

Qualità nutrizionale e tecnologica del frumento duro

Zina Flagella*

*Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali, Chimica e Difesa Vegetale e Centro di Ricerca Interdipartimentale BIOAGROMED, Università degli Studi di Foggia
Via Napoli 25, 71100 Foggia*

Data di presentazione: 8 febbraio 2006

Riassunto

La qualità del frumento duro è un sistema complesso che comprende caratteristiche intrinseche del prodotto, requisiti del contesto produttivo e requisiti di garanzia. In questa rassegna si è focalizzata l'attenzione sugli aspetti tecnologici e nutrizionali della qualità del prodotto, in relazione alle influenze climatiche ed agronomiche. In particolare, la qualità tecnologica è stata indagata in funzione della tipologia del prodotto trasformato (pasta, pane, couscous, burghul). Sono stati valutati gli effetti dei principali e più indagati fattori ambientali (concimazione azotata e solfatica, temperatura e regime idrico) ed anche del metodo di coltivazione biologico sulla qualità del prodotto. Sono state esaminate, inoltre, le caratteristiche nutrizionali del frumento duro dovute al contenuto in proteine, amido, lipidi, vitamine, fibre e sali minerali. Particolare attenzione è stata rivolta alla capacità antiossidante, in grado di prevenire malattie croniche e degenerative. Questa risulta legata all'elevato contenuto in composti bioattivi, quali composti fenolici, tocoli, carotenoidi e fibre, presenti nella granella integrale di frumento duro. Alla luce dei nuovi orientamenti di politica comunitaria e del crescente interesse verso gli alimenti funzionali, infine, sono state prospettate due possibilità di sviluppo del comparto del frumento duro; queste riguardano: i) la qualificazione della materia prima, mediante il miglioramento dei requisiti tecnologici, nutrizionali e salutistici e lo sviluppo di prodotti certificati (IGP, DOP, biologici); ii) lo sviluppo di tecnologie di produzione e trasformazione che consentano un incremento nei livelli dei composti bioattivi nella granella e nei suoi derivati.

Parole chiave: alimenti funzionali, composti bioattivi, couscous, frumento duro, influenza ambientale, pasta, qualità nutrizionale, qualità tecnologica.

Summary

NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL QUALITY OF DURUM WHEAT

Durum wheat quality is a complex system that combines yield characteristics, cultivation conditions and certification requirements. In this review, the technological and nutritional aspects of grain quality were evaluated in relation to the influence of climate and agronomic practices. In particular, the technological quality was investigated with regard to the kind of processed product (pasta, bread, couscous, burghul). The influence of nitrogen and sulphur nutrition, temperature, water regime and organic farming on grain quality was evaluated. Furthermore, the nutritional characteristics of durum wheat related to starch, proteins, lipids, vitamins, fibres and mineral ions content were examined. Special focus was on the antioxidant activity capable of preventing chronic and degenerative diseases thanks to the high content in bioactive compounds, as phenols, tocols, carotenoids and fibres in whole grain. In the light of the new direction of the Community agricultural policy and of the growing interest in human nutrition, two prospects for development of the durum wheat sector were delineated: i) developing certified products (PGI, PDO and organic); ii) promoting production and processing technologies aimed at increasing the level of bioactive compounds in durum wheat grain and its by-products.

Key-words: couscous, durum wheat, environmental influence, functional foods, nutritional quality, pasta, phytochemicals, technological quality.

* Autore corrispondente: tel.: +339 0881 589220; fax: +339 0881 589342. Indirizzo e-mail: z.flagella@unifg.it
Relazione presentata al XXXVI Convegno della Società Italiana di Agronomia dal titolo "Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali", Foggia, 20-22 settembre 2005.

1. Introduzione

1.1 La coltura del frumento duro. Dati produttivi e cenni di politica agraria

La maggior parte della superficie mondiale investita a frumento duro (*Triticum durum* Desf.) è concentrata nelle regioni dell'Europa mediterranea, del Nord Africa e dell'Asia occidentale (WANA) in cui l'importanza alimentare di questa coltura è testimoniata da un elevato consumo pro-capite di pasta e di prodotti tipici trasformati. La produzione di grano duro a livello mondiale nel quadriennio 2001-2004 è risultata pari in media a 36,3 milioni di tonnellate (Di Trapani e Schimmenti, 2005) con valori compresi fra i 41,1 milioni di tonnellate nel 2003 ed i 31,8 nel 2001. I principali Paesi produttori (tabella 1) sono risultati l'Italia, il Canada, la Turchia, la Siria, il Kazakistan e gli Stati Uniti che hanno fornito il 52% dell'offerta mondiale. Nei Paesi dell'Unione Europea (figura 1) la maggior parte della produzione totale (8,84 milioni di tonnellate) è risultata concentrata soprattutto in Italia

Tabella 1. Produzione di frumento duro nel mondo, nel quadriennio 2001-2004 (fonte Igc, modificato da Di Trapani e Schimmenti, 2005).

Table 1. World durum wheat production in 2001 to 2004 crop seasons (Igc source, modified from Di Trapani and Schimmenti, 2005).

	Produzione (000 t)	(%)
Italia	4.138	11,4
Canada	4.027	11,1
Turchia	3.075	8,5
Siria	2.850	7,8
Kazakistan	2.475	6,8
Stati Uniti	2.380	6,6
Spagna	1.965	5,4
India	1.875	5,2
Francia	1.607	4,4
Marocco	1.465	4,0
Algeria	1.453	4,0
Tunisia	1.075	3,0
Messico	1.038	2,9
Cina	875	2,4
Grecia	831	2,3
Australia	475	1,3
Argentina	200	0,5
Portogallo	181	0,5
Iraq	150	0,4
Libia	97	0,3
Altri Paesi	4059	11,2
Totale mondo	36.291	100,0

Tabella 2. Produzione di frumento duro in Italia, nel quadriennio 2001-2004 (elaborazione dati Istat; modificato da Di Trapani e Schimmenti, 2005).

Table 2. Italian durum wheat production during 2001 to 2004 crop seasons (Istat data; modified from Di Trapani and Schimmenti, 2005).

Regione	Produzione (t)	(%)
Puglia	957.911	22,3
Sicilia	736.629	17,2
Marche	524.593	12,2
Toscana	434.957	10,1
Basilicata	380.600	8,9
Lazio	236.115	5,5
Campania	203.825	4,8
Molise	189.726	4,4
Abruzzo	145.199	3,4
Sardegna	141.105	3,3
Calabria	139.497	3,3
Emilia Romagna	119.067	2,8
Umbria	55.578	1,3
Lombardia	10.920	0,2
Piemonte	6.188	0,2
Veneto	4.916	0,1
Friuli V. Giulia	1.944	-
ITALIA	4.288.770	100,0
Nord	143.035	3,3
Centro	1.251.243	29,1
Sud	2.894.492	67,6

(46,8%) ed in minor misura in Spagna (22,2%) ed in Francia (18,2%).

Relativamente alla situazione italiana (tabella 2), i maggiori livelli produttivi sono stati riscontrati nell'Italia meridionale che ha fornito il 67,6% dell'offerta nazionale, seguita dall'Italia centrale con il 29,1% e dall'Italia setten-

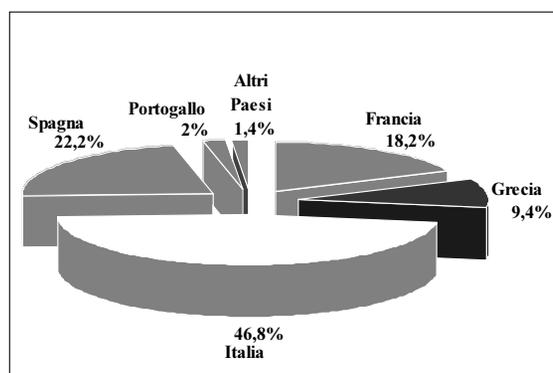


Figura 1. Distribuzione delle produzioni di frumento duro nell'UE, nel quadriennio 2001-2004 (fonte Igc).

Figure 1. Percent durum wheat production of EU countries in 2001-2004 crop seasons (Igc source).

trionale con il 3,3%. Le produzioni più elevate sono state ottenute in Puglia, che ha fornito il 22,3% dell'offerta nazionale, Sicilia, Marche, Toscana e Basilicata.

Nonostante l'Italia sia il primo produttore mondiale di frumento duro, il comparto continua a presentare un bilancio negativo negli scambi commerciali con l'estero dovuto ad elevate importazioni di granella di livello qualitativo medio-alto (Di Trapani e Schimmenti, 2005). Nel quadriennio 2001-2004, infatti, per coprire le esigenze dei pastificatori, l'Italia è stata costretta ad importare 1,610 milioni di tonnellate con un campo di variazione compreso fra 1,262 e 2,108 milioni di tonnellate, rispettivamente nel 2004 e nel 2001, più della metà delle quali da Paesi esterni alla UE quali gli Stati Uniti, il Canada e l'Australia. Tra i problemi che concorrono alla destabilizzazione del mercato e che si ripercuotono negativamente sull'intera filiera di produzione della pasta, figurano innanzitutto gli insufficienti livelli qualitativi di gran parte della produzione granellare italiana ed una forte disomogeneità fra le partite provenienti dalle diverse zone.

I derivati del frumento duro ed in particolare le paste alimentari, invece, continuano a rappresentare una voce attiva del comparto superando ampiamente in valore assoluto il deficit del prodotto non trasformato e contribuendo a ridurre l'elevato deficit dell'intero settore agroalimentare del Paese (tabella 3). Nel quadriennio 2001-2004 si è registrato un valore di 2,558 milioni di tonnellate. L'esportazione dei derivati del grano duro (Di Trapani e Schimmenti, 2005) è stata diretta soprattutto verso l'area comunitaria ed in particolare in Germania, Francia e Regno Unito che insieme hanno assorbito in media il 45,9% dell'export nazionale; nell'ambito dei Paesi extracomunitari quantità significative di derivati del grano duro sono state esportate negli Stati Uniti (10%) e nel Giappone (5%).

La recente revisione della politica agricola comunitaria (PAC), che è entrata in vigore dal 2005, pone la durogranicoltura italiana di fronte ad una nuova sfida. Sulla base della riforma Fischler, infatti, la nuova PAC introduce il "disaccoppiamento" che prevede l'erogazione dei sussidi agli agricoltori indipendentemente dal tipo di ordinamento produttivo praticato, purché siano rispettate alcune norme relative al rispet-

Tabella 3. Scambi commerciali di grano duro e derivati dall'Italia (media 2001-2004). Elaborazione di dati ISMEA – ISTAT (modificato da Di Trapani e Schimmenti, 2005).

Table 3. Foreign trade of durum wheat grain and by-products in Italy (2001 to 2004 average) ISMEA – ISTAT data (modified from Di Trapani and Schimmenti, 2005).

