALL'INVECCHIAMENTO: Durante lunghi periodi di stoccaggio, le proprietà chimico-fisiche del frumento si alterano naturalmente anche se le condizioni di conservazione sono ottimali, e questo influisce negativamente sulla commestibilità e sulle qualità tecnologiche del frumento (Dell'Aquila, 1994). Le cariossidi durante lo stoccaggio sono "vive", anche se dormienti, infatti durante la conservazione il metabolismo continua e per produrre energia la pianta consuma i suoi stessi nutrienti (Matthews et al., 2012). Invece, le proprietà chimico-fisiche variano a causa di radicali liberi e altri metaboliti citotossici che causano un deterioramento della qualità durante lo stoccaggio a lungo termine (Walters, 1998). Il deterioramento chimico-fisico delle cariossidi è un processo complesso che comprende la denaturazione di proteine, inattivazione di enzimi, danni alla membrana causati dall'ossidazione lipidica ed accumulo di metaboliti tossici (Walters et al., 2010). Composti dannosi tossici e ossidativi possono infatti formarsi dal metabolismo di base, notevolmente influenzato dalle condizioni di conservazione (Walters, 1998). Tre enzimi, deidrogenasi, catalasi e perossidasi sono strettamente correlati alle proprietà fisiologiche della cariosside (Shaban, 2013). Deidrogenasi è un enzima che partecipa nel metabolismo di composti organici ed è strettamente correlato alla vitalità delle cariossidi (Dinelli and Lucchese, 2003). Catalasi e perossidasi sono enzimi che aiutano ad eliminare radicali liberi ed H_2O_2 ed aiutano quindi nel prevenire il deterioramento della cariosside (Leggatt, 2011). Questi enzimi, durante lunghi periodi di stoccaggio, si riducono lentamente, ma con il possibile aumento di temperatura nei silos, la loro velocità di degradazione aumenta notevolmente, portando quindi ad un'accelerazione del processo di invecchiamento delle cariossidi. Sono stati studiati i cambiamenti delle caratteristiche reologiche durante brevi periodi di stoccaggio, circa 50 giorni, ed i risultati ottenuti mostrano che il gluten index delle

cariossidi alla fine del periodo di stoccaggio risulta maggiore in confronto alle cariossidi appena raccolte. Inoltre le caratteristiche reologiche degli impasti ottenuti sono cambiate, infatti l'impasto risulta essere più elastico e meno estensibile sempre in confronto con l'impasto ottenuto da cariossidi appena raccolte. Le proprietà visco-elastiche di farine deboli sono cambiate molto più rispetto alle proprietà visco-elastiche delle farine forti, e ciò indica che l'intensità delle variazioni delle caratteristiche reologiche durante lo stoccaggio del frumento potrebbero dipendere dalla qualità del glutine. Le alterazioni delle caratteristiche reologiche durante lo stoccaggio del frumento sono quindi influenzate dai cambiamenti della struttura del glutine, in particolare c'è stato un incremento del grado di polimerizzazione delle proteine del glutine, dovuto a reazioni di ossidazione dove c'è stata la conversione di gruppi sulfidrilici in ponti disolfuro tra le catene polipeptidiche della maglia glutinica (Hadnadev et al., 2015).

ALTERAZIONI CAUSATE DA FATTORI ABIOTICI: È stato osservato da molti studiosi che le cariossidi di frumento vanno incontro a modificazioni biochimiche durante lo stoccaggio. È stato dimostrato che l'umidità dei semi e le temperature di conservazione esercitano profondi cambiamenti dell'acidità, del pH, della concentrazione di amminoacidi liberi e di proteine e delle proprietà delle proteine stesse (Onayemi et al., 1986; Daftary et al., 1970). Inoltre durante lo stoccaggio con temperature elevate si sono visti importanti cambiamenti nelle quantità di zuccheri solubili e di amilosio (Glass et al., 1959). Sono state studiate le modificazioni biochimiche che avvengono in cariossidi di frumento conservate a 10, 25 e 45°C per sei mesi. Un'importante riduzione del pH ed un incremento dell'acidità titolabile è stata osservata durante il periodo di conservazione a 25°C e a 45°C. L'umidità delle cariossidi si è ridotta del 15% a 25°C e del 26% a 45°C, portando ad una riduzione del contenuto di amilosio solubile ed un incremento dell'amilosio insolubile nelle cariossidi conservate a 25 e 45°C, inoltre l'attività dell'amilasi si è ridotta col progredire dello stoccaggio. Nei sei mesi di stoccaggio, gli zuccheri solubili totali sono aumentati del 9% a 10°C e del 12% a 25°C, invece una riduzione del 37% è stata osservata nelle cariossidi conservate a 45°C. L'amminoacido lisina si è ridotto rispettivamente del 18% e del 22,6% a 25 e 45°C. La digeribilità delle proteine si è ridotta del 5% a 25°C e del 10,28% a 45°C. Nessuna significativa modifica biochimica è stata osservata nelle cariossidi conservate per sei mesi a 10°C (Rhemam et al., 1999).

ALTERAZIONI CAUSATE DALLA CONTAMINAZIONE DI MUFFE: La contaminazione di muffe durante lo stoccaggio del frumento risulta essere un problema non solo per la produzione di micotossine dannose per la salute dell'uomo, ma anche perché

vengono alterate caratteristiche intrinseche della cariosside. Il frumento è suscettibile a diverse malattie, tra queste, la fusariosi della spiga (FHB – Fusarium Head Blight) (Figura 18) risulta essere una delle malattie più pericolose. La malattia FHB è causata principalmente da muffe del genere *Fusarium* (Alvarez et al., 2011; Castañares et al., 2014; Ortega et al., 2016).

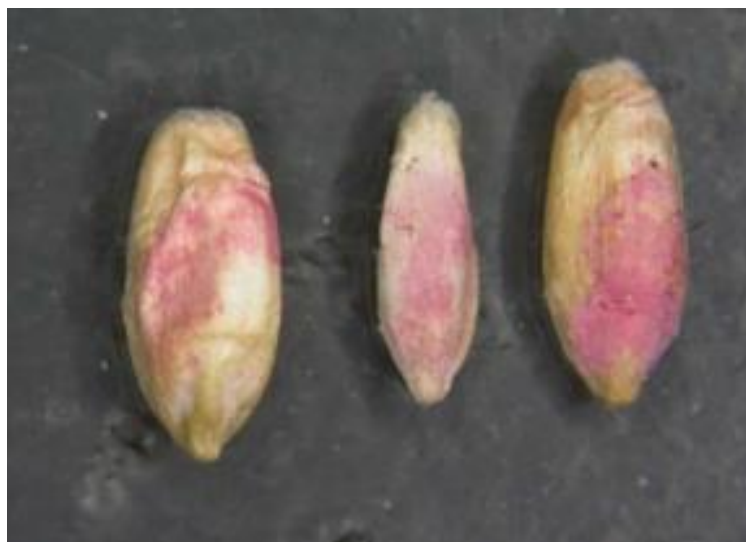


Figura 18 – Cariossidi colpite da fusariosi (micotossine.it)

