

Parte dodicesima

***Introduzione allo studio delle proprietà nutrizionali
del grano duro e dei prodotti derivati***

G. Russo*

Ringrazio il Prof. Santo Giammanco e il Prof. Maurizio La Guardia per la costante disponibilità e gli utili suggerimenti elargiti nell'ambito delle attività formative della Scuola di Specializzazione in Scienze dell'Alimentazione dell'Università degli Studi di Palermo e dello svolgimento del XXII ciclo del Dottorato di ricerca in Alimentazione e Nutrizione Umana dell'Università degli Studi di Palermo.

Esprimo inoltre la mia gratitudine al Dott. Norberto Pogna, al Prof. Domenico Lafiandra, al Prof. Gian Gaspare Fardella, al Dott. Bernardo Messina e alla Dott.ssa Laura Gazza per i preziosi spunti di riflessione e gli incoraggiamenti manifestati nel corso della stesura del presente lavoro.

* Consorzio di Ricerca "Gian Pietro Ballatore" - Assoro (ENNA)

1. Premessa

Il valore nutrizionale associato agli alimenti derivati dai cereali è un elemento oramai consolidato nella nostra cultura ed è sempre più al centro dell'attenzione in programmi di ricerca orientati alla definizione di una corretta e sana alimentazione (Cannella e Piredda, 2006). I cereali rappresentano in generale la fonte primaria di calorie e proteine per una gran parte dell'umanità (Panatta, 1997); tra questi il frumento duro è quello che certamente riveste un ruolo fondamentale nel sistema agroalimentare italiano, non solo dal punto di vista nutrizionale ma anche economico, ambientale e culturale.

Il frumento duro costituisce la principale materia prima sia per la produzione di pasta sia per la preparazione del pane e del *couscous* nei paesi che si affacciano nel Mediterraneo. In altri Paesi lo stesso cereale è usato per produrre un'ampia gamma di prodotti¹ e spesso costituisce la principale fonte alimentare (Flagella, 2006).

La tendenza a livello mondiale nell'ultimo decennio è un incremento nei consumi di tali prodotti, considerati un gruppo importante di cibi salutistici, bilanciati e nutritivi (Flagella, 2006). Tuttavia un recente report pubblicato da ISMEA (Rapporto annuale ISMEA - Outlook 2006) ha evidenziato in Italia una leggera flessione dei consumi di pasta (- 1,7% variazione annuale 2006 rispetto al 2005) e di pane (- 3,6% variazione annuale 2006 rispetto al 2005), che risultano preferiti, troppo spesso, ad altre tipologie di prodotti derivati dal frumento, ma con caratteristiche nutrizionali di minore rilievo (*crackers*, panetti, grissini).

Il ruolo che il grano duro esercita nell'alimentazione è determinato oltre che dall'insieme dei costituenti nutrizionali, anche dalla versatilità con la quale è possibile utilizzarlo nella produzione di alimenti largamente diffusi e particolarmente graditi dai consumatori.

Le caratteristiche qualitative della granella di frumento duro sono importanti per determinare la destinazione merceologica del prodotto ed influenzano direttamente anche la qualità dei prodotti trasformati. È opportuno precisare che il concetto di qualità a cui si fa riferimento nel presente lavoro fa capo alla definizione enunciata dalla norma UNI EN ISO 9001: 2000: *la qualità è l'insieme delle caratteristiche di un prodotto (o di un processo) che soddisfano le esigenze di un cliente* (inteso come fruitore finale delle caratteristiche possedute da un prodotto o un processo). Il concetto di qualità è pertanto relativo all'insieme di "clienti" che di volta in volta possono essere presi come riferimento per il frumento duro e prodotti derivati. Distinguiamo pertanto:

¹ *chapatis* nel sub-continente indiano, *tortillas* e *mote* in America Meridionale e Centrale, *bulgur* in Turchia, Siria, Libano ed Egitto, e *frekeh* in Siria e alcuni paesi africani. In America Settentrionale ed in Europa inoltre, il grano duro è usato anche come materia prima per realizzare prodotti estrusi da colazione.

- Una qualità merceologica, correlata ai requisiti che riguardano i processi di compravendita, è fondamentale riferita alla granella; le variabili che maggiormente concorrono a determinare la qualità merceologica sono influenzate prevalentemente dal contesto meteorologico e dalle scelte colturali (varietà impiegata, concimazione, ecc...) e sono *peso ettolitrico*, contenuto in *proteine, colore, glutine e umidità*.
- Una qualità tecnologica, strettamente correlata alla merceologica ma che considera la predisposizione delle materie prime (granella e sfarinati) a subire processi di trasformazione ottimali e standardizzati; la qualità tecnologica focalizza l'attenzione su variabili come *vitrosità, durezza, colore giallo*, quantità e qualità delle *proteine, umidità*, parametri *reologici* (che descrivono il comportamento viscoelastico degli impasti).
- Una qualità igienico-sanitaria, che descrive invece gli aspetti correlati alla salubrità e alle contaminazioni/infezioni/infestazioni delle materie prime (granella e/o sfarinati) e dei prodotti derivati (pane e pasta fondamentale).
- Una qualità nutrizionale, che è influenzata dalla qualità merceologica, tecnologica ed igienico-sanitaria e considera il valore apportato dai nutrienti presenti; identifica fondamentale la capacità di un alimento di contribuire al buon funzionamento del nostro metabolismo, soddisfacendo il fabbisogno energetico, plastico e idrico dell'organismo; comprende sia l'aspetto quantitativo, cioè l'energia libera dell'alimento ed utilizzabile dal consumatore, che quello qualitativo che considera la qualità nutrizionale dei suoi costituenti. È soprattutto riferita ai prodotti derivati.

La filiera del frumento duro è una filiera “lunga”, costituita da diverse componenti (sementieri, granicoltori, stocicatori, molini, panifici e pastifici) ognuna delle quali concorre a definire ed influenzare la “qualità” delle materie prime e dei prodotti finiti; dai fattori climatici alle scelte colturali, dalle operazioni di stoccaggio ai processi di trasformazione e confezionamento, sono numerosi i punti critici e le influenze che possono interferire con la qualità ed intervenire sul valore nutrizionale da associare al prodotto finito.

Nell'ultimo decennio si è diffusa, in particolare in Italia, una serie di programmi di qualificazione merceologica della granella da frumento duro, fondamentale indirizzati alla possibilità di realizzare uno stoccaggio della materia prima differenziato per classi di qualità merceologica e rispondere così in modo efficace alle esigenze espresse dall'industria di trasformazione in termini di standard qualitativi. A tali interventi di sostegno alla modernizzazione del sistema “filiera grano duro”, particolarmente evidenti in Sicilia con il Progetto Qualità e Tracciabilità del Grano Duro, e a tutti gli altri programmi di ricerca che puntano al miglioramento sotto il profilo agronomico e tecnologico del sistema filiera stesso, è necessario affiancare programmi di valorizzazione e controllo della qualità nutrizionale ed igienico-sanitaria del frumento duro e dei relativi prodotti trasformati.