Paese	Grano duro (saldo in t)	Derivati del grano duro (*) (saldo in t)
Francia	-292.036	354.027
Belgio	635	45.351
Olanda	-1.293	67.806
Germania	2.440	543.762
Regno Unito	5.533	289.771
Grecia	-94.941	-2.187
Spagna	-187.403	16.419
Svezia	-	63.988
Austria	-1.519	45.094
Danimarca	1.648	47.849
Russia	-1.526	20.709
Turchia	-38.528	428
Canada	-428.135	37.522
U.S.A.	-377.267	254.751
Siria	-54.310	62
Australia	-243.613	31.903
Giappone	-	130.109
Algeria	110.439	1.344
Svizzera	1.098	41.385
Altri Paesi	-12.172	568.015
Totale	-1.610.950	2.558.108
Valore (.000 euro)	-294.640	1.219.727

(*) I derivati sono espressi in quantità coefficientate.

to dell'ambiente ed alla qualità degli alimenti. Gli obiettivi del "disaccoppiamento" sono da un lato reindirizzare l'agricoltura alle esigenze del mercato, dall'altro, con le misure di condizionalità ecologica (d.r. 13/12/2004 e 15/12/2005), salvaguardare l'ambiente e la qualità delle produzioni (de Filippis, 2004).

Per il frumento duro con la riforma viene attuata una graduale riduzione dei sussidi in tre anni, a partire dal 2004. A parziale compensazione di tali riduzioni, tuttavia, è stata prevista (d.r. MIPAF 05-08-'04) l'erogazione di un pagamento supplementare in base all' art. 69 del regolamento 1782/2003, agli agricoltori che utilizzino sementi certificate di frumento duro (esenti da OGM) o che adottino tecniche di avviamento almeno biennale delle colture. È stato attivato, inoltre, un nuovo aiuto specifico erogato come "premio qualità". Tale aiuto accoppiato è pari a € 40 ad ettaro per il grano duro prodotto nelle zone tradizionali e sarà corri-

Tabella 4. Le diverse tipologie della qualità di frumento duro dalla produzione al consumo del prodotto trasformato (modificato da Troccoli et al., 2000).

Table 4. Quality of durum wheat and processed products from farm to fork (modified from Troccoli et al., 2000).

Qualità agronomica	Qualità molitoria	Qualità tecnologica	Consumatore
Potenzialità produttiva	Peso ettolitrico	Contenuto proteico	Standard qualitativi di pasta, pane, couscous etc.
Resistenza agli stress biotici ed abiotici	Contenuto in ceneri	Qualità del glutine	Aspetto
Qualità merceologica	Uniformità del lotto Umidità della granella Impurezze	Indice di giallo	Rapporto qualità/prezzo

sposto in base all'effettiva coltivazione ed all'utilizzo di sementi certificate idonee alla trasformazione del frumento duro in semola o pasta. In base al regolamento UE 2237/2003 ciascun Paese è tenuto a redigere una lista di varietà per il conferimento del premio qualità; tale lista sarà stabilita sulla base dell'indice globale di qualità (IGQ) calcolato utilizzando i parametri qualitativi tenore proteico, qualità del glutine, colore, peso ettolitrico, in riferimento a varietà testimoni, attribuendo a ciascun parametro le percentuali rispettivamente del 40, 30, 20, 10. In Italia i criteri per redigere la lista sono stati pubblicati nella GU del 5/11/04. Si è deciso di utilizzare le 5 varietà più diffuse a livello nazionale, di effettuare prove in almeno 4 ambienti per ciascuno dei due anni di prova previsti dal regolamento comunitario e di includere nella lista le varietà con un indice globale di qualità riferito alla media dei testimoni uguale o superiore a 98 in almeno la metà dei campi realizzati nel biennio (D'Egidio et al., 2005b). L'applicazione della riforma Fischler potrà avere delle ripercussioni negative sul comparto del frumento duro in Italia. Il regime di "disaccoppiamento" dei sussidi, infatti, potrà determinare la riduzione delle superfici investite a frumento duro soprattutto nelle aree interne e meno vocate dell'Italia Meridionale dove si conseguono basse rese unitarie. Nelle zone dove esistono alternative colturali, invece, è prevedibile che gli agricoltori sposteranno l'interesse verso colture più remunerative ed abbandoneranno la pratica del ringrano. Dove, invece, non esistono valide alternative colturali è probabile l'incremento delle superfici non coltivate. Una ridu-

zione delle superfici coltivate a frumento duro sarebbe fortemente negativa, per l'immagine internazionale delle produzioni di pasta "made in Italy".

D'altro canto ciò comporterà un maggior ricorso alla rotazione ed una notevole riduzione della monosuccessione, il che produrrà effetti positivi sulla qualità delle produzioni. Questa riforma offre, inoltre, un'ulteriore opportunità di qualificazione delle produzioni italiane di frumento duro introducendo il premio qualità che potrebbe anch'esso costituire uno strumento importante per la crescita del settore e per definire il primato italiano nella produzione di frumento duro nel mondo.

1.2 Tipologie della qualità. Qualità del prodotto, certificazione e rintracciabilità

Le tipologie della qualità del frumento duro variano in relazione al segmento della filiera considerato ed alla tipologia di prodotto trasformato (tabella 4). Come è noto, esiste una qualità agronomica legata alla potenzialità, alla stabilità ed alla qualità produttiva, una qualità molitoria legata alla resa in semola, al contenuto in ceneri, al grado di umidità della granella ed alle impurezze, una qualità tecnologica che varia in relazione alla tipologia del prodotto trasformato e che dipende essenzialmente dal contenuto proteico, dalla qualità del glutine e dal colore giallo ed, infine, una qualità igienico-sanitaria, sensoriale e di servizio per il consumatore (Troccoli et al., 2000).

Questo compendio delle caratteristiche intrinseche del prodotto non è, però, più sufficiente a fornire una visione olistica della qua-

lità, come estesamente illustrato da Ruggiero e Maggio (2004). È sempre più frequente, infatti, che elementi che non si riferiscono al prodotto, ma al contesto di produzione influenzino la percezione della qualità da parte del consumatore (Peri, 1998). In particolare sono importanti tre requisiti: l'origine territoriale e la cultura, l'ambiente e la sua protezione e la deontologia dei sistemi produttivi. Questi potrebbero essere definiti requisiti psicologici che, insieme ai requisiti di qualità intrinseci (di sicurezza, merceologici, nutrizionali e sensoriali), riguardano il prodotto come alimento. Ci sono, infine, dei requisiti di garanzia che considerano il prodotto come oggetto di mercato e sono la certificazione di terza parte e la rintracciabilità di azienda e di filiera (tabella 5). I sistemi di garanzia di qualità costituiscono attualmente lo sviluppo più importante dei sistemi produttivi.

Negli ultimi anni, in tutti i settori agroalimentari, è stata avviata una politica di grande attenzione verso metodi di produzione che garantiscano al consumatore la qualità del prodotto (sistemi di qualità certificata) attraverso una rigorosa organizzazione ed un accurato controllo di tutte le fasi produttive. Anche nella filiera del frumento duro questi sistemi hanno trovato applicazione, come dimostra l'ottenimento del marchio DOP per il pane di Altamura ed il crescente sviluppo della filiera della pasta biologica (Pilone, 2002). La qualità della

produzione del frumento duro è sempre più determinante per il valore commerciale del prodotto che, come ben noto, può fluttuare da un anno all'altro in relazione alle variazioni dei fattori pedoclimatici ed agronomici che, oltre alla componente genetica, incidono fortemente sugli aspetti quantitativi e qualitativi della produzione. I risultati del monitoraggio qualitativo realizzato in Italia dal 1998 al 2004, infatti, hanno messo in luce, sia la presenza di una notevole variabilità fra gli anni, sia notevoli differenze negli standard qualitativi fra diverse zone geografiche in relazione al sistema di coltivazione ed agli interventi agronomici (D'Egidio et al., 2005a).

In Italia, per garantire una corretta gestione della qualità, sono state sviluppate procedure che includono il monitoraggio e la valutazione delle proprietà tecnologiche e strutturali della granella, in modo da garantire all'utilizzatore, orientato alla ricerca di un prodotto con caratteristiche qualitative costanti, quantitativi di materia prima qualificata sulla base dei requisiti richiesti (Sgrulletta et al., 2004). Nel comparto del frumento duro, infatti, la qualificazione della granella subito dopo la raccolta al momento del conferimento per l'ammasso, è un aspetto essenziale del sistema qualità perchè permette di differenziare correttamente le partite di qualità superiore e di realizzare lotti di qualità omogenea.

La Commissione Europea ha predisposto il libro bianco per la sicurezza alimentare che, fra i numerosi obiettivi da raggiungere, si è prefisso prioritariamente di comprendere la fase della produzione agricola a pieno titolo nella filiera alimentare da sottoporre a controllo per garantire gli alimenti "dalla fattoria al piatto" e di adottare sistemi di rintracciabilità; questi ultimi, in conformità con il regolamento UE n. 178/2002, consentono di individuare i flussi delle merci, gli operatori che concorrono alla formazione di un alimento e di attribuire le relative responsabilità. La tracciabilità permette di registrare informazioni sul prodotto da monte a valle della filiera, mentre per rintracciabilità s'intende la possibilità di raccogliere informazioni risalendo la filiera da valle a monte. In particolare la filiera cerealicolo-molitorio-pastaria, schematizzata in figura 2, presenta alcune caratteristiche che rendono problematica l'applicazione delle procedure di rintracciabilità e po-

Tabella 5. Caratteristiche qualitative di frumento duro e derivati in relazione al prodotto, al contesto produttivo ed ai requisiti di garanzia.

Table 5. Quality characteristics of durum wheat grain and by-products in relation to the product, the cultivation environment and quality certification.

Requisiti del prodotto
<ul style="list-style-type: none"> • Sicurezza (assenza di residui, basso contenuto in metalli pesanti etc.) • Nutrizionali (contenuto in macronutrienti, micronutrienti e composti bioattivi) • Tecnologici (contenuto proteico, indice di glutine etc.)
Requisiti del contesto produttivo
<ul style="list-style-type: none"> • Origine territoriale, tradizione • Rispetto per l'ambiente (produzione integrata e biologica)
Requisiti di garanzia
<ul style="list-style-type: none"> • Certificazione (prodotti DOP, IGP e marchi collettivi) • Rintracciabilità (reg. UE n. 178/2002)

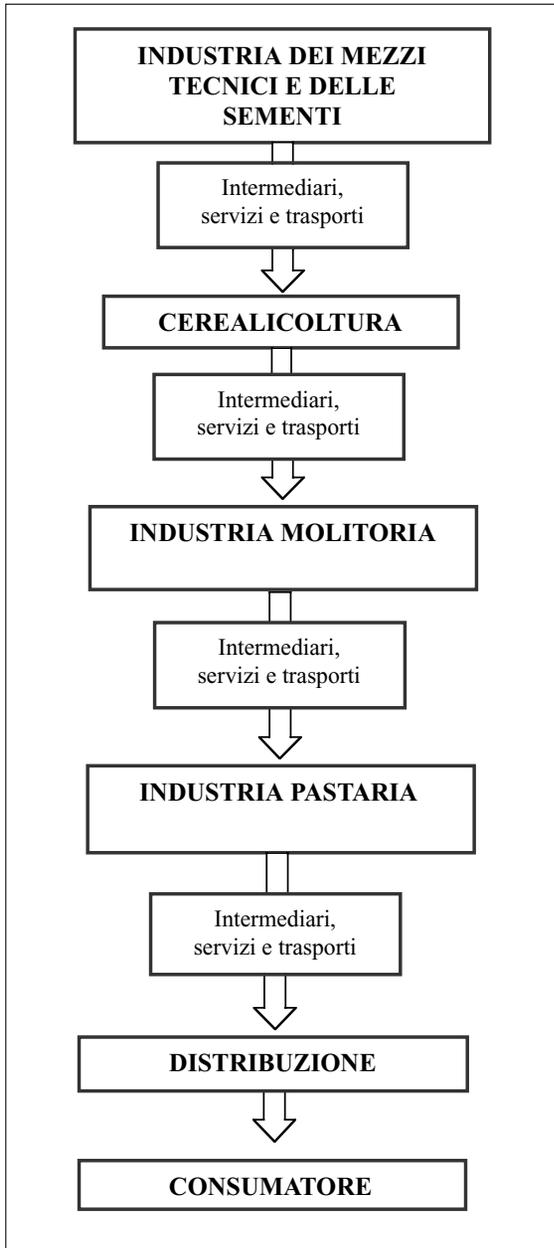


Figura 2. Schema della filiera cerealicolo-molitorio-pastaria (modificato da Zanni, 2003).