Una volta iniziata la colonizzazione fungina vengono prodotti enzimi che degradano componenti strutturali delle pareti cellulari e ciò consente lo spargimento della malattia nella pianta (Kang et al. 2005; Kikot et al. 2009). Quando l'infezione si trova in uno stadio già avanzato vengono prodotti dalle muffe enzimi proteasi che vanno a degradare il glutine, causando una riduzione della qualità e dell'attitudine alla trasformazione delle farine derivanti (Barneix 2007; Brzozowski et al. 2008). Oltre alle muffe del genere *Fusarium* bisogna considerare anche la presenza di muffe del genere *Aspergillus* e *Penicillium* che con le loro micotossine, come l'ocratossina A e il deossinivalenolo, risultano dannosi per le proprietà tecnologiche delle farine ottenute da cariossidi infestate, e ne determinano anche alterazioni di diverso tipo. Le farine con forte contaminazione da deossinivalenolo cambiano di colore e danno impasti appiccicosi e di debole consistenza che trattengono male la CO₂ prodotta dalla fermentazione. Il glutine viene danneggiato da una proteasi prodotta dal *Fusarium* ed il pane non lievita normalmente, il volume risulta ridotto e la mollica diventa grossolana (Waalwijk et al., 2003). Test effettuati su frumenti attaccati da queste muffe mostrano che il contenuto di zuccheri riducenti inizialmente risulta aumentare raggiungendo un massimo di 30,37 mg/g nella 18° settimana di conservazione, per poi diminuire fino a 27,47 mg/g nella 30° settimana. Inoltre si presenta anche un incremento della globulina e dell'albumina ed una riduzione delle

gliadine e delle glutenine. Infine si è presentato anche un incremento dei valori degli acidi grassi, raggiungendo un valore di 45,47 mg di KOH/100g nella 30° settimana di stoccaggio (Zhang et al., 2019). Oltre alle tossine prodotte da *Fusarium*, le tossine prodotte da *Alternaria* sono tra le micotossine più comunemente trovate nel frumento e nei prodotti derivati, tra cui troviamo l'alternariolo (AOH), l'alternariolo monometil etero (AME), l'acido tenuazotico (TeA) e la tentossina (TEN) (Walravens et al., 2014).

ALTERAZIONI CAUSATE DA ARTROPODI INFESTANTI: Artropodi infestanti attaccano cariossidi stoccate in magazzini o silos, determinandone danni di diverso tipo. Causano danni diretti che consistono nell'asportazione di sostanza secca e danni indiretti che sono ad esempio l'inquinamento delle derrate con esuvie ed escrementi, riduzione delle capacità nutritive, alterazioni delle capacità reologiche degli impasti ed alterazioni di colore, aroma e sapore. Ad esempio *Acarus siro* attacca le cariossidi stoccate determinandone variazioni delle caratteristiche organolettiche, ma soprattutto con i suoi escrementi ricchi di guanina ed altri prodotti azotati va a stimolare lo sviluppo di muffe e di batteri patogeni (Parkinson, 1990). Coleotteri come *Tribolium castaneum* e *Tenebrio molitor* inquinano il substrato con odori sgradevoli che producono per comunicare tra cui composti fenolici ed inoltre danno una colorazione anomala alle farine (Kayode et al., 2016).

5 – LO STOCCAGGIO DEL FRUMENTO

Le strutture di conservazione del frumento devono presentare pareti isolate allo scopo di mantenere integre le caratteristiche del cereale, scongiurando possibili alterazioni dei grani. Ciò risulta necessario al fine di evitare il proliferare di parassiti, di muffe e di lieviti, nonché il surriscaldamento delle masse di grano. Le moderne tecnologie risultano oggi essere maggiormente orientate alla prevenzione, piuttosto che all'azione a posteriori, quindi l'adozione di un piano di monitoraggio ad ampio spettro permette di ridurre le perdite di prodotto, le quali possono raggiungere talvolta la quota del 10-30%. Tra i metodi adottati, nei processi di stoccaggio tradizionali in campo cerealicolo, per la lotta a parassiti e infestanti, si ritrovano sia mezzi fisici sia chimici sia biologici, come ad esempio trattamenti termici, modificazioni di atmosfera, alte pressioni, agenti chimici, feromoni. La lotta rodenticida si effettua normalmente attraverso l'uso di esche tossiche o trappole a cattura multipla o singola. La lotta ai Coleotteri e Lepidotteri non può prescindere da una corretta collocazione dei dispositivi di monitoraggio all'interno delle derrate in stoccaggio o degli ambienti di lavorazione. Inoltre si rendono necessarie, a tal fine, anche la continua attività di sorveglianza visiva di eventuali tracce sospette così come l'utilizzo di trappole a feromoni o trappole luminose e la misurazione delle temperature delle masse dei cereali in stoccaggio. Si adottano tecniche di prevenzione. Le pratiche più diffuse in questo senso sono la refrigerazione delle masse, l'utilizzo di gas inerti (anidride carbonica, azoto), l'utilizzo di insetticidi naturali (come la polvere di diatomee), sistemi di stoccaggio innovativi e all'avanguardia, presenti sul mercato (silobag).

5.1 – Metodi convenzionali

UTILIZZO DELLA TEMPERATURA: i silos dovrebbero avere la possibilità di refrigerare le masse di grano tramite impianti refrigeranti o attraverso ventole che canalizzano aria esterna all'interno dei silos. Molti studi suggeriscono che la temperatura nei locali di stoccaggio del frumento deve essere, specialmente in autunno e primavera, inferiore a 16°C (Brooker et al., 1992; Sisman et al., 2004). Inoltre è preferibile che la temperatura tra l'esterno e la massa di cereali sia vicina, così da evitare migrazioni di umidità (Hellevang, 1995; Sisman et al., 2010). L'umidità della cariosside deve essere tra l'8 e il 14%, infatti se l'umidità è superiore al 16% ci potrebbero essere incrementi della temperatura dovuti alla respirazione cellulare ed incremento della probabilità che si vengano a sviluppare muffe (Sisman et al., 2010). Il

processo di refrigerazione risulta maggiormente efficace se operato tempestivamente nei primi giorni che seguono l'introduzione del cereale all'interno delle strutture di stoccaggio. Così facendo il cereale mantiene una temperatura di 10-12 °C per tutto il periodo di stoccaggio, rallentando o verosimilmente riducendo il rischio di proliferazione dei fitofagi.

UTILIZZO DELL'ATMOSFERA CONTROLLATA: i trattamenti di disinfestazione in atmosfera controllata risultano essere in grado di eliminare con successo eventuali infestanti presenti nelle derrate alimentari. L'azoto e la CO₂ vengono normalmente introdotti nella massa di cereale sino a raggiungere una concentrazione pari ad almeno il 95% in volume. Le percentuali di gas da raggiungere e mantenere, in relazione al tempo di esposizione, possono variare a seconda della tipologia di infestazione, della temperatura interna e dell'umidità e delle condizioni di stoccaggio del prodotto. La concentrazione di gas inerte deve essere mantenuta per un periodo compreso fra i 7 e i 12 giorni, in relazione alle temperature e al volume. Il trattamento di disinfestazione in atmosfera controllata allontana l'ossigeno, eliminando così per asfissia gli insetti infestanti. Rispetto ai tradizionali metodi di disinfestazione, i principali vantaggi derivanti dall'applicazione di azoto e CO₂ sono l'assenza di residui tossici post-trattamento nel frumento e una diminuzione della carica batterica e delle muffe.

UTILIZZO DEI SILOBAG: sempre più utilizzati stanno diventando i nuovi sistemi di stoccaggio che non necessitano di strutture fisse come capannoni o sili verticali, vale a dire i silobag (Figura 19).