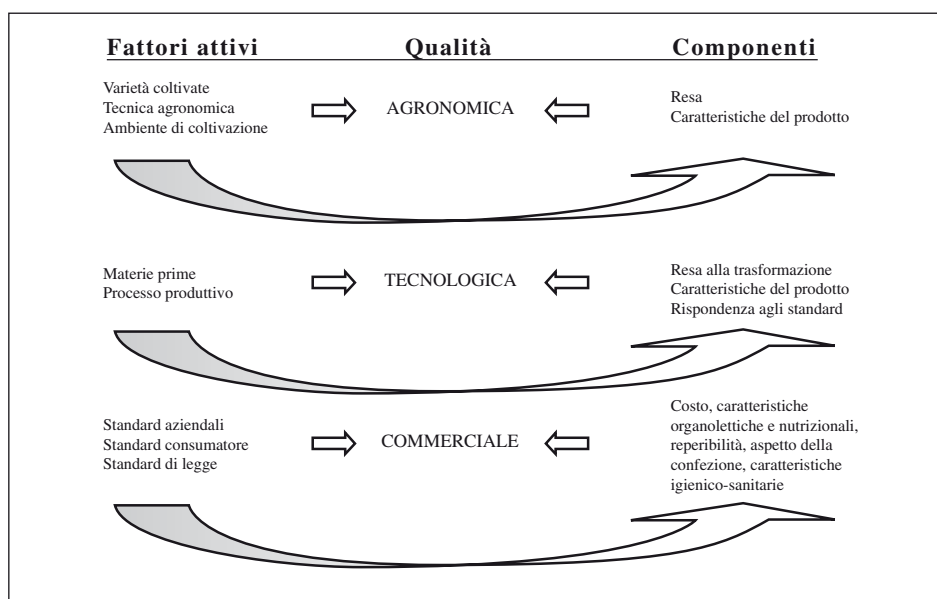


Fig. 1. La qualità nella filiera del grano duro

2. Le caratteristiche nutrizionali del frumento duro

I costituenti e la struttura stessa della cariosside del grano duro (e più in generale dei cereali), influenzano le caratteristiche tecnologiche e nutrizionali dei relativi prodotti trasformati. Le tecniche ed i metodi impiegati per lo stoccaggio e la trasformazione condizionano in diversa misura la qualità finale dei prodotti trasformati. In figura 2 è rappresentata la struttura istologica della cariosside del grano duro; ogni distretto tissutale (tabella 1) è caratterizzato dall'accumulo di particolari nutrienti. In particolare gli zuccheri sono rappresentati prevalentemente nell'endosperma della cariosside; la maggior parte delle proteine è localizzata invece nello strato aleuronico, i lipidi nell'embrione mentre le fibre sono confinate prevalentemente nei tegumenti esterni.

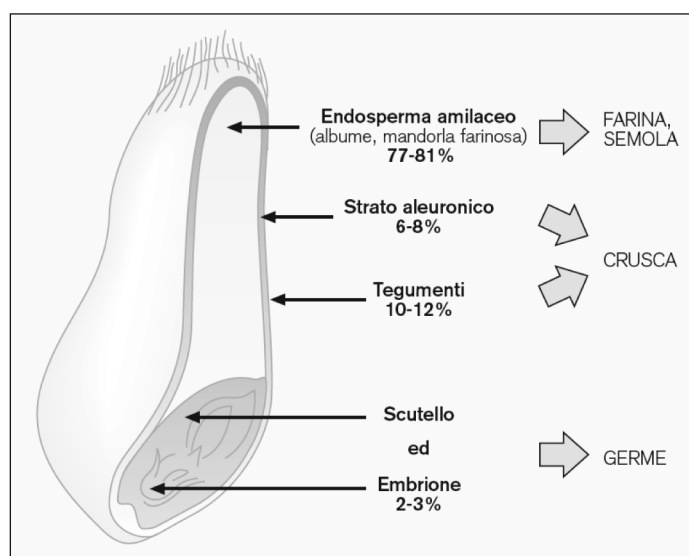


Fig. 2. Struttura della cariosside e distribuzione delle principali componenti.

Tabella 1. Composizione della cariosside di grano e delle sue regioni anatomiche (dati espressi per 100 g di sostanza secca; fonte: Lucisano & Pagani, 1997).

<i>Regione anatomica della cariosside</i>	<i>Percentuale della cariosside</i>	<i>Amido e altri carboidrati (%)</i>	<i>Proteine (%)</i>	<i>Lipidi (%)</i>	<i>Cellulosa, emicellulosa, pentosani (%)</i>	<i>Minerali (%)</i>
<i>Tegumento frutto (pericarpo)</i>	4	14-16	10-14	1-3	60-74	3-5
<i>Tegumento seme (testa)</i>	1	9-11	13-19	3-5	53-63	9-15
<i>Strato aleuronico</i>	8	10-14	29-35	7-9	35-41	5-15
<i>Germe</i>	3	19-21	36-40	13-17	20-24	4-6
<i>Endosperma</i>	82	80-85	8-14	2-3	1-3	0,5-0,15

Carboidrati o Glucidi

I glucidi, più comunemente denominati carboidrati o zuccheri, rappresentano il costituente preponderante delle cariossidi dei cereali. Particolarmente rappresentati sono, sotto forma di granuli di amido, due polimeri del D-glucosio, l'*amilosio* e l'*amilopectina*. L'amido ha essenzialmente funzioni di riserva ed è localizzato esclusivamente nell'endosperma della cariosside, sotto forma di granuli piccoli o di tipo B (0,2- 1 millesimi di millimetro di diametro) e granuli grandi o di tipo A (10-20 millesimi di millimetro di diametro).

L'amilosio è un polimero lineare formato da diverse migliaia di unità di glucosio; l'amilopectina, anch'essa costituita da solo glucosio, presenta invece una struttura molecolare ramificata, di dimensioni notevoli. Nel granulo d'amido di quasi tutti i cereali l'amilosio rappresenta solo il 20-25% dell'amido, ma questi valori possono essere inferiori nelle varietà cosiddette cerosi (o *waxy*). La possibilità di intervenire e manipolare il rapporto amilosio/amilopectina nei cereali può dare origine ad alcune interessanti prospettive correlate sia ad ottimizzare alcuni processi industriali (quali il prolungamento della *shelf-life* dei prodotti finiti) sia inerenti la salute umana e la nutrizione (ottenimento di alimenti con basso indice glicemico) (Lafiandra *et al.*, 2008). La disposizione di amilosio e amilopectina all'interno del granulo non è casuale ma organizzata secondo una precisa struttura che gli conferisce, peraltro, proprietà semicristalline. Al microscopio ottico è possibile individuare caratteristici strati di accrescimento, organizzati attorno un ilo.

L'amido è insolubile in acqua a freddo, ma cambia totalmente il proprio comportamento se, in presenza d'acqua, è sottoposto a riscaldamento: a partire dai 50-60 °C, i granuli sono interessati dal fenomeno della gelatinizzazione. Inizialmente si realizza un sensibile rigonfiamento della struttura amilacea con incremento della viscosità del sistema, cui segue la rottura della struttura così rigonfiata con fuoriuscita e parziale solubilizzazione del materiale amilaceo nell'acqua, e formazione di quella che è comunemente definita *salda d'amido*. A seguito di tali trasformazioni l'amido è reso così disponibile in numerose preparazioni industriali, come agente addensante o stabilizzante di gel ed emulsioni, o ancora come agente legante (Sajilata *et al.*, 2006; Flagella 2006).

La gelatinizzazione induce interessanti modificazioni sulla digeribilità dell'amido stesso: infatti le

macromolecole di amido gelatinizzato sono più facilmente idrolizzabili ed attaccabili da parte dei sistemi enzimatici della digestione (*alfa e beta* amilasi) (Holm *et al.*, 1988; Lucisano & Pagani, 1997).

Un altro fenomeno associato alla natura biochimica dell'amido è invece la cosiddetta retrogradazione; tale fenomeno è determinato dalla riorganizzazione della struttura amilacea, attraverso la formazione di legami intermolecolari delle macromolecole costituenti l'amido, indotto dal raffreddamento. Questo fenomeno, può ridurre la digeribilità dell'amido e contribuire a rendere rafferma il pane e altri prodotti da forno.