Figure 2. Flowchart of pasta chain (modified from Zanni, 2003).

co diffusa la cultura della tracciabilità presso gli operatori (Zanni, 2003). La ragione principale di tali problemi riguarda il fatto che le materie prime che caratterizzano questa filiera (granello, semola etc.) sono tipicamente delle *commodities* utilizzate in masse di grandi dimensioni soggette a frequenti miscele e frazionamenti

lungo la catena produttiva e per di più con valori aggiunti per unità di volume piuttosto ridotti.

Ciò comporta che in questa filiera, rispetto a molte altre, la rintracciabilità costa di più e rende di meno: conseguentemente il margine di redditività si restringe particolarmente e con esso la probabilità di una reale convenienza ad adottare questa innovazione organizzativa. Da quanto esposto emerge, quindi, che la qualità del frumento duro è un sistema complesso che sarebbe riduzionistico limitare ai singoli aspetti nutrizionali, di mercato o di sicurezza. È opportuno, invece, considerarla come un modello comprensivo di tutti gli elementi essenziali necessari a definire i diversi requisiti di qualità per aziende produttrici, consumatori e sistemi di controllo (figura 3). In questa nota si focalizzerà l'attenzione su due aspetti della qualità, quello nutrizionale e quello tecnologico, rimandando per gli altri aspetti all'ampia letteratura esistente a riguardo. In particolare verrà caratterizzata la qualità del frumento duro in relazione alla tipologia del prodotto di trasformazione e verranno valutate le influenze dei principali fattori ambientali sui caratteri qualitativi. Non verranno, invece, prese in esame le influenze genetiche e della tecnologia di trasformazione sulla qualità del frumento duro.

Quando le informazioni sul frumento duro sono risultate insufficienti, sono stati utilizzati anche dati relativi al frumento tenero.

2. Prodotti di trasformazione del frumento duro e qualità della materia prima

Il frumento duro costituisce la principale materia prima per la produzione di pasta, couscous, burghul ed altri prodotti tipici in WANA e per la produzione di pane lievitato e non nel Mediterraneo. In altri Paesi il frumento duro è usato per produrre un'ampia gamma di prodotti (*chapatis* nel sub-continente indiano, pane lievitato nel Caucaso, *tortillas* e *mote* in America Meridionale e Centrale) e spesso costituisce un'importante fonte alimentare (Peña e Pfeiffer, 2005). In America Settentrionale, inoltre, il frumento duro è usato anche come materia prima per prodotti estrusi da colazione. La tendenza a livello mondiale è un incremento nei consumi di tali prodotti che sono un gruppo

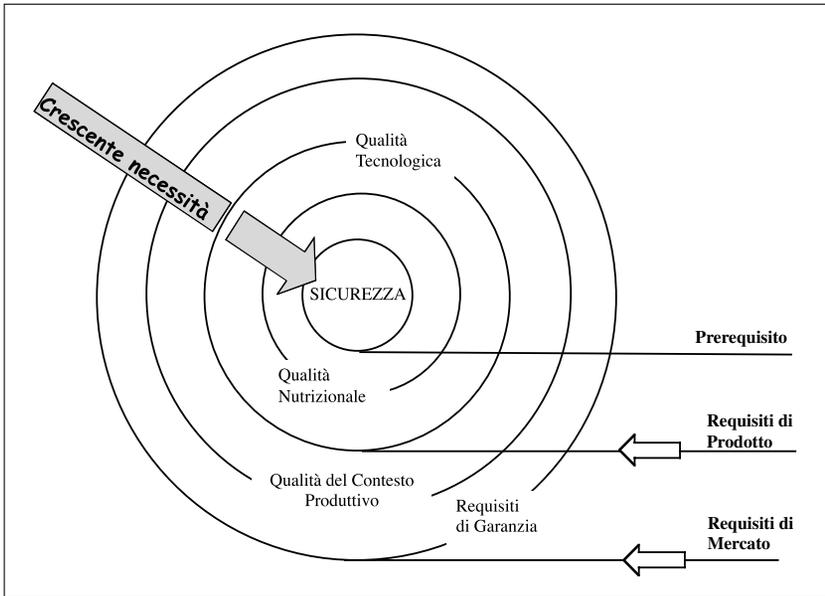


Figura 3. Rappresentazione schematica dei diversi requisiti qualitativi del frumento duro.

Figure 3. Flowchart of durum wheat quality aspects.

importante di cibi salutistici, bilanciati e nutritivi. Poca ricerca è stata condotta su cibi tradizionali basati sul frumento duro, come pane non lievitato, couscous, burghul o frekeh. In molte regioni industrializzate, in particolare in Nord America, Europa Meridionale ed Australia, il frumento duro è esportato come materia prima o come pasta trasformata industrialmente ed un crescente numero di Paesi meno industrializzati esporta il frumento duro regolarmente. Le caratteristiche qualitative della granella di frumento duro di una determinata origine sono specifiche e riflettono le caratteristiche varietali e le condizioni di coltivazione. La qualità del frumento duro influenza direttamente la qualità dei prodotti trasformati. Risulta, perciò, necessario raggiungere livelli soglia di qualità per ottenere proprietà di trasformazione e di cottura idonee per la preparazione dei diversi prodotti di trasformazione. L'utilizzo di varietà di elevata qualità è un prerequisito nei Paesi produttori, specialmente per quelli che competono sul mercato d'esportazione. Tratti qualitativi economicamente importanti (vitrosità, durezza, colore giallo, quantità e qualità delle proteine) sono sotto controllo genetico, ma possono essere modificati da fattori climatici ed agronomici. Di seguito verranno esaminate le caratteristiche qualitative dei principali prodotti di trasformazione del frumento duro.

2.1 La semola

La granella di frumento duro è di colore giallo ambrato (esistono anche forme con pericarpo da rosso a purpureo) ed ha un aspetto vitreo (non opaco); presenta, inoltre, una dimensione generalmente maggiore (in media di circa il 20% nelle varietà commerciali) ed un endosperma molto più duro rispetto al frumento tenero. Queste caratteristiche determinano l'idoneità del grano duro alla molitura in semola. L'elevato peso ettolitrico e la dimensione della cariosside sono fattori importanti associati alla qualità molitoria (Dexter et al., 1991; Novaro et al., 2001). Secondo Peña e 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, un importante carattere commerciale, generalmente non dovrebbe superare lo 0,7%; in molti Paesi il limite massimo è fissato per legge. 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 estrazione.

Tuttavia anche il contenuto minerale della granella, influenzato da fattori genetici ed ambientali, può condizionare il contenuto in ceneri dello sfarinato (Winfield, 1989). I principali fattori in grado di influenzare negativamente la resa in semola sono la bianconatura (dovuta a porzioni di endosperma amidaceo a basso tenore proteico), causata da squilibri nella nutrizione azotata (Matsuo e Dexter, 1980) e la volpatura (scurimento del lato embrionale), dovuta ad attacchi di patogeni quali *Bipolaris* spp., *Cladosporium* spp. ed *Alternaria* spp. o da eventi biochimici implicanti la produzione di acido ferulico in maturazione (Kaan et al., 1998).

La volpatura può aggiungere punti scuri non desiderabili a semola, pasta, pane, couscous e burghul.

2.2 La pasta

La pasta è il prodotto di trasformazione del frumento duro di gran lunga più apprezzato nel mondo ed il suo consumo è stato anche raccomandato dalle linee guida dell'USDA-HHS (U.S. Department of Agriculture – Health and Human Services) come fonte ottimale di carboidrati complessi. L'elevato valore nutritivo si ritiene sia anche legato ad un elevato contenuto in carotenoidi e ad una bassa attività lipossigenasica (Pagnotta et al., 2005). L'interesse crescente a livello mondiale per la pasta è testimoniato dalla lunga lista di Paesi produttori di tale prodotto (tabella 6).

Come è noto, oltre all'Italia che detiene il primato produttivo con 3.127.598 t e ad un gruppo di Paesi europei vicini geograficamente e culturalmente all'Italia, elevate produzioni sono raggiunte dagli Stati Uniti (secondi produttori) e da Paesi latino-americani. In Italia, inoltre, poco meno della metà degli sfarinati prodotti è utilizzata per l'esportazione (tabella 7). La versatilità della pasta, 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. I Paesi caratterizzati dai maggiori consumi di pasta sono elencati in tabella 8. Anche relativamente ai consumi di pasta, l'Italia detiene il primato mondiale con 28 kg pro-capite.

Pasta è un nome generico dato ad una gamma di prodotti generalmente noti come spaghetti, maccheroni e tagliatelle a nido. Gli in-

Tabella 6. Stima della produzione mondiale di pasta (UN.I.P.I., 2004).

Table 6. Estimate of pasta world production (UN.I.P.I., 2004).

Paesi	Quantità * (t)	Paesi	Quantità (t)
Italia	3.121.598	Portogallo	69.228
Stati Uniti	1.165.000	Ungheria	65.000
Brasile	1.001.000	Romania	52.600
Russia	858.400	Svizzera	50.942
Turchia	512.000	Australia	50.000
Egitto	400.000	Repubblica Ceca	48.755
Venezuela	325.000	Bolivia	43.000
Germania	290.000	Repubblica Dominicana	40.000
Messico	257.948	Austria	37.803
Spagna	247.000	Guatemala	36.000
Francia	243.596	Ecuador	32.000
Perù	226.931	Regno Unito	31.000
Canada	170.000	El Salvador	25.000
Argentina	160.000	Repubblica Slovacca	22.000
Polonia	150.000	Giordania	20.000
Grecia	145.000	Svezia	19.150
Giappone	144.500	Costa Rica	14.000
Cile	129.426	Siria	9.005
Colombia	115.000	Panama	7.000
Tunisia	110.000	Lituania	5.976
India	100.000	Lettonia	1.845
Belgio/ Lussemburgo	99.500	Estonia	1.400

* I valori si riferiscono alla produzione di pasta secca al dettaglio, per uso da ristorazione ed industriale.

gredienti basilari della pasta sono la semola e/o la farina di grano duro ed acqua. Uova intere o bianchi d'uova sono talvolta parte della formula di base nel caso di paste speciali. Commer-

Tabella 7. Utilizzazioni degli sfarinati di frumento duro prodotti dall'industria molitoria nazionale (ITALMOPA, 2005).

Table 7. Use of durum wheat semolina produced by the Italian milling industry (ITALMOPA, 2005).