Figura 19 - Silobag

Questi rappresentano grossi contenitori orizzontali costituiti da PVC alimentare, i quali subiscono chiusura ermetica alle due estremità a seguito dell'inserimento al proprio interno del cereale. I silobag sono ideali per la conservazione di cereali secchi, foraggi e granaglie. In essi la conservazione avviene senza ricorrere a trattamenti di alcun tipo, né termici né antiparassitari, in quanto al loro interno si crea un ambiente ermetico in grado di garantire una perfetta conservazione, la quale può durare anche oltre i 12 mesi. Il silobag può essere di diverse dimensioni, offrendo capacità di stoccaggio diverse. Mentre le misure più piccole garantiscono un'elevata flessibilità e costi ridotti in relazione al minor utilizzo di macchine e al minor costo per singolo silobag, quelli più grandi sfruttano più efficacemente l'area dedicata in funzione della quantità stoccata, ottenendo così il minor costo per volume di prodotto contenuto. Va inoltre tenuto conto della flessibilità del sistema in base alla sua modularità, infatti la capacità di stoccaggio può aumentare o diminuire nei mesi e negli anni a seguito delle necessità del cliente. Il silobag è realizzato con materiale riciclabile e ciò consente un rapido ed economico smaltimento. In aggiunta a ciò, va specificato che la fase di riempimento può essere anche parziale, infatti un silobag può essere frazionato ricavandone unità più piccole, a seconda delle esigenze tecniche. Riguardo invece alla fase di estrazione, essa può essere interrotta e ripresa (lo svuotamento di un silobag può essere interrotto e poi eventualmente ripreso dopo alcuni giorni o persino dopo mesi, semplicemente richiudendolo di volta in volta). Infine, allo scopo di evitare che roditori o altri patogeni terricoli vi si inseriscano. È buona cura posizionare il silobag su una superficie piana per prevenire eventuali rotture della porzione inferiore (CONMARCHEBIO).

UTILIZZO DELLA NEVE: in Giappone, nelle aree geografiche che lo consentono, esistono le Yukimuro (Figura 20), ovvero le camere della neve, che sono depositi totalmente ricoperti da neve utilizzati per conservare alimenti a basse temperature e umidità ambientale utilizzando energia naturale.



Figura 20 – Yukimuro per lo stoccaggio di sfarinati

È stato studiato l'effetto che le camere della neve hanno sulle farine di frumento conservate. Le farine di grano duro e le farine integrali usate per l'esperimento sono state conservate all'interno di buste di carta e conservate in tre diversi ambienti, a temperatura ambiente, a frigo conservazione e all'interno delle yukimuro. Dopo un periodo di stoccaggio di tre mesi sono state effettuate le diverse analisi. In confronto alle farine conservate a temperatura ambiente, sia le farine conservate in frigo, sia quelle nelle camere della neve hanno mostrato una riduzione della perossidazione lipidica e un'inferiore formazione di acidi grassi liberi. Inoltre le farine conservate nelle yukimuro hanno mostrato una migliore attitudine alla panificazione in confronto alle altre farine ed inoltre il pane fatto da queste farine ha mostrato migliori caratteristiche sensoriali (Kamiyama et al., 2017).

UTILIZZO DI ACIDI ORGANICI E SALE: è stata studiata l'efficacia dell'utilizzo di acidi organici e di sale nell'acqua usata per il condizionamento del frumento al fine di ridurre la carica microbica presente sulle cariossidi. Le cariossidi, con un'umidità iniziale del 12,2%, sono state condizionate fino a raggiungere il 15,5% di umidità mediante l'utilizzo di acqua distillata (campione controllo) e mediante l'uso di soluzioni contenenti acidi organici, come l'acido acetico, citrico, lattico e propionico, sale, o una combinazione di acidi organici e sale. Dopo il condizionamento, la carica microbica si è ridotta in tutti i casi rispetto al campione controllo. In particolare usando una soluzione contenente 5% di acido acetico, lattico e propionico si è avuta una riduzione di 1,7, 2,3 e 3,8 \log_{10} UFC/g rispettivamente per microrganismi aerobici, *Enterobacteriaceae* e muffe. La combinazione di acido lattico (5%) e sale (52%) è stata la più efficace ed ha portato ad una riduzione di microrganismi aerobi ed *Enterobacteriaceae* rispettivamente di 4,3 e 4,7 \log_{10} UFC/g. Inoltre è stato visto che, condizionando con elevate concentrazioni di sale, la concentrazione finale di sale presente

nello sfarinato ottenuto sarebbe la concentrazione ottimale per produrre prodotti da forno. In conclusione, l'utilizzo di acidi organici e sale nell'acqua utilizzata per il condizionamento delle cariossidi è un metodo efficace per conservare sfarinati con una carica microbica molto ridotta, ottenendo quindi un miglioramento della qualità microbiologica della farina conservata e avere minore probabilità che si vengano a formare micotossine che possono influire negativamente sulle caratteristiche qualitative della farina stessa (Sabillon et al., 2016).

6 – SISTEMI INNOVATIVI PER MIGLIORARE LA CONSERVAZIONE

UTILIZZO DEL PLASMA FREDDO: nell'ultimo decennio, il plasma freddo ha guadagnato un interesse significativo per l'uso come una tecnologia non termica per il trattamento degli alimenti. La novità di questa tecnologia risiede nel fatto che è non termica, economica, versatile e non inquinante. Il plasma freddo nell'industria alimentare è usato ad esempio per decontaminare alimenti, per inattivare enzimi e per rimuovere tossine. Il plasma è un gas ionizzato, costituito da un insieme di elettroni e ioni e globalmente neutro (la cui carica elettrica totale è cioè nulla) (Pankaj et al., 2013). Il plasma può essere generato usando un qualsiasi tipo di energia che può ionizzare i gas, quindi energia elettrica, termica, radioattiva, come i raggi gamma, e radiazione elettromagnetica ed in particolare per generare il plasma freddo ciò che viene prevalentemente utilizzata è l'energia elettrica o le radiazioni elettromagnetiche (Pankaj et al., 2017). A riguardo delle tecnologie alimentari, la scarica a barriera dielettrica e il plasma jet sono prevalentemente utilizzati per formare il plasma freddo (Figura 21). I dispositivi per la scarica a barriera dielettrica (DBD) consistono di due elettrodi metallici, dove almeno uno di questi è coperto con una barriera dielettrica che agisce come un materiale stabilizzante che aiuta a creare un gran numero di micro scariche con cui si effettuano trattamenti omogenei. I dispositivi plasma jet consistono di due elettrodi concentrici, dove l'elettrodo interno è connesso con un dispositivo che trasmette radiofrequenze con frequenze molto alte che vanno a ionizzare il gas che esce dall'ugello dando l'impressione di essere un jet.

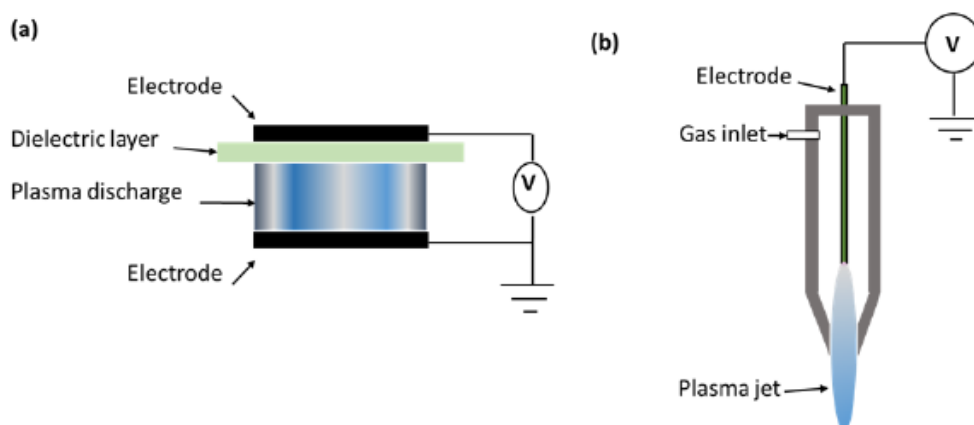


Figura 21 – Rappresentazione di dispositivo a scarica dielettrica (a) e plasma jet (b)

Il plasma freddo è generalmente considerato come uno strumento per il trattamento di superfici, ma durante il trattamento stesso l'alimento può trovarsi in un campo elettrico molto forte che lo rende soggetto a tantissimi gas carichi di specie reattive che ne possono condizionare le caratteristiche fisiche e chimiche (Pankaj et al., 2017). Gli enzimi lipasi e lipossigenasi influiscono molto sulla shelf life delle cariossidi di frumento, in particolare del germe, dove inattivando gli enzimi in questione si potrebbe prolungare la conservazione. A tal riguardo è stato effettuato uno studio, dove il campione, il germe della cariosside di frumento, è stato trattato con il plasma freddo generato con il dispositivo a scarica dielettrica (Figura 22) e sono stati testati diversi tempi di trattamento e diversi voltaggi.