Recenti studi hanno evidenziato che ai granuli di amido di alcuni cereali (in particolare nel frumento tenero) sono associate alcune particolari proteine della classe delle triptofanine, le puroindoline; queste, anche se presenti in percentuale bassissima, svolgono una funzione nel definire la durezza delle cariossidi (*hardness*) e pertanto sono correlate alla qualità tecnologica definite dalla macinazione (Cannella & Pogna, 2007). Queste proteine sono comunemente assenti nel frumento duro e determinano pertanto l'ottenimento di sfarinati più grossolani e una maggiore frantumazione dei granuli di amido che risultando maggiormente "danneggiati" si prestano ad assorbire più acqua durante l'impasto.

L'amido contenuto nel frumento duro, così come quello di molti cereali (Mikulíková *et al.*, 2006), è costituito in parte da una frazione cosiddetta "resistente" che non viene attaccata dagli enzimi della digestione e svolge funzioni favorevoli al nostro metabolismo, alle quali si farà riferimento nel paragrafo successivo.

Nella cariosside matura dei cereali si ritrovano infine (in modeste quantità) forme più semplici di carboidrati, quali glucosio, fruttosio, maltosio e saccarosio (Flagella, 2006). La concentrazione di molte di queste molecole può sensibilmente aumentare a seguito della germinazione, complesso fenomeno che mobilita tutte le sostanze di riserva della cariosside per poter dare luogo allo sviluppo di una nuova pianta.

Carboidrati strutturali

Nelle parti tegumentali del chicco, dove si ritrovano cellule con una grossa parete cellulare, i carboidrati sono rappresentati da molecole con funzione biologica strutturale. Tra queste la cellulosa, polimero costituito da solo beta-glucosio, perciò, non idrolizzabile da parte dei sistemi amilolitici, rientra nella frazione della fibra alimentare, il cui effetto positivo sulla peristalsi intestinale è stato ampiamente descritto in letteratura scientifica. Un altro interessante componente delle pareti cellulari è rappresentato dalla frazione dei pentosani, polimeri assai complessi formati da zuccheri diversi dal glucosio (pentosi) (Flagella, 2006). I pentosani sono presenti in forme diverse per dimensioni, composizione, solubilità. In questi ultimi anni è stato loro riconosciuto un ruolo attivo anche nella formazione dell'impasto, dovuto all'elevata capacità di legare acqua.

Proteine

Le proteine presenti nei cereali sono distribuite in percentuale diversa a seconda della regione del chicco. Sebbene interessanti per quantità (la loro percentuale nella sostanza secca oscilla mediamente tra l' 8% ed il 16% circa dell'intero chicco), si può affermare che la componente proteica dei cereali, soddisfi

solo in parte le esigenze nutrizionali dell'uomo in quanto carente di alcuni aminoacidi cosiddetti essenziali, come la lisina e il triptofano.

Le molecole proteiche contenute nelle cariossidi del grano duro possono essere suddivise in 4 differenti classi a seconda della loro solubilità (Tab. 2): albumine e globuline (proteine solubili, che sono proteine con funzioni enzimatiche), e gliadine e glutenine (proteine insolubili, che hanno funzione di riserva).

Le albumine e le globuline (frazione solubile) sono particolarmente rappresentate nell'embrione e nello strato aleuronico. Le gliadine e le glutenine, che raggruppano percentualmente anche l'80% della componente proteica, sono localizzate invece nell'endosperma. La loro funzione biologica è completamente diversa da quella che contraddistingue le proteine solubili: si tratta in questo caso di sostanze di riserva, organizzate in una matrice tra i granuli d'amido.



Natura	Gruppi	Solubilità	Peso molecolare	Struttura	Proprietà	Contenuto %
Proteine citoplasmatiche	Albumine	Acqua	Basso		Enzimatiche	15-20
	Globuline	Soluzioni di sali	Basso		Schiumogene, emulsionanti	
Proteine di deposito nell'endosperma	Gliadine	Etanolo 70%	Basso	AA	Estensibilità	40
	Glutenine	Acidi, basi Agenti idrofobici	Alto (> 100.000 dalton)		Elasticità, tenacità	40

Tabella 2. Proteine presenti nella cariossidi di grano duro (da Flagella, 2007).

Nel caso del frumento duro queste due classi sono presenti in quantità confrontabile e sono caratterizzate da una composizione aminoacidica assai particolare, caratterizzata da una elevata percentuale (un terzo circa di tutti i residui aminoacidi) di acido glutammico e di prolina, e (come già accennato) di una bassa quantità di lisina. Questa particolare composizione consente a queste proteine di riserva di strutturarsi, durante l'impastamento della semola con acqua, in un complesso molecolare, il "glutine", caratterizzato da una struttura reticolare. La formazione del glutine è completa solo nel caso dell'impasto per la panificazione; mentre è parziale nel caso dell'impasto per la pastificazione (Milatovich & Mondelli, 1990). Le proprietà plastiche ed elastiche del glutine (cosiddette proprietà reologiche) sono determinanti per la trasformazione dello sfarinato (farina o semola rimacinata) in pane o in qualsiasi altro prodotto da forno, e della semola in pasta alimentare.

Le diverse varietà di frumento esistenti oggi in commercio sono state selezionate nel corso degli anni in modo da migliorare anche il comportamento tecnologico del relativo sfarinato e, dunque, la sua idoneità alla trasformazione in un ben definito prodotto. I trattamenti termici, sempre presenti nel processo produttivo, influenzano anche le proprietà funzionali delle proteine. A partire dai 60-70 °C le proteine, indipendentemente dall'umidità del sistema, sono interessate da fenomeni di denaturazione e coagulazione. Nel caso del glutine il trattamento termico stabilizza la struttura reticolare che perde così la sua capacità di estendersi e di deformarsi, ma anche di resistere a sollecitazioni troppo intense.

Le proteine solubili, come detto, sono invece per lo più proteine con attività enzimatiche. Gli enzimi

maggiormente presenti sono di tipo idrolitico (amilasi, proteasi, lipasi), ma le cariossidi possiedono anche proteine enzimatiche con attività di tipo ossidativo (lipossigenasi, perossidasi). In molti processi tecnologici di trasformazione dei cereali le attività enzimatiche devono essere attentamente controllate poiché influenzano la trasformazione stessa e le proprietà tecnologiche e nutrizionali del prodotto finito.

Tra le classi di proteine non rappresentate comunemente nel grano duro, ma solo nel grano tenero, sono da citare (come già prima anticipato) le puroindoline; proteine di piccola dimensione che costituiscono meno dello 0,1 % delle proteine dell'endosperma, e che si accumulano in modo specifico sulla superficie dei granuli di amido. Tale classe di proteine, appartenenti alle triptofanine, influenza la risposta tecnologica nei processi di macinazione orientandoli all'ottenimento di prodotti farinosi, che caratterizzano la macinazione del frumento tenero piuttosto che quella del frumento duro. Alcune iniziative di ricerca applicata puntano all'ottenimento di popolazioni di frumento duro che riescono ad esprimere questa classe di proteine, apportando interessanti ed innovativi elementi di qualità tecnologica e nutrizionale nei prodotti derivati. L'ottenimento di varietà di frumento duro cosiddetto *soft* potrebbe influenzare la durezza, la tessitura della cariosside ed il comportamento durante i processi molitori. In particolare un chicco di grano duro più soffice permetterebbe di ottenere uno sfarinato con granuli di amido meno danneggiati con il risultato di determinare un più basso indice glicemico come risposta durante la digestione. Questo ultimo requisito potrebbe essere interessante per rispondere alle esigenze nutritive di quella parte della popolazione affetta da patologie correlate a squilibri nel funzionamento del sistema di controllo dell'insulina.

Lipidi

Questi costituenti delle cariossidi sono generalmente considerati “minori” a causa della loro limitata quantità (vedi Tab. 1). Ciò nonostante, la loro importanza è rilevante sia da un punto di vista nutrizionale sia tecnologico. I lipidi dei cereali costituiscono una classe estremamente eterogenea di sostanze, distribuiti in maniera assai diversificata nei tessuti della cariosside. Oltre ai trigliceridi, i più rappresentati nel tessuto dell'endosperma, la cariosside contiene lipidi polari, le cui proprietà funzionali (emulsionanti, stabilizzanti) consentono interazioni con molecole proteiche ed amilacee e sono strategiche nell'influenzare le trasformazioni tecnologiche.