Ripartizione delle utilizzazioni	'01-'04 (t)	Valori %
1) per il mercato interno		
per pasta	1.618.750	47,7
per pane	222.500	6,6
per usi domestici	10.750	0,3
import semole	-28.750	-0,8
import pasta (eq. semola)	-18.750	-0,5
Totale mercato interno	1.804.500	53,2
2) per esportazione		
export semole	77.750	2,2
export pasta (eq.semola)	1.508.250	44,5
Totale esportazione	1.586.000	46,8
Totale	3.390.500	100

Tabella 8. Stima dei consumi di pasta nei diversi Paesi (UN.I.P.I., 2004).

Table 8. Estimate of pasta consumption in different Countries (UN.I.P.I., 2004).

Paesi	Quantità (kg)	Paesi	Quantità (kg)
Italia	28,0	Repub. Dominicana	5,0
Venezuela	13,0	Bolivia	4,8
Tunisia	11,7	Olanda	4,4
Svizzera	9,8	Lituania	4,4
Stati Uniti	9,0	Lettonia	4,1
Grecia	8,7	El Salvador	4,1
Perù	8,4	Australia	4,0
Cile	8,3	Israele	4,0
Svezia	8,0	Costa Rica	3,5
Francia	7,5	Finlandia	3,2
Germania	6,8	Guatemala	3,0
Portogallo	6,7	Polonia	3,0
Repubblica Ceca	6,5	Colombia	2,8
Ungheria	6,5	Romania	2,7
Canada	6,3	Equador	2,6
Argentina	6,0	Regno Unito	2,5
Austria	6,0	Messico	2,4
Russia	6,0	Panama	2,4
Brasile	5,5	Danimarca	2,0
Belgio/Lussemburgo	5,4	Libia	2,0
Turchia	5,4	Giappone	1,7
Estonia	5,3	Egitto	1,2
Spagna	5,0	Irlanda	1,0
Repub. Slovacca	5,0		

cialmente 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 (Donnelly, 1991). 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. La pasta ripiena è fatta con fogli di pasta fresca tagliati della forma desiderata, farciti con carne, formaggio e verdure, sigillati e seccati o confezionati freschi. 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 una rete di proteine viscoelastica, insolubile alla cottura, che intrappoli i granuli di amido e che prevenga rotture strutturali, disintegrazione della superficie della pa-

sta 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% (Dexter et al., 2001b; Giannibelli et al., 2001). 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 (Kovacs et al., 1994; Liu et al., 1996; Marchilo et al., 1998). A basse temperature di essiccazione il contenuto proteico della granella e la qualità proteica sono le principali componenti della qualità pastificatoria (Grybowski e Donnelly, 1979; Dexter e Matsuo 1980; Dick e Matsuo, 1988; D'Egidio et al., 1990; Novaro et al., 1993), mentre ad alte temperature quest'ultima dipende solo dal contenuto proteico (D'Egidio e 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). Un elevato contenuto di questi pigmenti è in grado di conferire un intenso colore giallo brillante alla pasta ed è una proprietà molto apprezzata dal mercato. Tuttavia 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). Trono et al. (1999) hanno trovato una significativa 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 (Feillet, 1988).

Per concludere è importante segnalare l'interesse crescente nella produzione di paste funzionali. Gli alimenti funzionali sono 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.

L'aggiunta di ingredienti non tradizionali, però, influenza le proprietà sensoriali e di cottura della pasta. Paste funzionali ottenute aggiungendo alla semola fruttani e germe di frumento duro delipidizzato associano ad interessanti proprietà nutrizionali (Fratianni et al., 2004) anche una qualità di cottura paragonabile alle paste di sola semola (Marconi, 2004).

Anche la pasta arricchita con orzo ha mostrato una buona qualità di cottura (Marconi et al., 2003). Al contrario, la pasta fatta con frumento integrale ed arricchita con fibra di pisello ha mostrato una ridotta tenuta alla cottura (Edwards et al., 1995). Rayas-Duarte et al. (1996), infine, hanno riportato che la pasta arricchita con sfarinato di grano saraceno, amaranto o lupino potrebbe conservare un'accettabile qualità pastificatoria e buoni requisiti sensoriali.

2.3 Couscous e burghul

Couscous e burghul sono i più importanti alimenti tradizionali nella regione del WANA (Nachit, 1998). Il couscous è il piatto nazionale e l'alimento di base nei Paesi del Nord Africa (Qarooni, 1994); la prevalenza di couscous come piatto locale è stata usata per definire i confini del Maghreb. Il couscous, preparato cuocendo a vapore piccoli agglomerati di semola, è mangiato con i vegetali, con la carne o con lo zucchero (come dolce). Per fare il couscous la semola è inumidita durante l'impasto per formare aggregati che sono poi cotti a vapore e, se non mangiati immediatamente, seccati al 10-12% di umidità. Il couscous di elevata qualità dovrebbe presentare un buon assorbimento di salsa per acquisire gusto e "texture" che sono influenzati da durezza della granella, dimensione degli aggregati di semola e contenuto proteico della granella (Quaglia, 1988). Il colore giallo del couscous è associato ad elevata qualità, soprattutto per il couscous prodotto in larga scala e venduto in pacchi nelle aree urbane (Kaan et al., 1998).

Il burghul è largamente consumato nel Medio Oriente (Williams et al., 1984; Qarooni, 1994; Nachit, 1998) e per la sua preparazione il frumento duro è preferito al tenero per la durezza ed il colore ambrato. Il nome burghul è usato per granella di frumento duro imbibita e poi bollita in acqua in eccesso. La granella cotta è successivamente seccata (al 10-12% di umidità, come il couscous). Sfregando e schiaccian-

do il prodotto precotto in un mortaio in pietra gli strati esterni di crusca della granella seccata vengono rimossi. I pezzi grossolani finali di granella sono detti burghul, ingrediente basilare di diversi piatti regionali. Il burghul è prodotto industrialmente per soddisfare l'ampia domanda delle aree urbane della regione e degli USA (Qarooni, 1994). Durezza e vitrosità della granella, contenuto proteico ed in parte la forza del glutine, influenzano l'agglomerazione, l'assorbimento e la *texture* del couscous, così come la ruvidità e la *texture* del burghul. Gli attributi esterni della granella ed il contenuto in pigmenti gialli possono influenzare l'accettabilità del prodotto finito.

È ormai ampiamente accettato che le caratteristiche qualitative della granella richieste per produrre pasta di qualità siano accettabili per produrre couscous e burghul di alta qualità (Williams et al., 1984; Kaup e Walker, 1986; Debbouz et al., 1994; Elias, 1995).

2.4 Il pane

Il pane di grano duro, lievitato e non, è consumato principalmente nei Paesi Mediterranei e nell'Asia Occidentale (Quaglia, 1988; Nachit, 1998). A seconda del tipo di pane, la materia prima può essere costituita da semola, miscela semola-farina, farina, sfarinato integrale (Quaglia, 1988; Boyacioglu e D'Apollonia, 1994) o da una combinazione di sfarinati di grano duro e tenero. Ci sono differenze nei requisiti qualitativi richiesti, nelle condizioni di processo e nelle proprietà del prodotto finito fra i diversi tipi di pane.

Il pane lievitato è diffuso soprattutto in Italia, Grecia ed Azerbaïjan (Quaglia, 1988; Boyacioglu e D'Apollonia, 1994). È prodotto con sfarinati viscoelastici che, a seguito di lievitazione, forniscono un pane più o meno espanso. Un basso rapporto fra crosta e mollica caratterizza i pani lievitati. La combinazione della formula, delle proprietà viscoelastiche del glutine, la lunghezza della fase fermentativa e le condizioni di cottura determinano dimensione, volume, spessore della crosta e struttura della mollica di un dato tipo di pane. Fra i numerosissimi tipi di pane prodotti in Italia, il più diffuso e rinomato è il pane di Altamura che è il primo prodotto in Europa a fregiarsi del marchio DOP nella categoria merceologica "panetteria e prodotti da forno". Il pane di Altamura caratterizzato da colore giallo, crosta croccante, mollica soffice e po-

rosa e lunga conservabilità è prodotto da rimacinato di semola di frumento duro ottenuta dalle varietà Appulo, Arcangelo, Duilio e Simeto coltivate nel territorio delimitato nel disciplinare di produzione.

In Italia Meridionale, inoltre, sono diffusi altri prodotti di trasformazione del frumento duro quali le frise o friselle in provincia di Salerno, Foggia, Bari e Lecce (Quaglia, 1988).

Il frumento duro nel WANA è prevalentemente usato per preparare una varietà di pani locali non lievitati o *flat breads* (Nachit, 1998). Il grano duro è usato da solo o miscelato con frumento tenero per preparare pani non lievitati come *chapatis* e *naan* in India (Prabhavathi et al., 1976; Misra, 1998) e *tortillas* di farina nel Messico Nord-Occidentale. Nella regione del WANA i pani non lievitati di frumento duro sono simili nella preparazione e negli attributi generali a quelli preparati con frumento tenero, ma sembrano mantenere più a lungo la freschezza poiché la farina di frumento duro ha maggiore capacità di assorbimento idrico rispetto a quella del tenero. In WANA le caratteristiche aromatiche di questi pani sono requisiti qualitativi importanti, in India ed in Messico il colore giallo intenso non è gradito.

Generalmente i pani hanno una forma ovale o tonda e possono essere a singolo o a doppio strato. Sono caratterizzati da un elevato rapporto fra crosta e mollica (Faridi, 1988), possono essere sottili (meno di 1 cm come *chapatis* e *tortillas*) o spessi (4-6 cm come *naan*, *baladi* e *pita*). Parecchi tipi di *flat breads* sono diventati prodotti industriali e gli standard qualitativi devono soddisfare le richieste dei *fast food* o la convenienza dell'industria alimentare. È il caso del *baladi* e del *khobz* (Faridi, 1988). Ciò richiede frumento duro con attributi qualitativi fisici e chimici ben definiti e costanti, essendo la composizione proteica la caratteristica principale. Diversi studi (Dexter et al., 1981; Quick e Crawford, 1983; Boggini e Pogna, 1989; Peña et al., 1994; Marchilo et al., 1998; Ammar et al., 2000; Peña, 2000; Dexter et al., 2001a e b) hanno mostrato che la qualità panificatoria del frumento duro, come nel caso del tenero, è fortemente influenzata dalle proprietà viscoelastiche dell'impasto e dalla composizione delle proteine del glutine. Generalmente un glutine forte o mediamente forte è necessario per produrre un'appropriata viscoelasticità dell'impasto, un

soddisfacente volume e buone caratteristiche della mollica. Altri studi hanno confermato che le varietà di frumento duro o le farine con una maggiore estensibilità dell'impasto tendono a mostrare una migliore attitudine alla panificazione di quelle con carattere di tenacità (Boggini et al., 1994; Peña et al., 1994; Ammar et al., 2000; Peña, 2000; Dexter et al., 2001a e b). È stato dimostrato che la composizione in subunità gluteniniche ad alto peso molecolare influisce prioritariamente sulla qualità panificatoria (Boggini e Pogna 1989, Peña et al. 1994; Liu et al., 1996; Ammar et al., 2000); tuttavia, anche le subunità gluteniniche a basso peso molecolare possono avere un ruolo importante (Gupta e MacRitchie, 1994; D'Ovidio e Masci, 2004). Sembra che i frumenti duri caratterizzati da una maggiore forza del glutine possano formare impasti troppo tenaci per la panificazione (Ciaffi et al., 1995; Ammar et al., 2000). Le caratteristiche varietali influenzano marcatamente la qualità panificatoria. Come è noto la maggior parte delle moderne cultivar di grano duro sono state selezionate per l'attitudine pastificatoria e presentano generalmente un glutine poco tenace e poco estensibile, non particolarmente idoneo alla panificazione (Rao et al., 2001; Palumbo et al., 2002). In Italia, tuttavia, è stata condotta una notevole attività di miglioramento genetico (Boggini et al., 2003b) oltre che numerosi studi di confronto varietale relativamente alla qualità panificatoria (Palumbo et al., 2003) del frumento duro.