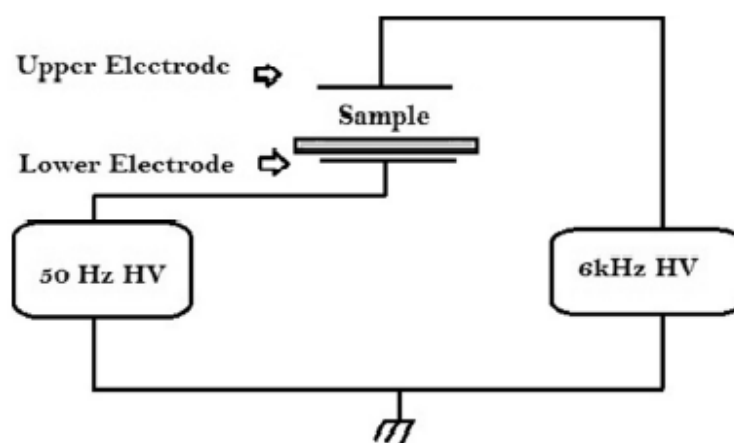


Figura 22 – Schematizzazione dell'impostazione dell'esperimento

Dopo un trattamento di 5 minuti, l'attività dell'enzima lipasi è diminuita rapidamente ed in particolare l'attività residua dopo il trattamento di 5 minuti con un voltaggio di 20 e 24 kV è rispettivamente del 39,97% e 36,45%. L'attività dell'enzima lipasi si è ridotta continuamente durante un trattamento di 25 minuti e l'attività residua ha raggiunto il 27,11% e il 25,03% usando sempre voltaggi di 20 e 24 kV. Dai risultati ottenuti si evince che con un voltaggio maggiore si ha un'inattivazione maggiore. Per trattamenti durati più di 25 minuti non si sono osservate inattivazioni significative. La causa più probabile che ha portato all'inattivazione enzimatica è stata attribuita alla formazione di specie reattive nel plasma e le loro reazioni con le strutture proteiche, con conseguente perdita della struttura secondaria ad α -elica (Surowsky et al., 2013). Nonostante la rapida inattivazione dell'enzima lipasi in 5 minuti, l'attività dell'enzima lipossigenasi si è ridotta solo del 2,2% e del 7,7% con un voltaggio di 20 e 24 kV. Aumentando il tempo di trattamento fino a 25 minuti l'attività residua è arrivata al 55,18% con un voltaggio di 20kV e 49,98% con un voltaggio di 24 kV. Come nel caso dell'inattivazione dell'enzima lipasi, l'attività enzimatica non si è ridotta particolarmente con

un trattamento durato più di 25 minuti. Il minor grado di inattivazione dell'enzima lipossigenasi comparato con la lipasi può essere attribuito alla diversa struttura secondaria di questi enzimi che rendono il plasma più selettivo per l'inattivazione dell'enzima lipasi. I trattamenti durati più a lungo e con l'uso di voltaggi maggiori hanno portato ad una maggiore inattivazione degli enzimi lipasi e lipossigenasi, ma comunque dopo 25 minuti di trattamento l'inattivazione degli enzimi non è più stata significativa, suggerendo che 25 minuti è il tempo ottimale per questo tipo di trattamento. Inoltre si è visto che durante lo stoccaggio successivo gli enzimi hanno ripreso parzialmente la loro attività, specialmente l'enzima lipasi (Tolouie et al., 2018). I trattamenti col plasma freddo influiscono quindi anche su caratteristiche biochimiche della cariosside, tuttavia, a causa dei pochi lavori effettuati a riguardo, non possono essere fatte generalizzazioni o conclusioni. Alcuni esperimenti indicano la penetrazione di specie attive del plasma freddo nelle cariossidi attraverso i pori presenti sulla superficie della cariosside, dove, una volta penetrate, vanno a reagire con le cellule. Un'evidenza indiretta di questo, si evince dalla presenza di metaboliti secondari rappresentati prevalentemente da composti fenolici che sono stati studiati nelle piantine di frumento ottenute da cariossidi trattate col plasma freddo. In particolare il contenuto di due composti fenolici è aumentato del 151% e del 165% rispetto ai campioni di controllo (Sera et al., 2010). Non sono state rilevate alterazioni nel contenuto di grasso, proteine, ceneri e contenuto di umidità dopo trattamenti col plasma freddo (Rahaman et al., 2018). Le specie attive del plasma freddo penetrate nella cariosside vanno ad attivare reazioni fisiologiche della cariosside e come conseguenza di ciò si ha un incremento del 15% delle proteine solubili ed un incremento del 51% dell'attività α -amilasica (Guo et al., 2018). Inoltre alcuni studi hanno dimostrato che i trattamenti col plasma freddo possono indurre l'espressione di proteine da shock termico ed aumentare, seppur di poco, la resistenza a stress salini, fattori che possono quindi, influire sulla shelf life delle cariossidi di frumento (Iranbakhsh et al., 2018). Molti studi hanno dimostrato che il plasma freddo risulta essere una tecnologia innovativa utile per degradare micotossine. Ad esempio è stato effettuato uno studio per mostrare l'effetto del plasma freddo generato con il dispositivo a scarica dielettrica sulle tossine prodotte dall'*Alternaria*. In questo caso i campioni sono stati trattati per tempi compresi tra 30 secondi e 180 secondi variando di volta in volta il tempo di 30 secondi e con quattro distanze diverse tra gli elettrodi tra cui è stato generato il plasma (6 mm, 21 mm, 36 mm e 51 mm), sempre con un voltaggio di 24 kV. La massima riduzione delle tossine prodotte da *Alternaria* è stata ottenuta usando una distanza tra gli elettrodi di 6 mm e per una durata di trattamento di 3 minuti, con cui si è ottenuta una riduzione del 60,6%, 73,8% e 54,5% rispettivamente delle tossine alternariolo AOH,

alternariolo monometilere AME e tentossina TEN. I risultati delle singole prove possono essere osservati nella tabella seguente (Tabella 4) (Hajnal et al., 2019).

Prova	Distanza tra gli elettrodi in mm	Tempo in secondi	Riduzione AOH (%)	Riduzione AME (%)	Riduzione TEN (%)
1	6	30	21,5	44,6	30,6
2	21	30	17	37	14,4
3	36	30	8,9	32,2	13,7
4	51	30	2,4	22,3	3,6
5	6	60	29,1	61,3	37,6
6	21	60	21,8	49,7	22,7
7	36	60	12,3	40,5	16,2
8	51	60	3	32,9	15,4
9	6	90	32,9	61,5	38,5
10	21	90	24,2	51,4	23,2
11	36	90	12,6	41,8	22,7
12	51	90	6,3	35,2	18,5
13	6	120	33	65	48,1
14	21	120	27,5	55,9	40,7
15	36	120	16,4	48,8	39,7
16	51	120	7,7	38,2	20,7

17	6	150	35	69,2	50,2
18	21	150	30,5	56,4	44,1
19	36	150	16,9	49,7	40
20	51	150	9,4	47,4	29,6
21	6	180	60,7	73,8	54,5
22	21	180	47,9	62,7	48,6
23	36	180	41,1	57,3	46,4
24	51	180	28,6	52,7	31,8