Minerali

La maggior parte delle sostanze minerali contenute nella cariosside dei cereali è localizzata nelle parti tegumentali ed è costituita da fosfati e solfati di potassio.

Il fosforo è presente inoltre come fitati (noti per la loro capacità di diminuire la biodisponibilità di alcuni minerali), particolarmente presenti nei distretti cruscali della cariosside. I cereali contengono anche tracce di ferro, rame e zinco. Anche il selenio può essere presente in concentrazioni apprezzabili se il cereale è stato coltivato in terreni particolarmente ricchi in questo minerale (Cannella & Pogna, 2007).

Vitamine

I cereali rappresentano una importantissima fonte di vitamine, soprattutto del gruppo B (Tab. 3); in particolare Niacina e Piridossina, tendono a concentrarsi nello strato aleuronico (Panatta, 1995), la Tiamina nello scutello, i tocoferoli e la vitamina E nell'embrione della cariosside. Le azioni di macinazione con conseguente abburattamento (setacciatura e allontanamento delle frazioni esterne della cariosside) comportano un impoverimento vitaminico negli sfarinati.

Vitamina		Localizzazione
B1	Tiamina	Embrione (scutello)
B2	Riboflavina	Più parti del chicco
B6	Piridossina	Strato aleuronico
B12	Niacina	Strato aleuronico
	Acido pantotenico	Strato aleuronico, endosperma
E	Tocoferolo	Embrione

Tabella. 3. Vitamine e loro localizzazione nella cariosside (da Lucisano & Pagani, 1997).

Acqua (g)	11,5
Proteine (g)	13
Lipidi (g)	2,9
Amido (g)	53,9
Zuccheri solubili (g)	3,2
Fibra totale (g)	9,8
Energia (Kcal)	312
Energia (KJ)	1307
Potassio (mg)	494
Ferro (mg)	3,6
Calcio (mg)	30
Fosforo (mg)	330
Magnesio (mg)	160
Zinco (mg)	2,9
Rame (mg)	0,40
Selenio (µg)	3,8
Tiamina (mg)	0,43
Riboflavina (mg)	0,15
Niacina (mg)	5,70
Vitamina A (µg)	2

Tabella 4. Composizione chimica e valore calorico del grano duro (valori medi relativi a 100 grammi - fonte dati: INRAN)

3. Le caratteristiche nutrizionali dei derivati del frumento duro

Le Linee Guida per una Sana Alimentazione Italiana pubblicati dall'Istituto Nazionale per la Ricerca degli Alimenti e la Nutrizione (AAVV, 2003) stabiliscono che i cereali (fondamentalmente pane e pasta) devono essere assunti in modo da conferire almeno il 45% delle calorie apportate giornalmente. Con riferimento ad altri nutrienti introdotti attraverso l'assunzione di prodotti derivati dal grano duro, sono da segnalare, come già accennato, il discreto contenuto in proteine e soprattutto nei prodotti integrali, di fibra alimentare. Notevole è anche l'apporto in elementi minerali (potassio, ferro e fosforo) ed in vitamine (tiamina e niacina). (Tab. 4)

Il ruolo principale dei prodotti derivati del grano duro nella nostra alimentazione è quello di rappresentare la principale fonte di energia per il nostro metabolismo. La presenza nella dieta di una quota di carboidrati complessi, quali l'amido, assicura all'organismo un rifornimento di energia prolungato nel tempo tale da evitare brusche variazioni del tasso di glucosio nel sangue (picchi glicemici).

Pane e pasta sono infatti alimenti apportatori di amido, cioè di zuccheri complessi e, in misura di gran lunga inferiore, di proteine². Eppure, dietro questa apparente semplicità nutrizionale, si nasconde la forza di tali alimenti, che, come già sottolineato, svolgono un ruolo principe alla base della dieta mediterranea. È proprio dal pane e della pasta che noi assumiamo gli zuccheri necessari per l'apporto energetico della nostra dieta. Pane e pasta, inoltre, non sono mai assunti nell'alimentazione da soli, ma accompagnati generalmente da companatico o condimento, e questo certamente è un aspetto che accresce l'interesse nutrizionale. L'apporto di fibra, ma anche di certi grassi, associati abitualmente all'introduzione di pane e pasta modulano l'assorbimento intestinale degli zuccheri complessi, introdotti con l'alimentazione, e indirizzano il sistema digestivo ad un'assimilazione lenta, che evita bruschi innalzamenti dei livelli di zucchero nel sangue, certamente non favorevoli alla nostra salute.

È opportuno precisare che sono numerosi i fattori che intervengono sulla capacità di intervenire sulla velocità di degradazione e assorbimento degli zuccheri, durante la digestione, e che possono pertanto influenzare l'indice glicemico associato alla digestione del prodotto e la digeribilità stessa dell'alimento. Oltre all'azione già segnalata esercitata da fibra e grassi, ad intervenire sulla velocità di digestione possono concorrere anche le tecniche impiegate per la molitura e le metodologie stesse di preparazione del prodotto finito (Langworthy & Holmes, 1921; AAVV, 2005). In particolare si segnala come per esempio la pasta scotta abbia un indice glicemico più alto rispetto a quella "al dente", mentre la lievitazione naturale, utilizzata per la produzione di alcuni prodotti da forno tipici, sembra conferire una maggiore digeribilità rispetto ai prodotti da forno lievitati con lievito industriale (Lucisano & Pagani, 1997).

Particolarmente interessante, per i benefici che apportano al nostro organismo e al nostro metabolismo in generale, è il consumo di derivati ottenuti con sfarinati integrali del frumento duro. Numerose sono le evidenze scientifiche che dimostrano come il consumo regolare di tali tipologie di prodotti sia correlato alla riduzione del rischio di numerose patologie (malattie cardiovascolari, ipertensione, cancro) e come

² La pasta secca non può essere considerata un alimento equilibrato in quanto manca quasi del tutto di lipidi e la qualità nutrizionale delle proteine non è elevata. In media con 100 g. di pasta cruda introduciamo circa 350 kcal.

contribuisce al mantenimento di un ottimale peso corporeo ed un buon funzionamento del sistema di funzionamento dell'insulina (Marquart *et al.* 2000) segnalare pubblicazioni. È opportuno precisare che un consumo eccessivo di derivati integrali del frumento duro può innescare un effetto “antinutriente” dovuto alla capacità dell'acido fitico di interferire con l'assorbimento di cationi bivalenti come il magnesio, lo zinco, il calcio, il ferro (Cannella & Pogna, 2007).

Un ulteriore elemento che valorizza il posizionamento dei prodotti derivati dal frumento duro nella nostra alimentazione è la presenza dei carotenoidi, come la luteina e il beta-carotene che, tra tutte le sostanze ad azione salutistica presenti nel frumento, sembrano rivestire un ruolo preventivo nel processo di invecchiamento cellulare e nei riguardi di alcune forme di tumore. In particolare, va evidenziato, come i prodotti ottenuti da sfarinati integrali presentano un contenuto in sostanze antiossidanti superiore a quello presente nelle uve rosse, considerato il prodotto di riferimento per la capacità antiossidante (Miller *et al.*, 2000; Quaglia, 2001). Alcuni autori hanno peraltro messo in evidenza come il contenuto di tali composti varia in funzione delle varietà utilizzate e delle tecniche di coltivazione adottate per la produzione della granella (Yang *et al.*, 2001, Adom *et al.*, 2005).