3. Determinati di qualità tecnologica ed influenze ambientali

3.1 Struttura e composizione della cariosside

La cariosside è un frutto secco indeiscente in cui i tessuti del pericarpo sono concresciuti e saldati con quelli del seme (figura 4). Essa è costituita dall'endosperma (87-89%), dall'embrione (2-4%) e dai tegumenti o involucri (8-10%).

L'embrione o germe consta di due parti principali, l'asse embrionale e lo scutello ed entra a far parte dei sottoprodotti della molitura. L'endosperma, da cui deriva la semola, è formato da uno strato aleuronico esterno e da un parenchima interno contenente principalmente amido (60-70%) e proteine di riserva (8-18%). L'endosperma amilaceo contiene, inoltre, piccole percentuali di lipidi, sostanze minerali, poli-

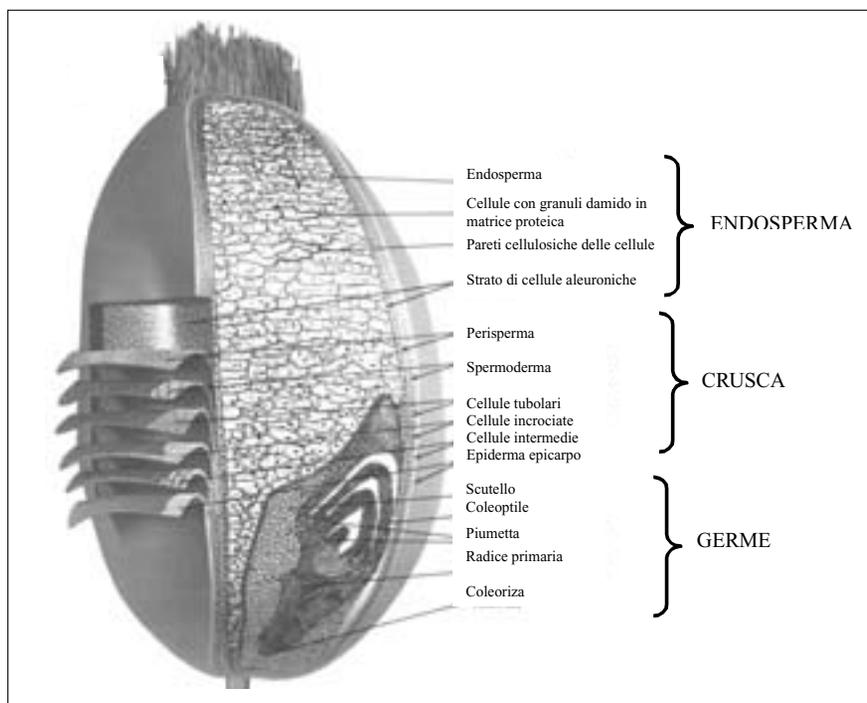


Figura 4. Struttura della cariosside di frumento duro.

Figure 4. Durum wheat kernel structure.

saccaridi non amidacei e composti fenolici a basso peso molecolare. La crusca, una delle principali frazioni ottenute con la molitura, costituisce il 14-16% del peso della cariosside e comprende pericarpo e testa, costituiti da diversi strati. La composizione chimica della cariosside è riportata in tabella 9. Di seguito verranno analizzati i determinanti di qualità tecnologica e nutrizionale delle semole ed i composti ad azione salutistica della granella integrale di frumento duro.

Dell'endosperma i primi componenti ad essere indagati sono stati i granuli di amido, strutture complesse e composte da diversi polimeri costituiti soprattutto da amilosio ed amilopectina, ma anche da proteine e lipidi. Attualmente non solo l'interesse per l'amido si mantiene ancora vivo, ma si è addirittura accresciuto dato il rinnovato interesse per le caratteristiche nutrizionali (includenti la produzione di amido resistente), la trasformazione in etanolo e le trasformazioni geniche (sviluppo di amidi "waxy"). Anche composizione e funzione delle proteine dell'endosperma sono state ampiamente indagate soprattutto in relazione agli aspetti tecnologici, come riportato nel paragrafo successivo.

Meno indagati, invece, risultano i costituenti delle pareti cellulari dell'endosperma; questi

Tabella 9. Composizione chimica e valore energetico della granella di frumento duro (per 100 g di prodotto). Fonte: INRAN.

Table 9. Chemical composition and caloric value of durum wheat grain (relative to 100 g). INRAN data.

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

ultimi contengono uno spettro di polimeri non amidacei che determinano la struttura, influenzano l'idratazione ed influiscono sul trasporto di enzimi idrolitici e nutrienti durante lo svi-

luppo e la germinazione della cariosside (Fulcher e Duke, 2002). Pur costituendo le pareti delle cellule dell'endosperma solo una piccola frazione del peso secco della granella, sono oggetto di un crescente interesse per il riconoscimento di benefici nutrizionali apparentemente unici derivati da queste e da altre componenti "minori". La modifica dei processi tecnologici tradizionali può incrementare sia il valore aggiunto che il potenziale nutrizionale ed industriale di nuovi estratti di cereali.

L'estrazione di antiossidanti, di pentosani solubili o formanti gel e di β -glucani sono solo alcuni dei molti esempi. I polimeri non amidacei nei cereali, inoltre, forniscono un contributo significativo sia alla fibra solubile che a quella totale il cui ruolo nel ridurre il rischio di patologie croniche è ormai accertato e verrà discusso in seguito.

Nonostante molto sia stato indagato sulle relazioni fra struttura e funzione dell'endosperma, minore interesse è stato rivolto alla composizione di germe e crusca, sebbene queste due componenti contribuiscano a circa il 20% del peso della frazione finale dopo la molitura tradizionale. Ciò è dovuto al fatto che queste frazioni costituiscono solo una piccola percentuale del totale valore economico del frumento molito, mentre all'endosperma è attribuito il 90% del valore (Fulcher e Duke, 2002).

È ormai risaputo, tuttavia, che le frazioni di pericarpo e germe derivate dalla molitura convenzionale forniscono la maggioranza dei composti biologicamente attivi della granella. L'elevato valore nutrizionale e salutistico è dovuto, oltre che all'elevato contenuto in vitamine del

gruppo B (tiamina, niacina, riboflavina ed acido pantotenico), minerali (calcio, magnesio, potassio, fosforo, sodio e ferro) ed amminoacidi essenziali (arginina e lisina), anche agli alti livelli di fibre alimentari e composti antiossidanti di cui verrà riferito nel paragrafo 4.1.

È, tuttavia, da segnalare che gli strati esterni della cariosside, pur assumendo un'importanza basilare nella prevenzione di tumori del colon, aterosclerosi e colesterolemia, contengono anche fattori antinutrizionali (tannini, fitati e resorcinoli), il cui livello andrebbe ridotto mediante il miglioramento genetico e della tecnologia di trasformazione (Buonocore e Silano, 1993).

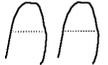
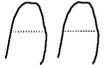
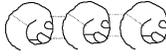
Sembra, infine, che alcuni degli antiossidanti più concentrati nella crusca di cereali (acido ferulico, cumarico, derivati dell'acido cinnammico e flavonoidi) possano contribuire anche ad alcune delle resistenze della granella agli attacchi fungini. Mc Keehen et al. (1999) hanno notato che i livelli di acido ferulico e di altri acidi cinnammici nella crusca mostrano qualche relazione con le differenze osservate nella suscettibilità di diverse cultivar di frumento all'infezione da *Fusarium*. Ciò potrebbe costituire un vantaggio anche per la qualità igienico-sanitaria della granella che potrebbe contenere livelli più bassi di residui e di micotossine.

3.2 Influenza della composizione proteica sulla qualità pastificatoria e panificatoria

Le proteine della granella di frumento duro sono tradizionalmente separate sulla base della loro solubilità in albumine, globuline, gliadine e glutenine (tabella 10). La prime due frazioni

Tabella 10. Composizione delle proteine dell'endosperma in frumento duro (modificato da Feillet, 1980).

Table 10. Protein composition of durum wheat endosperm (modified from Feillet, 1980).

Gruppo	Solubilità	Struttura	Proprietà	Contenuto (%)
Albumine	Acqua		Enzimatiche	15-20
Globuline	Soluzione salina		Emulsionanti	
Gliadine	70% etanolo	 basso PM	Estensibilità	40
Glutenine	Acidi, basi	 alto PM (> 100,000)	Elasticità e tenacità	40

consistono di proteine aventi prevalentemente una funzione strutturale e metabolica, sebbene esse sembrino avere anche una funzione di riserva (Gupta et al., 1996).

Gliadine e glutenine, che costituiscono fino all'80% delle proteine totali della semola, sono esclusivamente proteine di riserva che formano il glutine e conferiscono proprietà di elasticità ed estensibilità essenziali per la qualità dello sfarinato (Shewry, 1995; Shewry e Halford, 2002). Le gliadine sono monomeriche, costituiscono dal 30% al 40% delle proteine totali della semola e sono una miscela polimorfa di proteine solubili in alcool al 70%. Esse hanno una dimensione variabile da 30 a 60 KDa e possono essere separate nei sottogruppi α , γ ed ω , ognuno contenente molte proteine altamente affini (Anderson e Greene, 1997). I polimeri gluteninici consistono di subunità a basso peso molecolare (LMW-GS) comprese tra circa 25 e 55 KDa e legate mediante ponti disolfuro intercatena sia tra loro che a subunità gluteniniche ad alto peso molecolare (HMW-GS) comprese tra i 70 ed i 90 KDa circa. Le LMW-GS hanno sequenze simili alle γ -gliadine (Muller et al., 1998) e comprendono circa il 20-30% delle proteine totali, mentre le HMW-GS rendono conto di circa il 5-10% delle proteine totali (Dupont e Altenbach, 2003).

Shewry et al. (1986) hanno classificato le proteine di riserva ricche in glutammina e prolina (prolammine) in tre gruppi sulla base del contenuto in zolfo: le ω -gliadine povere in zolfo, le HMW-GS con un contenuto intermedio di zolfo, le α e γ -gliadine e le LMW-GS ricche in zolfo (figura 5). Molte albumine e globuline sono ricche in amminoacidi contenenti zolfo.