Tabella 4 – Risultati ottenuti da tutte le combinazioni di variabili considerate

Oltre che per la distruzione di micotossine, il plasma freddo si è rivelato essere uno strumento efficace anche per ridurre la contaminazione microbica, in particolare è stato effettuato uno studio per valutare la capacità del plasma freddo di decontaminare cariossidi di frumento dalla microflora naturale presente sulla cariosside stessa, ma nello specifico di *Escherichia coli* e *Salmonella enterica*. Per effettuare questo studio, campioni di cariossidi di frumento di 10 grammi sono stati inoculati con una miscela di 5 ceppi di *E. coli* o *S. enterica* al fine di ottenere una conta iniziale di $\sim 7,0 \log_{10} \text{UFC/g}$. Le cariossidi inoculate e non inoculate sono poi state sigillate in buste di plastica riempite con aria atmosferica e poi esposte al plasma freddo con un voltaggio di 44 kV usando il dispositivo a scarica dielettrica per 5, 10, 15 e 20 minuti. Dopo il trattamento col plasma freddo le cariossidi sono state lavate con un diluente sterile con cui poi si sono effettuati gli inoculi in terreno agarizzato, che è stato incubato per 48 ore a 35°C. Per le cariossidi non inoculate sono stati valutati i lieviti, le muffe, mesofili, psicofili ed *Enterobacteriacee*. Dopo il trattamento di 20 minuti la conta iniziale si è ridotta di 3,09 per *E. coli* e 4,4 per *S. enterica*, mentre per i mesofili, psicofili e *Enterobacteriacee* la carica si è ridotta rispettivamente di 0,96, 2,14 e 1,38. I lieviti e le muffe sono stati completamente distrutti e la loro carica si è dimezzata in 10 minuti (Thomas-Popo et al., 2019). Il plasma freddo è stato studiato anche per il controllo di insetti infestanti che attaccano le cariossidi di frumento conservate. In particolare è stato studiato l'effetto del plasma freddo su tutti gli stadi di sviluppo di *Tribolium castaneum* che risulta essere uno degli insetti più dannosi per le derrate cerealicole. L'effetto del plasma è stato studiato per via di tre variabili, il voltaggio, il

tempo di esposizione e la distanza tra gli elettrodi ed in particolare sono state studiate venti combinazioni di variabili per analizzarne l'effetto. I campioni utilizzati per il trattamento consistevano di 10 g di farina con 10 uova, 5 larve e 5 adulti. In tutte le fasi di sviluppo dell'insetto, quindi uovo, larva, pupa ed adulto, si può ottenere il 100% della mortalità a seconda del tempo di esposizione e dall'intensità del plasma (Figura 23; Figura 24). Le variabili che hanno portato ad un effetto ottimale del plasma per il controllo di tutte le fasi di sviluppo di *T. castaneum* sono risultate essere un voltaggio di 25 kV, per un tempo di esposizione di 15 minuti e ad una distanza tra gli elettrodi di 3,7 centimetri (Ramanan et al., 2018).



Figura 23 – a) Larva prima del trattamento b) Larva dopo il trattamento c) Larva dopo il trattamento (laterale)

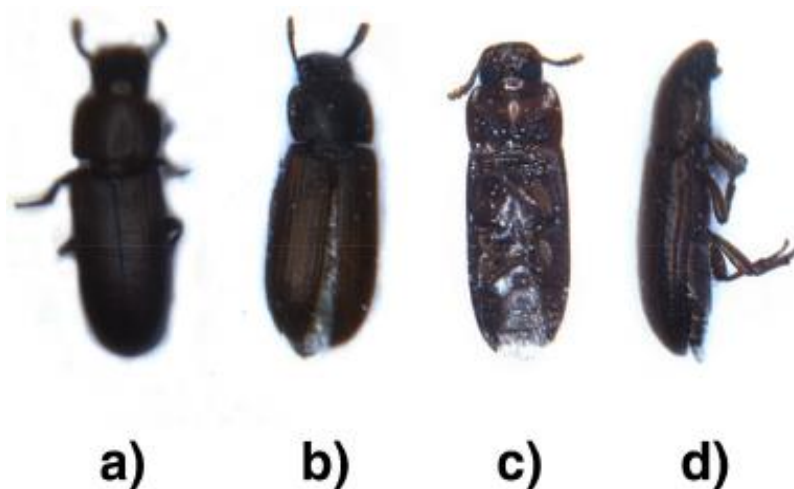


Figura 24 – a) Adulto prima del trattamento b) Adulto dopo il trattamento c) Adulto dopo il trattamento (inferiore) d) Adulto dopo il trattamento (laterale)

UTILIZZO DELLE RADIAZIONI: l'utilizzo di radiazioni ionizzanti su prodotti alimentari può essere utile per il controllo di insetti infestanti e per microrganismi e quindi per incrementare la shelf life dell'alimento stesso, con un effetto minimo sulle proprietà funzionali, nutrizionali e sensoriali. I maggiori vantaggi delle radiazioni includono un alto potere di penetrazione e un'alta intensità, residui minimi negli alimenti, innalzamenti molto bassi della temperatura e poche variabili da controllare (Haddad et al., 2007). Inoltre l'uso delle radiazioni sugli alimenti offre un'importante alternativa all'uso di fumigazioni tossiche ad esempio. È stato valutato l'effetto delle radiazioni sulle proprietà reologiche di farine trattate, assicurandone nel contempo un'efficace azione antimicrobica. A riguardo dell'azione antimicrobica si è visto che dopo il trattamento la conta dei microrganismi aerobici si è ridotta del 91,8%, mentre la conta delle muffe si è ridotta del 98,9%. La riduzione della popolazione microbica si ha perché le radiazioni hanno un effetto dannoso sul DNA (Setlow, 2006). Durante lo stoccaggio della farina a temperatura ambiente, la conta aerobica totale della farina non trattata è aumentata da $2,8 \times 10^4$ UFC/g a $2,5 \times 10^6$ UFC/g in sei mesi. Mentre la conta effettuata sui campioni trattati è rimasta costante durante il periodo di stoccaggio di sei mesi. In maniera simile, la conta delle muffe nei campioni non trattati è aumentata, mentre nei campioni trattati la conta è rimasta piuttosto invariata. Inoltre le farine irradiate presentavano inizialmente una concentrazione di $80 \mu\text{g/kg}$ di aflatoossina B₁, che dopo il trattamento si è ridotta del 56%. Le farine trattate non hanno subito variazioni delle caratteristiche chimiche come l'umidità, i lipidi totali, gli zuccheri solubili totali e le ceneri. A riguardo delle caratteristiche reologiche, la dose della radiazione usata (5,0 kGy) ha causato un incremento del 5,7% del tempo di crescita dell'impasto. Durante lo stoccaggio il tempo di crescita dell'impasto sia delle farine trattate, sia delle farine non trattate è aumentato, ma nel caso delle farine irradiate l'incremento è stato minore. Inoltre, rispetto alle farine non irradiate, la stabilità dell'impasto è diminuita del 10%. Durante lo stoccaggio c'è stata una riduzione della stabilità dell'impasto per entrambe le farine, ma i valori della stabilità dell'impasto delle farine irradiate sono diminuiti maggiormente rispetto ai valori della farina non trattata. Questa riduzione della stabilità dell'impasto potrebbe essere attribuita ad alterazioni delle proteine della farina, dove a causa delle radiazioni si vengono a rompere molti legami peptidici, ponti disolfuro e c'è l'eliminazione di gruppi NH e COOH. In confronto alle farine non trattate, le farine che hanno subito il trattamento hanno mostrato un incremento del 10% sulla capacità di assorbire acqua, rendendo quindi l'impasto ottenuto meno rigido. Questo incremento della capacità di assorbire l'acqua può essere attribuito al danneggiamento dell'amido, in particolare alla rottura delle sue catene, e alla modificazione di proteine. La radiazione a 5,0 kGy aumenta di poco

l'estensibilità dell'impasto (3,7%), e questo potrebbe essere a causa del danneggiamento dell'amido e della modificazione della struttura del glutine. L'elasticità dell'impasto, con la radiazione a 5,0 kGy si è ridotta del 13% in confronto all'impasto ottenuto dalla farina non trattata. Non sono state rilevate differenze delle caratteristiche sensoriali tra il pane prodotto con le farine trattate e il pane ottenuto con le farine non trattate, ed i panelist non sono riusciti a distinguerli. In conclusione, l'utilizzo di radiazione con una dose di 5,0 kGy ha causato una grande riduzione della conta di microrganismi aerobi e delle muffe soprattutto, oltre a ridurre la presenza di aflatossine nella farina. Inoltre c'è stato un miglioramento delle caratteristiche reologiche dell'impasto senza che ci fossero variazioni delle caratteristiche organolettiche (Hammad et al., 2016).