Un ruolo favorevole al nostro metabolismo è da attribuire al cosiddetto amido resistente. Questa frazione di amido supera il primo tratto dell' intestino tenue e raggiunge il tratto finale dove, attaccata dalla flora microbica, concorre ad incrementare la disponibilità nel colon degli acidi grassi a catena corta (SCFA-short chain fat acid: butirrato, propinato e acetato) che svolgono importanti ruoli nel mantenimento della salute delle cellule intestinali del colon e nella prevenzione di patologie quali il cancro all'intestino. I suddetti acidi grassi SCFA sono assorbiti dalla mucosa intestinale e raggiungono il circolo ematico dove esplicano un ruolo nella riduzione dei livelli di colesterolo, oltre che migliorare la sensibilità del controllo dell'insulina sulla glicemia. Alcuni studi recenti suggeriscono, peraltro, che possono contribuire ad aiutare i soggetti obesi nella normalizzazione del peso corporeo (Whitehead *et al.* 1986; Higgins *et al.*, 2004; Sajilata *et al.*, 2006).

A fronte dei numerosi vantaggi che è possibile associare al consumo regolare di prodotti derivati dal grano duro, possono essere citati a sfavore solo alcuni punti critici, o effetti sfavorevoli. Tra questi c'è il potenziale rischio da contaminazione da micotossine a cui i prodotti derivati da frumento duro possono essere soggetti; tali contaminazioni possono essere considerate delle vere e proprie emergenze socio-sanitarie poiché tali molecole, termoresistenti e pertanto riscontrabili nei prodotti finiti, hanno effetto carcinogenetico, genotossico, teratogenetico, mutagenico, immunosoppressivo, epatotossico e nefrotossico (Miraglia & Brera 1999; Cantelli Forti, 2007). La contaminazione può manifestarsi sia durante le fasi di coltivazione sia durante lo stoccaggio stesso, a causa di condizioni ambientali (umidità e temperatura) favorevoli all'insorgenza di alcuni ceppi tossigeni di alcune muffe, appartenenti prevalentemente al genere *Fusarium* e *Aspergillus*.

Le patologie che in qualche modo possono essere correlate al consumo di prodotti derivati dal frumento duro possono essere inserite nel più ampio quadro delle reazioni avverse agli alimenti e che prevede sia la presenza di ipersensibilità di natura non allergica sia di ipersensibilità di natura allergica.

Tra queste ultime distinguiamo allergie non IgE mediate (come la celiachia³ e la sindrome del colon irritabile) e ipersensibilità IgE mediate (come le allergie alimentari al frumento, l'anafilassi da esercizio fisico indotta da frumento, l'asma del panettiere che riguarda i soggetti esposti all'inalazione da polveri degli sfarinati) (Lombardo, 2006).

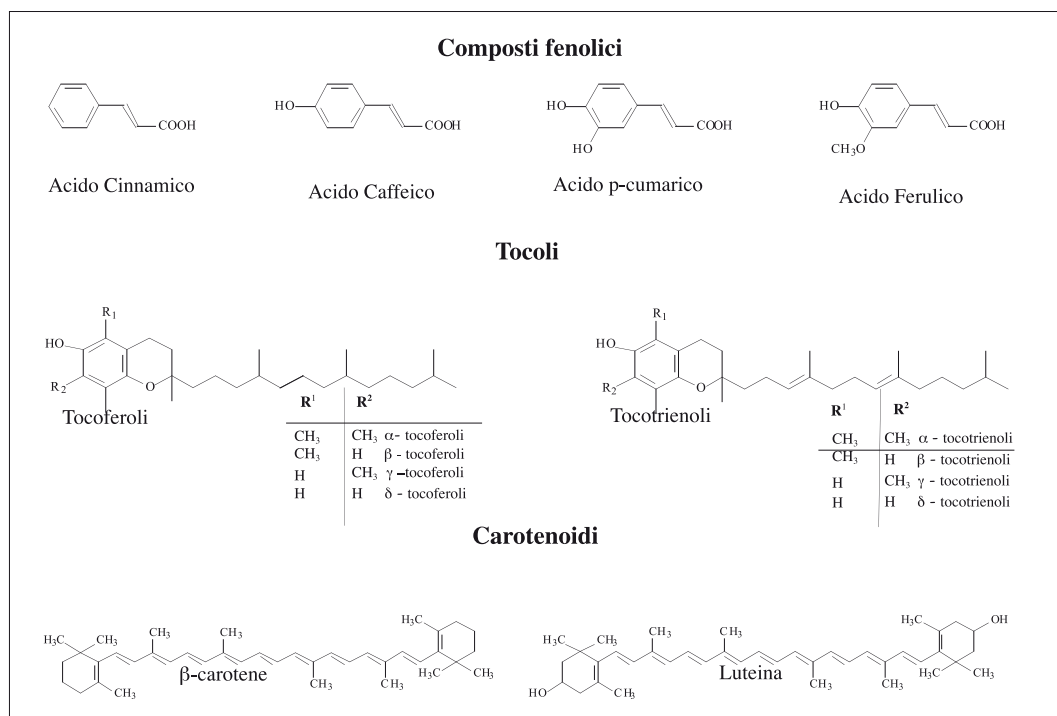


Fig. 3. Principali composti antiossidanti presenti nella granella di frumento duro.

Composti	Principale Localizzazione	Funzione
Composti fenolici	Endosperma e pericarpo	Ipocholesterolemica Antitumorale Antidiabetica Riduzione del rischio di malattie cardiovascolari e degenerative
Tocoli	Germe Strato aleuronico e sub-aleuronico	
Carotenoidi		
Fibre		Attività prebiotica Miglioramento peristalsi

Fig. 4. Composti ad azione antiossidante e salutistica contenuti nella cariosside di frumento duro.

³ Una intolleranza permanente con base autoimmune, innescata dal glutine e che sviluppa una enteropatia.

I derivati del frumento duro

Gli sfarinati

La prima trasformazione a cui sono destinate le cariossidi di grano duro è la molitura. La semola di grano duro o semplicemente semola è definita come il prodotto granulare a spigolo vivo ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento (setacciatura n.d.a.) del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità⁴ (valore granulometrico alla prova di setacciatura: passaggio staccio con maglio di mm 0.187 di luce, max 10%). La vitrosità della granella di frumento duro e la durezza dell'endosperma sono le caratteristiche che determinano l'idoneità del grano duro alla molitura in semola. L'elevato peso ettolitrico⁵ e la dimensione della cariosside sono peraltro fattori importanti associati alla qualità molitoria (Dexter *et al.*, 1991; Novaro *et al.*, 2001). Secondo Peña & Pfeiffer (2005), la semola è definibile come particelle di endosperma prodotte dalla molitura del frumento duro e passate attraverso un setaccio n. 20 U.S. (0,86 mm); non più del 3% delle particelle è in grado di passare attraverso un setaccio più fine n. 100 U.S. (0,14 mm). In relazione alla qualità del lotto di granella ed all'efficienza del processo, la molitura commerciale produce generalmente il 65-70% di semola ed il 5-12% di farina.

Il contenuto in ceneri della semola è un importante carattere commerciale; in molti Paesi il limite massimo è fissato per legge. In Italia la normativa che regola la lavorazione, il commercio dei cereali, degli sfarinati del pane e delle paste alimentari è la Legge 4 luglio 1967, n. 580 (Gazzetta Ufficiale n. 189 del 29 luglio 1967), soggetta successivamente a modifiche, come il D.P.R. 30 novembre 1998, n.502 (Regolamento recante norme per la revisione della normativa in materia di lavorazione e di commercio del pane, a norma dell'art. 50 della legge 22 febbraio 1994, n. 146 - pubblicato su G.U.R.I. 1 febbraio 1999, n. 25). L'art. 9 della legge 580/67 definisce valore minimo e massimo per le ceneri compreso tra 0.7 e 0.85 % (rispetto alla sostanza secca); lo stesso articolo consente la produzione di semola e semolato rimacinati, da destinare alla panificazione; è consentita inoltre la produzione di farine di grano duro da destinare esclusivamente alla panificazione, avente un contenuto minimo di ceneri di 1.35 e massimo di 1.60.