La qualità pastificatoria e quella panificatoria sono fortemente influenzate dalle proprietà viscoelastiche del glutine che dipendono in larga misura dalla composizione in glutenine e sono sotto stretto controllo genetico. In particolare le HMW-GS sono controllate da geni del complesso *Glu-1* (*Glu A1* e *Glu B1*) localizzati sul braccio lungo dei cromosomi del gruppo 1, e le LMW-GS dal complesso *Glu3* (*Glu A3* e *Glu B3*) ubicato sul braccio corto dei cromosomi del gruppo 1. Un ruolo determinante nel conferire buona qualità tecnologica al frumento duro è stato osservato per le subunità gluteniniche LMW (Payne et al., 1984; Pogna et al., 1988; D'Ovidio e Masci, 2004; Peña e Pfeiffer,

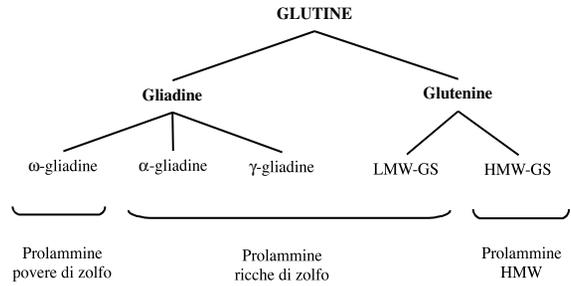


Figura 5. Classificazione delle proteine del glutine in base al contenuto in zolfo (modificato da Shewry et al., 1986).

Figure 5. Classification of gluten proteins in relation to sulphur content (modified from Shewry et al., 1986).

2005). L'analisi della relazione fra le LMW-GS e la forza del glutine, condotta da parte di diversi gruppi di ricerca su germoplasma di frumento duro di diversa origine, ha stabilito che le proteine di tipo LMW-2 conferiscono maggiore forza al glutine e migliori attributi qualitativi di panificazione e pastificazione rispetto alle glutenine di tipo LMW-1 (duCros, 1987; Pogna et al., 1988; Feillet et al., 1989; Peña et al., 1994; Vazquez et al., 1996; Porceddu et al., 1998). Le subunità gluteniniche HMW influenzano, anche se in misura minore rispetto alle LMW, la forza del glutine in grano duro (Boggini e Pogna, 1989; Carrillo et al., 1990; Kovacs et al., 1993; Peña et al., 1994; Peña, 1995; Porceddu et al., 1998). Galterio et al. (1991) e Fares et al. (1997) hanno riportato una correlazione altamente significativa fra le proprietà viscoelastiche del glutine ed il rapporto fra le frazioni gluteniniche HMW-GS+LMW-GS/IMW-GS (subunità gluteniniche a peso molecolare intermedio). Più recentemente (Galterio et al., 2003) è risultata confermata la relazione fra il rapporto LMW-GS/IMW-GS e la qualità del glutine. L'effetto delle subunità gluteniniche HMW-GS sulla forza del glutine è ancora controverso. Tuttavia, ci sono risultati conclusivi che riguardano l'effetto negativo della subunità 20 sulla forza del glutine e sulla qualità panificatoria e pastificatoria (Carrillo et al., 1990; Kovacs et al., 1993; Liu e Rathjen, 1994; Peña et al., 1994; Ammar et al., 2000; Peña, 2000).

Come nel frumento tenero, l'estensibilità dell'impasto e la forza del glutine giocano un ruolo principale nella qualità panificatoria del frumento duro. Alcuni autori (Boggini e Pogna,

Tabella 11. Influenza di alcune variabili ambientali su qualità tecnologica e composizione delle proteine di riserva del frumento duro.

Table 11. Influence of some environmental factors on durum wheat technological quality and storage protein composition.

Variabili ambientali	Parametri tecnologici e composizione proteica
Concimazione azotata	Aumento del W e diminuzione del P/L alveografico Aumento del contenuto proteico Incremento del contenuto in gliadine e glutenine Incremento del rapporto gliadine/glutenine Variazione del rapporto HMW-GS/LMW-GS
Concimazione solfatica	Riduzione della forza dell'impasto Incremento delle LMW-GS e delle gliadine ricche in zolfo (α e γ) Decremento del contenuto in HMW-GS ed in ω gliadine Incremento del numero e della distribuzione dei legami disolfuro intermolecolari
Elevata temperatura	Miglioramento delle caratteristiche tecnologiche ($30^{\circ} \leq T \leq 35^{\circ}\text{C}$) Indebolimento della forza e tenacità del glutine ($T > 35^{\circ}\text{C}$) Aumento del tenore proteico Riduzione del rapporto glutenine/gliadine e dei polimeri a più elevato peso molecolare
Carenza idrica	Miglioramento di alcuni indici tecnologici Incremento del tenore proteico Anticipo nel processo di insolubilizzazione dei polimeri proteici

1989; Peña et al., 1994) hanno riportato che un maggiore volume del pane risulta legato più strettamente alle subunità gluteniniche HMW 7+8 che alle subunità 6+8. Risultati diversi sono stati, però, ottenuti in studi che includevano misure di estensibilità dell'impasto (Ammar et al., 2000; Peña, 2000). Più elevati volumi di pane erano ottenuti con genotipi caratterizzati da una migliore estensibilità dell'impasto (Peña et al., 1994; Ammar et al., 2000; Peña, 2000).

Nonostante albumine e globuline non abbiano un ruolo critico nella qualità della semola, è stata riscontrata una correlazione fra il rapporto albumine/globuline e la qualità panificatoria in uno dei pochi studi effettuati a riguardo (Pence et al., 1954). Inoltre, uno studio suggerisce una relazione fra α -amilasi ed inibitori della tripsina (mal identificati come LMW-GS) e qualità della pasta (Kobrehel e Alary, 1989 a e b). Anche le puroindoline, infine, influenzano la durezza della granella (Morris, 2002).

3.2.1 Influenze ambientali su contenuto proteico e composizione delle proteine di riserva. Sia il contenuto in proteine che la qualità del glutine sono fattori determinanti per la qualità tecnologica dell'impasto (D'Egidio et al., 1990; Novaro et al., 1993; Troccoli et al., 2000). Mariani et al. (1995) hanno dimostrato la netta prevalenza degli effetti ambientali rispetto alla componente genetica sul tenore proteico ed, al con-

trario, un maggiore contributo della componente genetica alla qualità del glutine. Le principali e più indagate condizioni ambientali in grado di condizionare il tenore e la composizione proteica sono le concimazioni azotata e solfatica, la temperatura ed il regime idrico (tabella 11).

Influenza della concimazione azotata. È noto che la concimazione azotata riveste un ruolo chiave nel miglioramento delle caratteristiche tecnologiche della granella (Borghi et al., 1995; Desiderio et al., 1998 e 1999; D'Egidio et al., 2000). È stato, infatti, riportato un miglioramento degli indici tecnologici W alveografico e di sedimentazione in SDS (Fares et al., 1993; Flagella et al., 1997, Flagella et al., 2002; Belocchi et al., 2003; Garrido Lestache et al., 2004; Flagella et al., 2004) associato, però, ad una riduzione del rapporto P/L (Borghi et al., 1997; Garrido Lestache et al., 2004). La concimazione azotata determina un incremento del contenuto proteico (Fares et al., 1993; Peckanek et al., 1997; Flagella et al., 1997; Borghi et al., 1997; Lopez Bellido et al., 1998; Desiderio et al., 1998; Bonciarelli e Ciricofolo, 2001; Lloveras et al., 2001; Flagella et al., 2002; Peressini et al., 2003; Flagella et al., 2005a; Giuzio et al., 2005). Questo è ascrivibile ad un incremento del contenuto in gliadine e glutenine, più marcato per le gliadine, il che comporta un aumento del rapporto gliadine/glutenine (Jia et al., 1996; Wieser

e Seilmeier, 1998; Triboi et al., 2000; Johansson et al., 2001). Con l'incremento della concimazione azotata, infatti, aumenta il rapporto fra i contenuti di azoto e zolfo, il che implica un maggior contenuto in gliadine (a minor contenuto in zolfo) rispetto alle glutenine (a maggior contenuto in zolfo). Più controversi, invece, sono i risultati riportati in letteratura sul rapporto fra HMW-GS e LMW-GS che è risultato aumentare (Pechanek et al., 1997) o rimanere invariato (Triboi et al., 2000) all'aumentare della disponibilità di azoto.

Wieser e Seilmeier (1998), usando RP-HPLC, hanno condotto uno studio quantitativo dettagliato sull'effetto del fertilizzante azotato sulle componenti gliadiniche e gluteniniche in 13 varietà di frumento tenero. All'aumentare della concimazione aumentava la percentuale di proteine del 44-68%. C'erano incrementi di 2-3 volte della quantità di ω -gliadine per milligrammo di farina ed incrementi del 56-101% di HMW-GS, mentre pochi cambiamenti erano osservati in α e γ -gliadine e LMW-GS come percentuale sul totale.

Sebbene il contenuto totale di albumine e globuline sembri non variare con la concimazione azotata, non ci sono studi che verifichino la variazione di componenti singole.

Influenza della concimazione solfatica. Anche l'apporto di zolfo può influenzare significativamente la composizione proteica e la qualità tecnologica della granella.

Il rischio di carenza di zolfo per le colture agrarie è cresciuto considerevolmente negli ultimi anni a causa dei cambiamenti verificatisi nella gestione degli ecosistemi agricoli.

In particolare, l'uso di fertilizzanti azotati concentrati e carenti in zolfo, la riduzione dei livelli di sostanza organica del terreno, l'introduzione di cultivar ad alta resa e le ridotte deposizioni atmosferiche di acidi solforici di origine industriale, possono aver comportato un depauperamento dello zolfo nel terreno in alcune aree geografiche (Shewry et al., 2001). Mentre gli effetti di una carenza di zolfo sulla qualità del prodotto sono stati sufficientemente indagati per il frumento tenero (Moss et al., 1983; Randall e Wrigley, 1986; Wooding et al., 2000a), mancano informazioni sul frumento duro.

Una carenza in zolfo può determinare una riorganizzazione della sintesi proteica nella gra-

nella (Moss et al., 1983). La carenza di zolfo durante la granigione è stata associata ad alterazioni nei rapporti fra gruppi di proteine di riserva. Wrigley et al. (1984) hanno dimostrato mediante gel elettroforesi, che in condizioni di carenza di zolfo, si verifica un corrispondente decremento delle LMW-GS, delle gliadine ricche in zolfo (α e γ) e di alcune proteine metaboliche, mentre il contenuto relativo di HMW-GS e di ω -gliadine aumenta. Questa alterazione della composizione proteica comporta un incremento nella forza dell'impasto (Randall e Wrigley, 1986). Recentemente si è osservato anche un incremento del rapporto fra gliadine e glutenine in condizioni di carenza di zolfo (Wieser et al., 2004).

Sono state riscontrate, inoltre, delle significative interazioni fra nutrizione azotata e solfatica in relazione alla qualità tecnologica del frumento tenero. Applicazioni tardive di azoto in assenza di zolfo possono alterare il bilancio fra questi nutrienti in modo tale da rendere i livelli di zolfo inadeguati per un normale sviluppo delle proteine della granella. Wooding et al. (2000a) hanno riportato che un rapporto fra fertilizzante azotato e solfatico 3:1 minimizza il "work input" nella cultivar di frumento tenero Otane, garantendo il mantenimento delle altre proprietà dell'impasto. Questo rapporto, tuttavia, dipende anche dalla disponibilità di azoto e zolfo nel terreno. Estendendo lo studio ad un maggior numero di cultivar, i risultati hanno confermato che un'adeguata fertilizzazione solfatica è necessaria per assicurare un minore tempo d'impasto (Wooding et al., 2000b).