UTILIZZO DELL'OZONO: l'ozono è una molecola con molte possibilità di utilizzo nell'industria alimentare, infatti, in quanto è un agente ossidante e sterilizzante, viene ad esempio usato per lavare e stoccare vegetali (Hampson et al., 1996), per distruggere pesticidi e residui chimici, per produrre acqua sterile per effettuare risciacqui finali di bottiglie, lattine e barattoli (Ito et al., 1980). Commercialmente, l'ozono è generato a partire da aria o da ossigeno puro usando generatori di ozono e, dato che l'ozono si decompone rapidamente in O₂, dovrebbe essere usato immediatamente. L'ozono può essere applicato ai prodotti alimentari sotto forma di gas o può essere disciolto nell'acqua mediante gorgogliamento, ottenendo acqua ozonizzata. Dato che l'acqua ozonizzata può essere utilizzata per effettuare il condizionamento delle cariossidi, è stato studiato l'effetto di questo processo su una serie di caratteristiche della farina ottenuta dalle cariossidi così trattate. Dopo il condizionamento è stata valutata l'efficienza della macinatura e rispetto a cariossidi condizionate normalmente non sono state osservate differenze. È stata poi valutata l'attività α -amilasica ed anche per questo aspetto non sono state osservate differenze. Per quanto riguarda il colore, l'ozono ha un effetto decolorante, ma nel caso del condizionamento, la concentrazione di ozono usata e il tempo di contatto non è stato sufficiente a ossidare i pigmenti delle cariossidi, lasciando quindi piuttosto inalterato il colore. Sono poi stati effettuati test con il farinografo e l'estensiografo, ed i risultati ottenuti mostrano che le differenze della percentuale d'assorbimento d'acqua, del tempo di sviluppo, della stabilità e degli altri parametri analizzati sono minime, quasi non rilevabili. Questo risultato ottenuto è stato abbastanza imprevedibile in quanto l'ozono, essendo un agente ossidante avrebbe dovuto promuovere la formazione di nuovi ponti disolfuro che avrebbero aumentato la forza dell'impasto, riducendone l'estensibilità. Questo effetto probabilmente non si è avuto perché l'ozono resiste in acqua per circa 30 minuti, dunque il tempo di azione non è stato abbastanza sufficiente per avere questo

effetto ossidante. Le analisi microbiologiche hanno mostrato che facendo condizionamento con acqua ozonizzata si ha una riduzione della carica di batteri e lieviti e muffe ed aumentando la concentrazione di ozono nell'acqua da 1,5 a 11,5 mg/l l'effetto antimicrobico è stato via via maggiore. In conclusione è stato visto che l'uso di acqua ozonizzata con una concentrazione di ozono fino a 11,5 mg/l ha un effetto ottimale nella riduzione della carica microbica senza che vengano alterate caratteristiche chimiche, fisiche e reologiche (Ibanoglu, 2000). In un altro esperimento le cariossidi di frumento sono state lavate con cinque tipologie di acque differenti, acqua distillata, acqua ozonizzata (16,5 mg/l), acqua clorata (700 mg/l), una soluzione di acido acetico (1%) e la soluzione di acido acetico con acqua ozonizzata (1%, 20,5 mg/l). La combinazione tra la soluzione di acido acetico ed acqua ozonizzata è stata la più efficace, portando ad una riduzione di 4,1 e 3,2 \log_{10} UFC/g rispettivamente di batteri aerobi e di muffe (Dhillon et al., 2009). La fluidizzazione potrebbe far ottenere una migliore disinfezione, infatti la fluidizzazione permette di incrementare la superficie di esposizione delle cariossidi rendendo quindi il trattamento con gli agenti antimicrobici più uniforme ed efficiente. Quindi, è stato sviluppato un letto fluidizzato con un sistema spray automatico, per spruzzare le acque di trattamento, e un'apertura per iniettare l'ozono allo stato gassoso. I trattamenti usati sulle cariossidi fluidizzate sono stati, acqua distillata, ozono gassoso (6 ppm), acqua ozonizzata (23 mg/l), ozono gassoso e acqua ozonizzata (6 ppm, 23 mg/l), soluzione di acido acetico (0,5%), soluzione di acido acetico ed acqua ozonizzata (0,5%, 26 mg/l) e ozono gassoso, soluzione di acido acetico ed acqua ozonizzata (6 ppm, 0,5%, 26 mg/l). I risultati microbiologici ottenuti hanno dimostrato che il trattamento più efficace è stato quello ottenuto con l'uso di ozono gassoso, acido acetico ed acqua ozonizzata (Dhillon et al., 2010).

BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA

- Alvarez C.L., Somma S., Proctor R.H., Stea G., Mulè G., Logrieco A.F.R., Fernández Pinto V.E., Moretti A., 2011. Genetic diversity in *Fusarium graminearum* from a major wheat-producing region of Argentina. *Toxins* 3:1294–1309.
- Bacic A., Stone B.A., 1981. Chemistry and organization of aleurone cell wall components from wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 8:475-495.
- Barneix A.J., 2007. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *J Plant Physiol* 164:581–590
- Barron C., Surget A., Rouau X., 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *J. Cereal Sci.* 45:88–96.
- Brooker D.F., Arkema F.B., Hall C.W., 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold.
- Brzozowski B., Dawidziuk K., Bednarski W., 2008. Gliadin degradation by proteases of *Fusarium* genus fungi in different in vivo and in vitro conditions. *Pol J Nat Sci* 23:188–206.
- Cabras P., Martelli A., 1997. *Chimica degli alimenti*. (2nd ed.), *Gli acidi grassi* (pp 44-57).
- Calderini D.F., Slafer G.A., 1998. Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Res.* 57:335–347.
- Castañares E., Albuquerque D.R., Dinolfo M.I., Fernández Pinto V.E., Patriarca A., Stenglein S.A., 2014. Trichothecene genotypes and production profiles of *Fusarium graminearum* isolates obtained from barley cultivated in Argentina. *Int J Food Microbiol.* 179:57–63.
- Chung H.J., Jang S.H., Cho H.Y., Lim S.T., 2009. Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (c-aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley Original Research Article. *LWT – Food Science and Technology.* 42:1712–1716
- Ciccoritti R., Carbone K., Bellato S., Pogna N., Sgrulletta D., 2013. Content and relative composition of some phytochemicals in diploid, tetraploid and hexaploid *Triticum* species with potential nutraceutical properties. *J. Cereal. Sci.* 57:200–206.
- Colombo G., 2001. *Manuale dell'ingegnere*, Ulrico Hoepli.