La maggior parte dei minerali della granella si concentrano fra pericarpo e strato aleuronico. Perciò il contenuto in ceneri di semola o farina incrementa con l'aumento del tasso di estrazione⁶.

Tuttavia anche il contenuto minerale della granella, influenzato da fattori genetici ed ambientali, può condizionare il contenuto in ceneri dello sfarinato. I principali fattori in grado di influenzare negativamente la resa in semola sono la bianconatura (dovuta a porzioni di endosperma amidacee a basso tenore proteico), causata da squilibri nella nutrizione azotata e la volpatura (scurimento del lato embrionale), dovuta ad attacchi di patogeni o da eventi biochimici implicanti la produzione di acido ferulico in maturazione (Flagella, 2007). La cosiddetta volpatura, invece, può aggiungere punti scuri non desiderabili a semola, e prodotti derivati, tale da far decrescere il valore e la qualità commerciale dello sfarinato.

⁴ La legge 580/67 definisce invece semolato di grano duro o semplicemente semolato il prodotto ottenuto dalla macinazione e conseguente abburattamento del grano duro liberato dalle sostanze estranee e dalle impurità, dopo estrazione della semola.

⁵ Peso ettolitrico: peso delle cariossidi che rientrano in un volume di un ettolitro.

⁶ Percentuale di sfarinato utile prodotto a partire da una determinata quantità iniziale di grano.

La pasta

La pasta è il prodotto di trasformazione del frumento duro di gran lunga più apprezzato nel mondo ed il suo consumo è raccomandato dalle linee guida per una Sana e Corretta Alimentazione dell'INRAN (Istituto per la Ricerca sugli alimenti e la nutrizione umana) e dalle linee guida dell'USDA-HHS (United States Department of Agriculture – Health and Human Services) come fonte ottimale di carboidrati complessi. L'elevato valore nutritivo è associato anche ad un elevato contenuto in carotenoidi e ad una bassa attività lipossigenasica (Pagnotta *et al.*, 2005). Come è noto, l'Italia detiene nel panorama mondiale il primato di paese produttore di pasta, con 3.127.598 t/annue; elevate produzioni sono raggiunte dagli Stati Uniti (secondi produttori), dai paesi europei vicini all'Italia e da Paesi latino-americani.

La versatilità della pasta, la facilità di cottura, la sua conservabilità, la disponibilità in numerose forme e dimensioni, l'elevata digeribilità, le buone caratteristiche nutrizionali ed i bassi costi costituiscono una buona attrattiva per il consumatore. Anche relativamente ai consumi di pasta, l'Italia detiene il primato mondiale con 28 kg pro-capite; tale valore sale a circa 40 kg pro-capite in Sicilia (Fonte: dati ISTAT).

Gli ingredienti basilari della pasta sono la semola e/o la farina di grano duro ed acqua. Le cosiddette paste speciali prevedono invece tra gli ingredienti anche uova intere o bianchi d'uovo, o altri ingredienti. Commercialmente gli ingredienti sono lavorati a formare un impasto che è estruso sotto vuoto per produrre pasta lunga e corta di forma e dimensione ben definita. L'essiccazione della pasta (12-12,5%) può avvenire in tempi brevi o lunghi (Milatovich & Mondelli, 1990). Per la pasta fresca non si procede alla fase di essiccamento. La pasta di alta qualità è caratterizzata da un uniforme brillante colore giallo dorato, privo di punti neri. La pasta cotta di buona qualità dovrebbe essere tenace, elastica, non ammassata e dovrebbe rimanere al dente nonostante l'insorgenza di una sovracottura.

Un elemento essenziale della qualità di cottura della pasta è l'abilità delle proteine del glutine di frumento duro di interagire durante la formazione dell'impasto e di formare la caratteristica rete di proteine viscoelastica, insolubile alla cottura, che intrappoli i granuli di amido e che prevenga rotture strutturali, disintegrazione della superficie della pasta ed ammassamento in sovracottura. Semole della stessa *cultivar* producono paste migliori se hanno contenuti proteici più elevati, intorno al 13%, e peggiori con tenori proteici inferiori all'11% (Milatovich & Mondelli, 1990). A parità di contenuto proteico, invece, *cultivar* diverse mostrano notevoli differenze nelle proprietà viscoelastiche del glutine e differente tenuta in cottura della pasta; ciò dimostra l'importanza della qualità del glutine nel determinare la qualità della pasta (Milatovich & Mondelli, 1990; Flagella, 2007).

A basse temperature di essiccazione il contenuto proteico della granella e la qualità proteica sono le principali componenti della qualità pastificatoria (D'Egidio *et al.*, 1990), mentre ad alte temperature quest'ultima dipende solo dal contenuto proteico (D'Egidio & Novaro, 1993).

Una caratteristica che differenzia il frumento duro dal tenero è la presenza di elevati livelli di pigmenti gialli nel duro principalmente caroteni e xantofille (Quaglia, 2001). Il colore giallo conferito da tali componenti esercita un'attrattiva particolare nei consumatori che nei processi di scelta dallo scaffale della GDO (grande distribuzione organizzata) danno la preferenza all'acquisto di un prodotto dal caratteristico giallo brillante.

Elevati livelli di attività lipossigenasica (LOX), perossidasi e polifenolossidasi nella semola possono determinare degradazione ossidativa dei pigmenti gialli durante la pastificazione (Peña e Pfeiffer, 2005). È stata descritta in letteratura (Flagella, 2006) una sostanziale correlazione fra l'attività della LOX e la perdita in carotenoidi. Borrelli *et al.* (1999), inoltre, hanno riportato che in alcuni genotipi di frumento duro, basse attività di LOX potrebbero essere più rilevanti di un elevato contenuto in pigmenti gialli nel mantenere il colore giallo della pasta. Usare alte temperature durante il condizionamento prima della molitura e durante l'essiccazione della pasta sembra ridurre considerevolmente le attività di LOX ed α -amilasi e, conseguentemente, i loro effetti deleteri sulla qualità di semola e pasta.

Per concludere è importante segnalare l'interesse crescente nella produzione di paste funzionali. Gli alimenti funzionali sono da considerare un segmento di mercato emergente nell'agroalimentare e possono essere utilizzati come parte integrante di un regime dietetico finalizzato a migliorare la nutrizione o a prevenire le malattie.

Il Pane

Secondo la legge 580/67 è denominato "pane" "il prodotto ottenuto dalla cottura totale o parziale di una pasta convenientemente lievitata, preparata con sfarinati di grano, acqua e lievito, con o senza aggiunta di sale comune (cloruro di sodio)".

Il pane è uno degli alimenti più diffusi al mondo e oltre che a partire da sfarinati di frumento duro o frumento tenero può essere anche preparato con sfarinati di segale.

Per la produzione di pane, specialmente nell'Italia meridionale, è utilizzata la semola o il semolato rimacinato di frumento duro. La semola rimacinata è aggiunta ad acqua in quantità variabile tra il 30 e il 65 % (Russo *et al.*, 2001; Costanzo *et al.*, 2001); l'impasto favorito dall'azione energetica del processo di impastamento (manuale o meccanico), si trasforma, attraverso la formazione del glutine, in una massa prima collosa e poi più elastica.

Contemporaneamente l'acqua idrata anche i granuli di amido, solubilizza il sale e attiva le funzioni enzimatiche. La fase successiva del processo di produzione prevede la lievitazione che consiste nell'aumento di volume per azione dei gas durante la fermentazione dovuta al lievito.