Per il frumento duro la disponibilità di zolfo può essere cruciale ai fini della qualità del prodotto anche relativamente al numero ed alla distribuzione dei legami disolfuro intermolecolari ed alla presenza di residui cisteinici come potenziali siti di legame (Shewry e Tatham, 1997). È stata riscontrata, infatti, una correlazione significativa fra la qualità di cottura della pasta ed il contenuto in ponti disolfuro e gruppi sulfidrilici delle glutenine ricche in zolfo (Kobrehel e Alary, 1989a). Alcuni enzimi quali tioredoxina reductasi e disolfuro isomerasi sembrano essere responsabili dello stato redox dei gruppi SH delle proteine del glutine da cui dipende il livello di aggregazione delle stesse (Ciaffi et al., 1998; De Stefanis et al., 2004). La nutrizione solfatica influenza la dinamica delle forme di glutatione

nella granella modificando il grado di polimerizzazione delle proteine di riserva e, di conseguenza, le proprietà reologiche dell'impasto (Tea et al., 2005). Uno studio condotto anche mediante un approccio proteomico (Flaete et al., 2005) ha messo in luce che le risposte alla concimazione solfatica sono significative soprattutto ad elevate concimazioni azotate, quindi in sistemi ad agricoltura intensiva.

Effetti di elevata temperatura e stress idrico. Gli effetti della temperatura sulla composizione delle proteine di riserva sono complessi e possono variare con il genotipo.

È noto, infatti, che le alte temperature durante la granigione sono responsabili di un incremento del tenore proteico (Jenner, 1994; Denyer et al., 1994). L'elevata temperatura, infatti, può ridurre l'accumulo di carboidrati in misura maggiore rispetto all'accumulo di azoto. Contestualmente la velocità di rilocalizzazione dell'azoto dalle parti vegetative della pianta alla granella aumenta in condizioni di elevata temperatura.

Infine, il tasso di sintesi proteica è stimolato dall'aumento della temperatura, determinando così un più elevato tenore proteico (Troccoli et al., 2000). Relativamente alla qualità proteica, invece, è stato riscontrato che temperature comprese fra i 30 ed i 35 °C possono determinare un miglioramento delle caratteristiche tecnologiche del frumento, mentre temperature superiori a 35° possono provocare un indebolimento della forza e tenacità del glutine (Blumenthal et al., 1991a; Borghi et al., 1995a; Corbellini et al., 1997). Sono stati individuati due meccanismi per spiegare lo scadimento qualitativo del glutine: un decremento del rapporto glutenine/gliadine (Blumenthal et al., 1991b; Blumenthal et al., 1993; Wrigley et al., 1994) a causa dell'inducibilità da elevate temperature dei geni deputati alla sintesi delle gliadine ed una alterazione nella composizione della frazione polimerica dovuta ad una riduzione della quantità relativa di aggregati a più elevato peso molecolare (Blumenthal et al., 1995; Ciaffi et al., 1996; Corbellini et al., 1997).

Negli ambienti mediterranei lo stress idrico, spesso associato ad elevata temperatura nella seconda metà del ciclo biologico, è uno dei principali fattori in grado di condizionare la quantità e la qualità della produzione del frumento duro (Flagella et al., 1995; Flagella et al., 1998;

Morancho, 2000; Troccoli et al., 2000; Flagella et al., 2002).

Mentre molto è stato indagato sull'effetto della temperatura sulla qualità tecnologica della granella, minori informazioni sono disponibili relativamente al deficit idrico. Fares et al. (1993) hanno osservato migliori prestazioni qualitative in condizioni di minori apporti idrici, determinando l'irrigazione un generale scadimento di tutti i parametri considerati. Rharrabti et al. (2003) hanno dimostrato un effetto negativo dell'apporto idrico in fase di granigione sulla qualità della granella. Guttieri et al. (2000 e 2001) hanno osservato una positiva influenza del deficit idrico su alcuni parametri tecnologici, ma anche un maggior contributo della componente genetica sulla qualità.

Se è ben noto l'incremento del tenore proteico che generalmente si associa alla riduzione della resa in condizioni di deficit idrico (Rao et al., 1993; Troccoli et al., 2000), meno noti sono gli effetti sulla composizione proteica. Daniel e Triboi (2002) hanno osservato un anticipo nel processo di insolubilizzazione dei polimeri proteici in condizioni di deficit idrico, mentre non si sono riscontrate variazioni nella composizione proteica a maturazione (Triboi et al., 2003). Recentemente, infine, Flagella et al. (2005a) hanno osservato un miglioramento degli indici tecnologici con il deficit idrico dovuto, oltre che ad un incremento del tenore proteico, anche ad un incremento della frazione gluteninica, delle HMW-GS e della frazione insolubile.

Anche lo stress salino, che spesso si associa a condizioni di deficit idrico nelle zone sub-aride, può influenzare la qualità tecnologica del frumento duro. In particolare è stato riscontrato un incremento del tenore proteico (Francois et al., 1986, Flagella et al., 2000), una riduzione del tenore in ceneri ed un incremento dell'indice di sedimentazione in SDS (Katerji et al., 2005).

3.3 Ruolo dell'amido e dei carboidrati non amidacei sulla qualità tecnologica

L'amido è il principale costituente dell'endosperma e le sue proprietà sono importanti per la qualità dei prodotti di trasformazione. Esso è composto da due tipi di polimeri, l'amilosio (22-36%) lineare e l'amilopectina (65-78%), altamente ramificata.

Il rapporto fra amilosio ed amilopectina determina le proprietà fisico-chimiche e la desti-

nazione d'uso degli sfarinati (Boggini et al., 2001). Una serie di enzimi sintetizza le catene di amilosio ed amilopectina che costituiscono l'amido (Ball et al., 1998; Rahman et al., 2000). Nell'amiloplasto l'ADP glucosio pirofosforilasi trasforma il glucosio 1 fosfato in ADP glucosio che poi è convertito in polimeri di amilosio ed amilopectina da parte di amido sintetasi ed enzimi ramificanti. Nell'endosperma di grano sono stati identificati tre tipi di GBSS (Granule Bond Starch Synthase) anche noti come proteine waxy (Rahman et al., 1995; Denyer et al., 1995; Takaoka et al., 1997). Il secondo gruppo di amido sintasi è sia legato che solubile (SSI) (Denyer et al., 1995).

L'endosperma contiene, inoltre, almeno altre due isoforme solubili (Denyer et al., 1995), ma poco è noto riguardo alle caratteristiche biochimiche di queste amido sintasi solubili ed al loro contributo alla sintesi di amido nell'endosperma.

I polimeri amidacei formano granuli stratificati negli amiloplasti. I granuli grandi di tipo A iniziano a formarsi 4-7 giorni dopo l'antesi ed i granuli più piccoli di tipo B appaiono intorno ai 10-12 giorni (Parker, 1985; Bechtel et al., 1990; Buleon et al., 1998; Peng et al., 1999; LANGEVELD et al., 2000). Molto ancora rimane da indagare per capire come la biosintesi di amido e come la formazione, la dimensione ed il numero di granuli siano regolati nell'endosperma. L'amido ha un ruolo importante nella qualità finale del frumento duro, soprattutto per le tagliatelle a nido ma anche per gli altri formati di pasta a causa delle sue proprietà di gelatinizzazione in acqua calda (Gianibelli et al., 1999). Solo nelle ultime decadi, tuttavia, gli scienziati hanno riconosciuto che variazioni genetiche per caratteristiche dell'amido sono responsabili di cambiamenti nella qualità finale. Le proprietà di gelatinizzazione dell'amido sono molto importanti per una buona qualità di cottura ed il contenuto in amilosio riveste un ruolo cruciale (Dexter e Matsuo, 1979), essendo stata riportata una riduzione della qualità di cottura al diminuire del contenuto in amilosio. L'amilosio è stato ritenuto responsabile di circa il 37% della qualità della pasta (D'Egidio et al., 1983b). Il contenuto in α -amilosio, inoltre, è stato messo in relazione a numerose caratteristiche tecnologiche per pasta a nido di tipo giapponese, includenti temperatura di gelatinizzazione, colore,

texture, gusto e tenuta in cottura (Konic et al., 1992; Miura e Tanii, 1994; Zhao et al., 1998).

Molte di queste caratteristiche sono anche importanti per la produzione di pasta (Landi, 1995). Per un approfondimento degli aspetti genetici e tecnologici si rimanda alla esauriente rassegna di Pagnotta et al. (2005). Pochi studi sono stati condotti, invece, sul ruolo dell'amido in associazione ad altre componenti; in particolare, più lavoro deve essere condotto sulle interazioni proteine ed amido, visto che rivestono una notevole importanza sulle proprietà viscoelastiche dell'impasto (Edwards et al., 2003).

I carboidrati non amidacei, pur essendo importanti determinanti di qualità, sono stati poco indagati; la ragione principale sta nel fatto che è tecnicamente difficile identificare differenze significative fra lotti di granella o farine. I polimeri noti come pentosani sono la principale classe di carboidrati non amidacei d'interesse per il frumento (Peña e Pfeiffer, 2005). Queste molecole sono lunghi polimeri di pentosi xilosi e di galattosio con quantità variabili di arabinosio nelle ramificazioni. I pentosani sono solitamente classificati in solubili ed insolubili. La farina di frumento contiene circa il 2% di pentosani totali e circa lo 0,5-0,8% di pentosani solubili. Il principale interesse nei pentosani è da ricondurre alle loro proprietà altamente idrofobiche e formanti gel. I pentosani possono assorbire acqua fino a 5-10 volte il loro peso. Per alcuni prodotti alimentari questa può essere una qualità desiderabile, per altri, specie quelli a basso tenore di umidità, è, invece, indesiderabile. I trasformatori hanno dovuto in alcuni casi aggiungere pentosanasi esogene per degradare i pentosani e ridurre la loro capacità di trattenere acqua.

3.3.1 Influenza della temperatura sulla biosintesi di amido. La variabile ambientale più studiata in relazione alla sua influenza sull'accumulo di amido nella cariosside di frumento è la temperatura.

La riduzione nell'accumulo di amido ad alta temperatura rende conto delle perdite significative nella resa della granella (Bhullar e Jenner, 1985; Tashiro e Wardlaw, 1989). La riduzione del contenuto in amido per varietà australiane esposte a temperature superiori a 35 °C era associata ad un decremento nella velocità di conversione del saccarosio in amido (Bhullar e

Jenner, 1986a). Non sono state osservate limitazioni nel rifornimento di saccarosio alla spiga ed all'endosperma (Sofield et al., 1977b; Nicolas et al., 1984; Bhullar e Jenner, 1986b). Le elevate temperature riducono i livelli di fruttosio ed esoso fosfati (Jenner, 1991) e riducono l'attività di alcuni enzimi della via biosintetica dell'amido, soprattutto le amido sintasi solubili (Rijven, 1986; Keeling et al., 1993). Si è ipotizzato che ridotte velocità di sintesi dell'amido dell'endosperma di grano ad alte temperature fossero principalmente dovute ad inattivazione da alte temperature dell'amido sintasi, un enzima chiave nella via biosintetica dell'amido, ma gli effetti della temperatura sull'accumulo di amido sono probabilmente più complessi.