- Conway G., Toenniessen G., 1999. Feeding the world in the twenty-first century. *Nature*. 402:C55–C58.
- Cummins A.G., Roberts-Thomson I.C., 2009. Prevalence of celiac disease in the Asia–Pacific region. *J Gastroen Hepatol*. 24:1347–1351.
- Daftary R.D., Pomeranz Y, Saner D.B., 1970. Chemical changes in wheat flour damaged by mold during storage. Effect on lipid, lipoprotein and protein. *J Agric Fd Chem*. 18:613–617.
- Dell'Aquila A., 1994. Wheat seed ageing and embryo protein degradation. *Seed Sci. Res.* 4:293-298.
- Dhillon B., Wiesenborn D., Wolf-Hall C., Manthey F., 2009. Development and Evaluation of an Ozonated Water System for Antimicrobial Treatment of Durum Wheat. *Journal of Food Science*. 74:396–403.
- Dhillon B., Wiesenborn D., Dhillon H., Wolf-Hall C., 2010. Development and Evaluation of a Fluidized Bed System for Wheat Grain Disinfection. *Journal of Food Science*. 75:372–378.
- Di Silvestro R., Marotti I, Bosi S., Bregola V., Carretero A.S., Sedej I., 2012. Health-promoting phytochemicals of Italian common wheat varieties grown under low-input agricultural management. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92:2800–2810.
- Dinelli G., Lucchese C., 2003. Relation between respiration, dehydrogenase activity and germination capacity of artificially aged common wheat. *Seed Technol*. 25:20–34.
- Dinelli G., Marotti I, Bosi S., Benedettelli S., Ghiselli L., Cortacero-Ramírez S., 2007. Lignan profile in seeds of modern and old Italian soft wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars as revealed by CE-MS analyses. *Electrophoresis*. 28:4212–4219.
- Fasano A., 2006. Systemic autoimmune disorders in celiac disease. *Curr Opin Gastroenterol*. 22:674–679.
- Fufa H., Baenziger P.S., Beecher B.S., Graybosch R.A., Eskridge K.M., 2005. Genetic improvement trends in agronomic performances and end-use quality characteristics among hard red winter wheat cultivars in Nebraska. *Euphytica*. 144:187–198.
- Glass R.L., Ponte J.G. Jr, Christensen C.M., Geddes W.F., 1959. Grain storage studies XXVIII. The influence of temperature and moisture level on the behaviour of wheat stored in air or nitrogen. *Cereal Chem*. 36:341–347.

- Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W. S., Courtin C. M., Gebruers K., Delcour J. A., 2005. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*. 16:12–30.
- Guo Q., Meng Y., Qu G., 2018. Improvement of wheat seed vitality by dielectric barrier discharge plasma treatment. *Bioelectromagnetics*. 39:120–131.
- Haddad M., Herent M.F., Tilquin B., Leclercq J.Q., 2007. Effect of gamma and electron beam-radiation on the essential oils of *Thymus vulgaris thymoliferum*, *Eucalyptus radiata* and *Lavanula angustifolia*. *J. Agric. Food Chem.* 55:60–82.
- Hadnadev M., Hadnadev T.D., Pojic M., Torbica A., Tomic J., Rakita S., Hajnal E.J., 2015. Changes in the rheological properties of wheat dough during short-term storage of wheat. *J Sci Food Agric*. 95:569–575.
- Hammad A.A., Hassan M.F., Abu-Shady M.R., Soliman S.M., 2016. Improving Quality and Microbial Safety of Wheat Flour by Gamma Irradiation. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*. 50:240–247.
- Hampson B.C., Montevalco J., Williams D.W., 1996. Regulation of ozone as a food sanitising agent. IFT annual meeting, Book of Abstracts. 140.
- Hauert F., Vogl A., Radandt S., 1996. Dust cloud characterization and its influence on the pressure-time-history in silos. *Process Safety Progress*. 115:178–184.
- Hajnal E.J., Vukic M., Pezo L., Orcic D., Puac N., Skoro N., Milidrag A., Simovic D.S., 2019. Effect of Atmospheric Cold Plasma Treatments on Reduction of *Alternaria* Toxins Content in Wheat Flour.
- Huang T., Xu M., Lee A., Cho S., Qi L., 2015. Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: prospective analysis of 367,442 individuals. *BioMed Central Med*. 13:59.
- Ibanoglu S., 2000. Influence of tempering with ozonated water on the selected properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*. 48:345–350.
- Iranbakhsh A., Ardebili N.O., Ardebili Z.O., Shafaati M., Ghoranneviss M., 2018. Non-thermal plasma induced expression of heat shock factor a4a and improved wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and resistance against salt stress. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 38:29–44.
- Ito K.A., Seeger M.L., 1980. Effects of germicides on microorganisms in can cooler waters. *Journal of Food Production*. 43:484–487.

- Ivarsson A., Persson L.A., Nystrom L., Ascher H., Cavell B., Danielsson L., Dannaeus A., Lindberg T., Lindquist B., Stenhammar L., Hernell O., 2000. Epidemic of coeliac disease in Swedish children. *Acta Paediatr* 89:165–171.
- Kamiyama S., Kushihara S., Homma C., Hagiwara M., Sone H., 2017. Effectiveness of Snow Utilization for Preservation of Wheat Flour. *Department of Health and Nutrition*. 18:19-24.
- Kang Z., Zingen-Sell I., Buchenauer H., 2005. Infection of wheat spikes by *Fusarium avenaceum* and alterations of cell wall components in the infected tissue. *Eur J Plant Pathol*. 111:19–28.
- Kayode O.Y., Adedire C.O., Akinkulore R.O., 2016. Influence of four cereal flours on the growth of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Ife Journal of Science*.
- Kikot G.E., Hours R.A., Alconada T.M., 2009. Contribution of cell wall degrading enzymes to pathogenesis of *Fusarium graminearum*: a review. *J Basic Microbiol* 49:231–241.
- Lafiandra D., Masci S., Sissons M., Dornez E., Delcour J.A., Courtin C.M., Caboni M.F., 2012. *Kernel components of technological value*. In *Durum Wheat Chemistry and Technology*, (2nd ed.) 85–124.
- Leggatt C.W., 2011. A further note on catalase activity as a measure of seed viability. *Can. J. Res.* 9:571-573.
- Lu C., Hawkesford M.J., Barraclough P.B., Poulton P.R., Wilson I.D., Barker G.L., Edwards K.J., 2005. Markedly different gene expression in wheat grown with organic or inorganic fertilizer. *Proc. Biol. Sci.* 272:1901–1908.
- Mac Key J., Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L., Pfeiffer W.H., Slafer G.A. 2005. Wheat: its concept, evolution and taxonomy. *Durum wheat breeding: current approaches and future strategies*, vol. 1, Food Products Press, 3-61.
- Mäder P., Hahn D., Dubois D., Gunst L., Alföldi T., Bergmann H., Oehme M., Amado R., Schneider H., Graf U., Velimirov A., Fließbach A., Niggli U., 2007. Wheat quality in organic and conventional farming: results of a 21 year field experiment. *J. Sci. Food Agric.* 87:1826–1835.
- Mahmoud A.A., Mohdaly A.A.A., Elneairy N.A.A., 2015. Wheat germ: an overview on nutritional value, antioxidant potential and antibacterial characteristics. *Food and Nutritional Sciences*. 6:265-277.