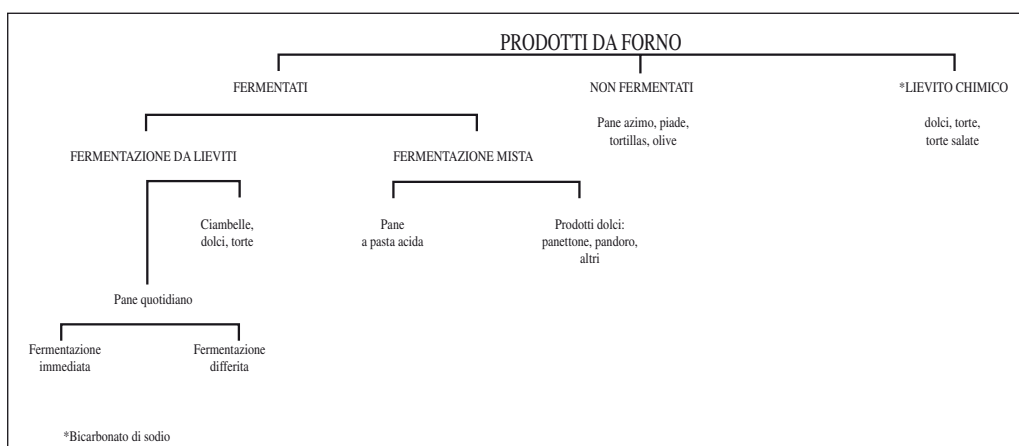


Fig.5 - Classificazione dei prodotti da forno (da Gullo *et al.*, 2001)

Le caratteristiche strutturali e sensoriali del pane sono influenzate, oltre che dalla qualità delle materie prime utilizzate, anche dalle tecniche di fermentazione degli impasti, tra queste ricordiamo:

- fermentazione con lievito compresso od essiccato (*Saccharomyces cerevisiae*)
- fermentazione per aggiunta di pasta acida e lievito compresso
- impiego esclusivo di lievito naturale
- impiego di *starter* microbici

Fermentazione con lievito compresso

La fermentazione con lievito compresso (colture prevalentemente costituite da cellule di *Saccharomyces cerevisiae*) fu introdotta nell'industria panaria dopo che fu chiaro il ruolo dei saccaromiceti nella lievitazione. È prodotto su scala industriale e si trova in commercio o come lievito in pani compresso, con un contenuto in acqua del 60-75%, o essiccato, conservabile a lungo con un contenuto in acqua del 4-10%. Al momento dell'uso va rinvigorito. Per questo si stempera in poca acqua tiepida, meglio in acqua zuccherata che viene aggiunta alla farina, per fare un impasto. L'impiego del lievito compresso offre numerosi vantaggi quali: la rapidità della fermentazione che avviene in modo costante, la disponibilità e la facile gestione del lievito compresso, la struttura del pane stesso e la diminuzione dei tempi di lavorazione. Tuttavia il pane prodotto con lievito compresso ha una shelf-life (conservabilità) minore.

Fermentazione con lievito naturale

Si intende per lievito naturale un impasto formato da farina ed acqua lasciato fermentare, senza l'ausilio di lieviti incorporati volontariamente, per un periodo di tempo più o meno lungo. Nella produzione di un lievito naturale spesso concorrono componenti microbiche ambientali tipiche del contesto in cui avviene la preparazione. Tra queste possiamo annoverare generalmente lattobacilli (generi *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* e *Streptococcus*) e lieviti ambientali quali quelli appartenenti ai generi *Candida* e *Saccharomyces*. Nella figura 6 è evidenziato un generico schema di preparazione di un lievito naturale. Generalmente è necessario che il lievito naturale sia stabilizzato attraverso numerosi rinnovi che hanno l'azione di effettuare una selezione spazio-temporale delle diverse componenti microbiche che possono caratterizzare così il lievito stesso e il prodotto finito.

L'utilizzo del lievito naturale nel processo di panificazione da un lato richiede tempi di fermentazione molto più lunghi (compresi tra 2 e 6 ore), dall'altro permette di ottenere prodotti con proprietà sensoriali caratteristiche e di pregio; la lievitazione naturale, infatti, concorre alla formazione di composti organici volatili che arricchiscono il profilo sensoriale del prodotto finito ed attribuisce una alveolatura regolare dovuta alla lenta e graduale formazione di CO₂ durante la lievitazione.

Inoltre al pane ottenuto con lievitazione naturale è riconosciuta una maggiore digeribilità e tempi di conservazione più lunghi (l'acidità dell'impasto contrasta lo sviluppo di muffe e rallenta il fenomeno del rafferimento) (Quaglia 1984, Gobetti *et al.* 2001). Il miglioramento del valore nutritivo del prodotto finito è dovuto anche alla maggiore biodisponibilità minerale conseguente la degradazione dei fitati

che, come è stato già precisato, interferiscono con l'assorbimento di importanti cationi bivalenti. Molti panificatori impiegano, nella lievitazione, un processo che in realtà risulta misto tra la lievitazione naturale e quella con lievito compresso. Tale schema prevede l'impiego di un residuo di impasto della lavorazione proveniente dall'impasto della giornata precedente (e pertanto ricco in componenti microbiche ambientali), che al momento della miscelazione degli ingredienti è addizionato ad una quantità variabile di lievito compresso, proporzionale alla massa da panificare. L'avvio della fermentazione è in questo modo garantito comunque dal lievito compresso, questa tecnica offre il vantaggio di rapide e sicure fermentazioni e caratteristiche sensoriali del prodotto finito intermedie rispetto al pane prodotto con solo lievito naturale e pane prodotto con lievito compresso.

Fermentazione con colture starter

Gli starter microbici sono delle colture pure o miste in forma liquida, semi liquida, secca (disidratata o liofilizzata). Questa forma di inoculo non è molto diffusa anche se offre vantaggi nella ottimizzazione e standardizzazione del prodotto finale.

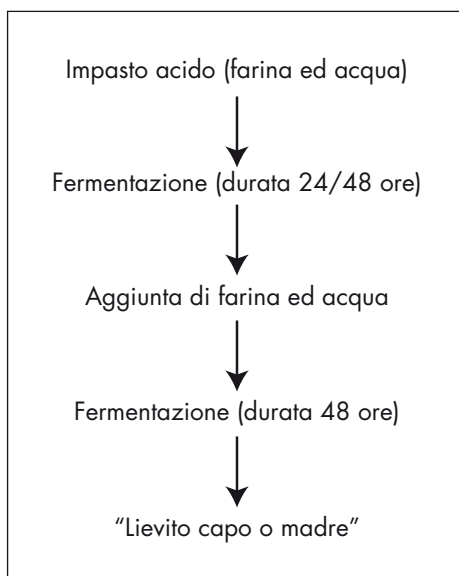


Fig. 6 - Preparazione di un lievito naturale (da Gullo *et al*, 2001)

Riferimenti bibliografici

- A.A.V.V., 2003 - Linee guida per una sana alimentazione italiana. Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione.
- A.A.V.V., 2005 - Glycemic Index. From Research to Nutrition Recommendations? TemaNord. 84 pp.
- Adom K. K., Sorrels, M. E., Liu R. H., 2005 – Phytochemicals and antioxidants activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 53 (6): 2297-2306.
- Bianco L., Marucchi M., 1991. Farine pane e miglioratori: determinazione dei acidi in hplc. *Industrie alimentari* 295: 625-634.
- Blanco A., 2007. Origine ed Evoluzione. In: AAVV. *Il Grano*. Bayer. Pp. 170-195.
- Borrelli G.M., Troccoli A., Di Fonzo N., Fares C. 1999. Durum wheat Lypoxigenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chem.*, 76:335-340.
- Cantelli Forti G., 2007 – Effetti tossici e meccanismi di azione delle micotossine. In: Rapporti ISTISAN 07/37 - Le micotossine nella filiera alimentare. A cura di M. Miraglia & C. Brera. Istituto Superiore di Sanità.
- Carraï B., 2001 – Arte Bianca. Materie prime processi e controlli. Calderini Edagricole. 294 pp.
- Cannella C, Pogna N., 2007. Aspetti nutrizionali. In: *Il grano*. Collana: Coltura & Cultura. Bayer CropScience S.r.l., ART, Bologna: 50-59.
- Cannella C., Piredda M., 2006 – I cereali nella dieta mediterranea. *L'Informatore Agrario*, 12 suppl. n. 1 del 17/23 marzo pp. 7-8.
- Cartabellotta D., Sgrulletta D., Monastero E., Tusa P., Messina B., Russo G., Catalano R., Nobile G., 2002 - Un progetto per la valorizzazione delle produzioni di grano duro siciliano: dallo stoccaggio differenziato alla certificazione del sistema qualità. *Molini d'Italia*, Ottobre. 53 – 58.
- Cartabellotta D., Manzone G., Messina B., Russo G., 2003 – La certificazione di prodotto e di sistema quale strumento per la tutela e la valorizzazione della qualità delle materie prime e dei prodotti agroalimentari. Analisi di un caso della filiera cerealicola. In: *La Sicurezza Alimentare: dal sistema HACCP alla rintracciabilità di filiera*. Aspetti cogenti e volontari. Pp. 93-102.
- Costanzo E., Liberto M., Russo G., 2001 - Schede dei Pani Siciliani. In: *Consorzio di Ricerca Gian Pietro Ballatore*. Atlante del Pane di Sicilia. Grafiche Renna.
- Dexter J.E., Tkachuck R., Tipples K.H., 1991 - Physical properties and processing quality of durum wheat fraction recovered from a specific gravity table. *Cereal Chem.*, 68:401-405.
- D'Egidio M.G., Mariani B.M., Nardi S., Novaro P., Cubadda R. 1990. Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chem.*, 67:275-281.
- D'Egidio M.G., Novaro P. 1993. Durum wheat grain proteins: effects of genotype, environment and drying technologies on pasta quality. *Proc. International Meeting Wheat Kernel Proteins. Molecular and functional aspects*. Viterbo, 1993. 295-297.
- Flagella Z., 2006 – Qualità nutrizionale e tecnologica del frumento duro. *Ital. J. Agron. / Riv. Agron.*, 2006, 1:203-239
- Gobetti M, Lavermicocca P., Corsetti A., 2001 – Microbiologia degli alimenti. In: De Felip G., *Recenti Sviluppi di igiene e microbiologia degli alimenti*. Tecniche nuove. Pp. 217-302.
- Gullo M., Romano D., Giudici P., 2001 - La lievitazione: il ruolo dei microrganismi. In: *Consorzio di Ricerca Gian Pietro Ballatore*. Atlante del Pane di Sicilia. Grafiche Renna.
- Higgins J.A., Higbee D.R., Donahoo W.T., Brown I.L., Bell M.L., Bessesen D.H., 2004. Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutr Metab (Lond)*. 1(1):8
- Holm J., Lundquist I., Bjorck I., Eliasson A.C., Asp G.N., 1988 - Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 1988; 47: 1010-6.

- Miller H. E., Rigelhof F., Marquart L., Prakash A., Kanter M.**, 2000 – Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *Journal of American College of Nutrition*. Vol. 19, no. 3: 312s-319s.
- Yang F., Basu T.K., Oraikul B.**, 2001 - Studies on germination conditions and antioxidants contents of wheat grain. *International Journal of Food Science and Nutrition*. Volume 52, number 4, pp. 319-330.
- Lafiandra D, Sestili F, D'Ovidio R., Janni M., Botticella E., Ferrazzano G., Silvestri M., Ranieri R., DeAmbrogio E.**, 2008 – Approaches for the modification of starch composition in Durum. *International Durum Wheat Symposium (From seed to pasta: the durum wheat chain)*. Book of abstracts. P. 69.
- Lombardo C.**, 2006 – Studio allergologico e immunochimico di pazienti con allergia al frumento e alle graminacee. Tesi di Specializzazione AA 2005-2006 - Scuola di Specializzazione in Allergologia e Immunologia Clinica. Università Cattolica del Sacro Cuore. Facoltà di Medicina e Chirurgia “A. Gemelli” ROMA.
- M. Lucisano, M.A. Pagani**, 1997. Cereali e derivati. In: Daghella A., *Gli Alimenti: Aspetti tecnologici e nutrizionali*. Istituto Danone. Pp. 7-68.
- Marquart L., Jacobs D. R. Jr, Slavin J. L.**; 2000 - Whole Grains and Health: An Overview *Am Coll Nutr* 2000 19: 289S-290.
- Milatovich L., Mondelli G.**, 1990. La tecnologia della pasta alimentare. Chirioti Editore. Pp. 331.
- Miraglia M, Brera C.**, 1999 – Le micotossine. In: Paoletti R., Nicosia S., Clementi F., Fumagalli G., *Tossicologia degli alimenti*. UTET Editore. 22-28 pp.
- Daniela Mikulíková, Michaela Benková And Ján Kraic**, 2006 - The Potential of Common Cereals to form Retrograded Resistant Starch. *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 42, 2006 (3): 95–102.
- Novaro P., Colucci F., Venora G., D'Egidio M.G.** 2001 - Image analysis of whole grains: a noninvasive method to predict semolina yield in durum wheat. *Cereal Chem.*, 78:217-221.
- Panatta G. B.**, 1997 – Cereali e patate. In: F. Fidanza & G. Liguori. *Nutrizione Umana*. Pp. 268-289.
- Peña R.J., Zarco-Hernandez J., Amaya-Celis A., Mujeeb Kazi A.** 1994 - Relationship between chromosome 1B encoded glutenin subunit compositions and breadmaking quality characteristics of some durum wheat. *Cereal Chem.*, 78:217-221.
- Quaglia G.** 1984. *Scienza e tecnologia della panificazione*. Ed. Chirioti.
- Quaglia G.** 2001 - Aspetti tecnologici e nutrizionali della semola rimacinata di grano duro per la panificazione. In: Autori Vari. *Ottimizzazione delle materie prime, del processo di lievitazione e del confezionamento nella produzione industriale di pane e prodotti da forno convenzionali e dietetici (pop sicilia misura 10.4)*. Consorzio di Ricerca Gian Pietro Ballatore.
- Russo G.**, Tusa P., 2001 - Metodologie di indagine per la realizzazione dell'Atlante. In: Consorzio di Ricerca Gian Pietro Ballatore. *Atlante del Pane di Sicilia*. Grafiche Renna. 294 pp.
- Russo G., Messina B., Campisi D., Fonti A., Monastero E.**, (2007). Monitoraggio della qualità del grano duro prodotto in Sicilia: risultati delle campagne di raccolto biennio 2005-2006 e confronto con i risultati registrati nel quinquennio 2000-2004. Osservatorio della filiera cerealicola siciliana – Terzo Rapporto – La filiera del grano duro in Sicilia.
- Reg CE 178/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 28.01.2002, che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare. *Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee* del 01.02.2002.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R.**, 2006 - Resistant Starch – A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*- 5, 1-17.
- Sgrulletta D., De Stefanis E.** (1996). Applicazione della spettroscopia NIT (Near Infrared Transmission) per l'analisi della semola. *Tecnica molitoria*. Settembre: 861-866.
- UNI EN ISO 9001(2000) - Sistema di gestione per la qualità: requisiti.
- Whitehead R.H., Young G.P., Bhathal P.S.**, 1986 - Effects of short chain fatty acids on a new human colon carcinoma cell line (LIM1215). *Gut*. 27(12):1457-1463