- Mares D.J., Stone B.A., 1973. Studies on wheat endosperm. Chemical composition and ultrastructure of the cell walls. *Australian Journal of Biological Sciences*. 26:793–812.
- Marotti I., Bregola V., Aloisio I., Di Gioia D., Bosi S., Di Silvestro R., 2012. Prebiotic effect of soluble fibres from modern and old durum-type wheat varieties on *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92:2133–2140.
- Matthews S., Noli E., Demir I., Khajeh-Hosseini M., Wagner M.-H., 2012. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. *Seed Sci. Res.* 22:69-73.
- Mozaffarian D., Wu J.H.Y., 2011. Omega 3 fatty acids and cardiovascular disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 58:2047–2067.
- Migliorini P., Spagnolo S., Torri L., Arnoulet M., Lazzarini G., Ceccarelli S., 2016. Agronomic and quality characteristics of old, modern and mixture wheat varieties and landraces for organic bread chain in diverse environments of northern Italy. *European Journal of Agronomy*. 79:131–141.
- NejadSadeghi L., Maali-Amiri R., Zeinali H., Ramezanpour S., Sadeghzade B., 2015. Membrane fatty acid compositions and cold-induced responses in tetraploid and hexaploid wheats. *Mol. Biol. Rep.* 42:363–372.
- Onayemi O., Osibogun O.A., Obembe O., 1986. Effect of different storage and cooking methods on some biochemical, nutritional and sensory characteristics of cowpeas (*V. unguiculata* L. Walp). *J Food Sci.* 51:153–156.
- Ormoli L., Costa C., Negri S., Perenzin M., Vaccino P. (2015). Diversity trends in bread wheat in Italy during the 20th century assessed by traditional and multivariate approaches. *Scientific Reports*, 5(1), 8574.
- Ortega L.M., Dinolfo M.I., Astoreca A.L., Alberione E.J., Stenglein S.A., Alconada T.M., 2016. Molecular and mycotoxin characterization of *Fusarium graminearum* isolates obtained from wheat at a single field in Argentina. *Mycol Prog* 15:1–8.
- Pankaj S.K., Misra N.N., Cullen P.J., 2013. Kinetics of tomato peroxidase inactivation by atmospheric pressure cold plasma based on dielectric barrier discharge. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 19:153–157.
- Pankaj S.K., Keener K.M., 2017. Cold plasma applications in food packaging. In *Reference Module in Food Science*.

- Pankaj S.K., Keener K.M., 2017. Cold plasma: Background, applications and current trends. *Curr. Opin. Food Sci.* 16:49–52.
- Parkinson C.L., 1990. Population increase and damage by three species of mites on wheat at 20°C and two humidities. *Experimental & Applied Acarology* 8:179-193.
- Ramanan K.R., Sarumathi R., Mahendran R., 2018. Influence of cold plasma on mortality rate of different life stages of *Tribolium castaneum* on wheat flour. *Journal of Stored Products Research.* 77:126-134.
- Rahman M.M., Sajib S.A., Rahi M.S., 2018. Mechanisms and signaling associated with cold plasma mediated growth improvement in wheat. *Scientific Reports.*
- Rheman Z.U., Shah W.H., 1999. Biochemical changes in wheat during storage at three temperatures. *Plant Foods for Human Nutrition* 54:109–117.
- Ruibal-Mendieta N.L., Dekeyser A., Delacroix D.L., Mignolet E., Larondelle Y., Meurens M., 2004. The oleate/palmitate ratio allows the distinction between wholemeals of spelt (*Triticum spelta* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 39:413–415.
- Sabillon L., Stratton J., Rose D.J., Flores R.A., Bianchini A., 2016. Reduction in Microbial Load of Wheat by Tempering with Organic Acid and Saline Solutions. *Cereal Chem.* 93:638–646.
- Sera B., Spatenka P., Sery M., Vrchotova N., Hruskova I., 2010. Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. *IEEE Transactions on Plasma Science.* 38:2963–2968.
- Setlow A., 2006. Spores of *Bacillus subtilis*, their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *J. Appl. Microbiol.* 101:514.
- Shaban M., 2013. Review on physiological aspects of seed deterioration. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 6:627-631.
- Sisman C.B., Delibas L., Cicek G., 2004. Temporary sunflower seed stores and quality losses during storage. *Pak. J. Biol. Sci.* 7:812-821.
- Sisman C.B., Albut S., 2010. Grain storage management. *Proceedings of 3rd Annual International Symposium on Agriculture Research.* 1-71.
- Slafer G.A., Kernich G., 1996. Have changes in yield (1900–1992) been accompanied by a decreased yield stability in Australian cereal production? *Aust. J. Agric. Res.* 47:323–334.

- Stallknecht G.F., Gilbertson K.M., Ranney J.E., 1996. Alternative wheat cereals as food grains: einkorn, emmer, kamut, and triticale. In: Janick, J. (Ed.), *Progress in New Crops*. ASHS Press, Alexandria, 156–170.
- Surowsky B., Fischer A., Schlueter O., Knorr D., 2013. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 19:146–152.
- Thomas-Popo E., Mendoca A., Misra N.N., Little A., Wan Z., Moutiq R., Coleman S., Keener K., 2019. Inactivation of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and natural microflora on tempered wheat grains by atmospheric cold plasma. *Food Control*. 104:231-239.
- Tolouie H., Mohammadifar M.A., Ghomi H., Yaghoubi A.S., Hashemi M., 2018. The impact of atmospheric cold plasma treatment on inactivation of lipase and lipoxygenase of wheat germs. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47:346–352.
- Valli V., Taccari A., Di Nunzio M., Danesi F., Bordoni A., 2018. Health benefits of ancient grains. Comparison among bread made with ancient, heritage and modern grain flours in human cultured cells. *Food Research International*. 107:206–215.
- Van den Broeck H.C., de Jong H.C., Salentijn E.M.J., Dekking L., Bosch D., Hamer R.J., Gilissen L.J.W.J., van der Meer I.M., Smulders M.J.M., 2010. Presence of celiac disease epitopes in modern and old hexaploid wheat varieties: wheat breeding may have contributed to increased prevalence of celiac disease. *Theoretical Applied Genetics*. 121:1527-1539.
- Ventura A., Magazzù G., Greco L., 1999. Duration of exposure to gluten and risk for autoimmune disorders in patients with celiac disease. *Gastroenterology*. 117:297–303.
- Waalwijk C., Kastelein P., Kerényi Z., van der Lee T., Hesselink T., Köhl J., Kema G., 2003. Major Changes in *Fusarium* spp. in Wheat in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*. 109:743–754.
- Walravens J., Mikula H., Rychlik M., Asam S., Ediage E.N., Di Mavungu J.D., Van Landschoot A., Vanhaecke L., De Saeger S., 2014. Development and validation of an ultra-high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometric method for the simultaneous determination of free and conjugated *Alternaria* toxins in cereal-based foodstuffs. *J. Chromatogr*. 1372:91–101.
- Walters C., 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed aging. *Seed Sci. Res.* 8:223-244.

- Zhang Y., Pei F., Fang Y., Li P., Xia J., Sun L., Zou Y., Shen F., Hu Q., 2019. Interactions among Fungal Community, Fusarium Mycotoxins, and Components of Harvested Wheat under Simulated Storage Conditions. *J. Agric. Food Chem.*, 67:8411–8418.
 - Zuppiroli, M., 2013. Prezzi e filiere agroalimentari nello scenario internazionale. In: *Origini e garanzie delle materie prime agricole*. COOP Italia, Bologna, 10-18.
-
- <http://www.moliniditalia.it/industria-molitoria-tra-produzione-export-e-mercato-interno/>
 - <http://www.italmopa.com/il-processo-produttivo/>
 - <https://www.cmbsrl.com/it/prodotti/disinfestazione-e-deferizzazione/80-setaccio-oscillante-planschter-quadro-pq>
 - <http://win.spazioinfo.com/public/MACINAZIONE%202006-2007.pdf>
 - <https://www.agrifort.it/essicazione-stoccaggio-conservazione-farine/>
 - <http://www.vivalafarina.it/news/conservazione-e-stoccaggio-del-grano/>
 - <https://www.naelettronica.it/>
 - <https://www.insic.it/edilizia/Notizie/Silos-serbatoi-acciaio-aggiornate-parti-1-2-UNI-1993-4/f3c8bb95-48ba-477c-8c1a-d36ce1a8ad62>
 - <https://wamgroup.com/getattachment/080a15e4-8f56-4c1f-9f42-5baeaac0e67c/Sistemi-di-controllo-della-pressione-per-sili-indu.aspx>
 - <http://www.conmarchebio.it/wp-content/uploads/2014/10/BIOMARCHE-opuscolo-3.pdf>