In alcuni studi la velocità di accumulo dell'amido non risulta influenzata da regimi di temperatura molto elevata. Le alte temperature determinano, invece, la riduzione della durata dell'accumulo dell'amido. Per esempio la velocità di accumulo dell'amido risulta la stessa nella granella di piante cresciute con regimi di temperatura di 24/17 °C, 37/17 °C e 37/28 °C (Altenbach et al., 2003; Hurkman et al., 2003). Il decremento osservato nella quantità di amido per cariossidi dipende, invece, da una riduzione nella durata dell'accumulo di amido che risulta di 6 giorni inferiore con il regime 37/17 °C e di 13 giorni con il regime 37/28 °C. Analogamente Guedira e Paulsen (2002) hanno osservato che l'alta temperatura del germoglio o della radice riduce l'accumulo di amido nella granella soprattutto mediante un effetto sulla durata dell'accumulo di amido, suggerendo che l'alta temperatura influenza fattori che regolano la durata della granigione anche quando la granella stessa non è esposta ad alta temperatura. Sebbene le temperature sui 30 °C esercitano effetti negativi sulle velocità "in vitro" dell'amido sintetasi, la reale velocità di accumulo nella granella intatta è stata stimolata per parecchi giorni esponendo germogli e radici a 30 °C. Sia Altenbach et al. (2003) che Guedira e Paulsen (2002) hanno osservato un anticipo nel processo di accumulo dell'amido quando le piante sono esposte a più alte temperature durante la granigione.

L'ambiente può anche influenzare l'espressione dei geni degli enzimi implicati nella biosintesi di amido. L'alta temperatura riduce in particolare i livelli dei trascritti delle amido sin-

tasi solubili (Hurkman et al., 2003). Anche la formazione di granuli di amido ed il rapporto amilosio/amilopectina possono essere influenzati dall'ambiente.

L'esposizione ad elevate temperature comporta, infatti, un incremento della percentuale di granuli A in frumento ed orzo (Bhullar e Jenner, 1985; MacLeod e Duffus, 1988; Blumenthal et al., 1995; Tester e Karkalas, 2001; Hurkman et al., 2003).

3.4 Lipidi e qualità dei prodotti

I lipidi della granella di frumento, pur costituendo una componente minore, si trovano in tutte le parti anatomiche della cariossidi in un'ampia varietà di forme ed assolvono ad importanti funzioni fisiologiche, strutturali e di riserva (Konopka et al., 2004). In questo paragrafo ci si limiterà a trattare unicamente quelli rilevanti dal punto di vista tecnologico. Per una disamina più dettagliata delle diverse classi lipidiche del frumento duro si rimanda a Pagnotta et al. (2005). I lipidi dello sfarinato influenzano l'andamento dei processi ossidativi e le proprietà reologiche dell'impasto. D'altro canto i loro derivati volatili possono conferire l'aroma ai prodotti cerealicoli (Chang et al., 1995). Di tutte le frazioni, soprattutto la composizione dei lipidi liberi ha un impatto considerevole sulle proprietà tecnologiche della farina. L'effetto dei glicolipidi liberi è ben documentato, specialmente per mono e digalatto-gliceridi che sono quelli correlati più positivamente (Bekes et al., 1986; Ohm e Chung, 2002). Per esempio, il volume alveolare del pane può essere ben previsto anche sulla base del contenuto in glicolipidi liberi e delle frazioni non polari di granella e sfarinati (Karpatis et al., 1990).

La cosiddetta frazione lipidica della granella comprende anche i pigmenti responsabili del colore di pasta e semola, che è un carattere essenziale nel determinare la qualità della pasta (Pagnotta et al., 2005). Il colore è il risultato di una componente gialla desiderabile e di una componente bruna dovuta allo sviluppo di colori indesiderabili. I pigmenti gialli dell'endosperma includono tre classi principali di composti (e principali specie molecolari): xantofille (luteina), carotenoidi (carotene) e flavoni (tricina). Il frumento duro ha un contenuto in pigmenti gialli marcatamente superiore rispetto alle specie esaploidi. I carotenoidi si trovano in

Tabella 12. Composti ad azione antiossidante e salutistica contenuti nella cariosside di frumento duro.

Table 12. Antioxidant and bioactive compounds in durum wheat kernel.

Composti	Principale Localizzazione	Funzione
Composti fenolici		
	acidi fenolici e derivati flavonoidi lignani lignina	Endosperma e pericarpo
		Ipocolesterolemica Antitumorale Antidiabetica
Tocoli	tociferoli tocotrienoli	Germe Strato aleuronico e sub-aleuronico
		Riduzione del rischio di malattie cardiovascolari e degenerative
Carotenoidi	caroteni xantofille	Endosperma, germe e pericarpo
Fibre	solubili insolubili	Pareti endosperma Pericarpo
		Attività prebiotica Miglioramento peristalsi

tutte le parti anatomiche della cariosside. Tuttavia il loro contenuto nell'embrione è di gran lunga superiore rispetto a quello dell'endosperma raggiungendo i 4-11 mg Kg⁻¹. Durante il processo di pastificazione c'è un decremento del colore soprattutto durante la miscelazione dell'impasto, fortemente dipendente dall'attività lipossigenasica della semola (si veda paragrafo 2.2); tuttavia anche perossidasi e polifenolossidasi giocano un ruolo nel ridurre o sbiancare i pigmenti della farina durante la pastificazione. Il contenuto in carotenoidi è considerato uno dei principali criteri per determinare il valore nutrizionale e commerciale dei prodotti a base di pasta, quindi la prevenzione dello sbiancamento dei carotenoidi nella semola è un importante obiettivo da perseguire. Il colore bruno della pasta, invece, incrementa fortemente con il contenuto in ceneri e con il contenuto proteico.

4. Qualità salutistica del frumento duro ed alimenti funzionali

4.1 Composti biologicamente attivi e qualità salutistica

Negli ultimi anni studi epidemiologici hanno associato il consumo di cereali integrali e derivati ad una ridotta incidenza di malattie cardiovascolari (Thompson, 1994; Jacobs et al., 1998), diabete (Meyer et al., 2000) e cancro (Thompson, 1994; Jacobs et al., 1995; Nicodemus et al.,

2001). È stato, inoltre, recentemente dimostrato come siano gli effetti additivi e/o sinergici dei diversi composti bioattivi a determinare l'effetto protettivo degli alimenti piuttosto che i composti singoli (Eberhardt et al., 2000). Gli effetti salutistici del consumo di granella sono stati, tuttavia, molto meno indagati rispetto a quelli dovuti a prodotti ortofrutticoli nonostante le linee guida della nutrizione pongano i cereali ed i loro derivati alla base della piramide alimentare tradizionale. Questi positivi effetti salutistici sono stati attribuiti a composti biologicamente attivi (nutraceutici) tipici dei cereali e presenti nelle diverse componenti della cariosside, pericarpo, germe ed endosperma (tabella 12). Sembra che il principale effetto positivo della granella integrale di cereali sia la capacità antiossidante totale. È noto, infatti, che l'assunzione di antiossidanti mediante la dieta possa determinare un rafforzamento della barriera di protezione cellulare nei confronti dei fenomeni ossidativi (Duthie et al., 1996). Uno studio condotto da Adom e Liu (2002) ha messo a confronto la capacità antiossidante totale della granella integrale di diverse specie cerealicole (mais, frumento, avena, riso) evidenziando che il frumento è al secondo posto preceduto dal mais e seguito da avena e riso. La maggior parte dei composti antiossidanti (figura 6) è costituita da composti fenolici, tocoli e carotenoidi (Adom e Liu, 2002). La granella dei cereali è ricca in acidi fenolici le cui quantità totali pos-

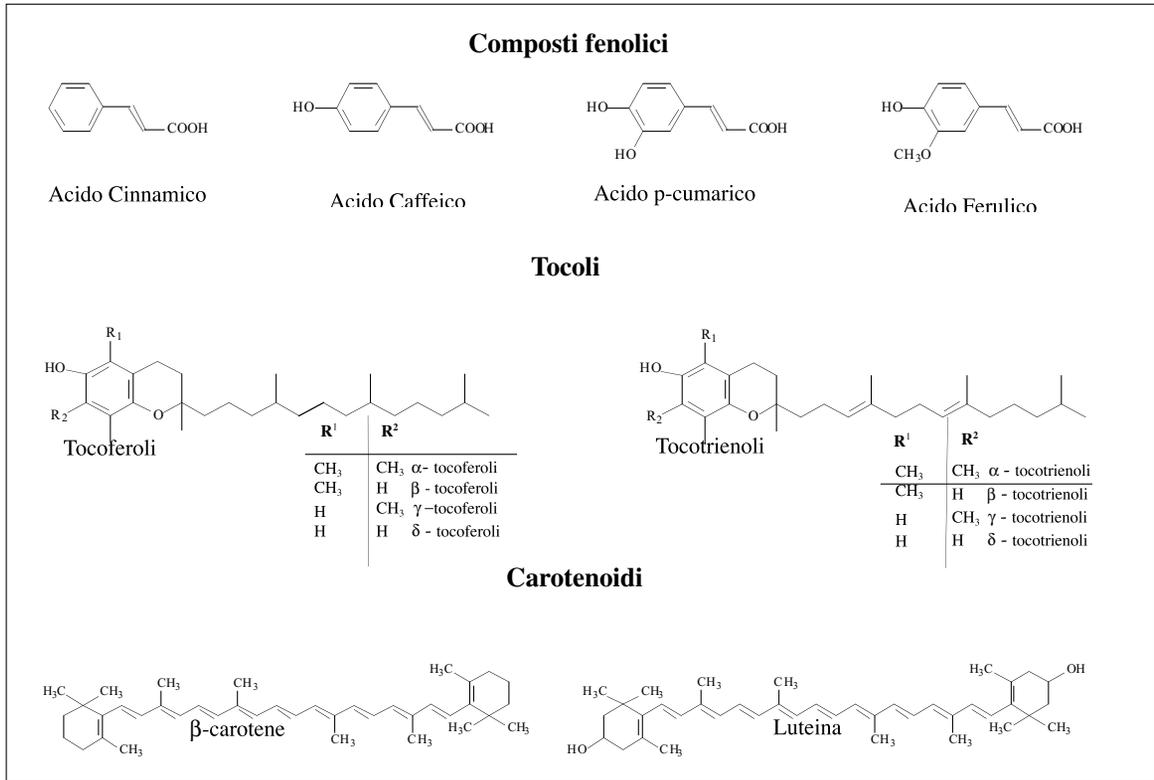


Figura 6. Formule di struttura dei principali composti antiossidanti presenti nella granella di frumento duro.

Figure 6. Structural formulas of the main antioxidant compounds in durum wheat kernel.

sono arrivare a 500 mg kg⁻¹ (Senter et al., 1983), mentre i flavonoidi sono presenti in piccole quantità. Adom e Liu (2002) e Carcea et al. (2003) hanno riportato che l'acido ferulico è il principale composto fenolico presente nel frumento e che i composti fenolici legati sono i principali responsabili dell'attività antiossidante totale della granella (90%). Valutando diversi genotipi di frumento duro e tenero Adom et al. (2003) hanno osservato che la capacità antiossidante totale (37-46 μmol vit C g⁻¹) ed il contenuto in fenoli e flavonoidi totali non variava significativamente fra i genotipi, mentre il contenuto in acido ferulico mostrava differenze significative. In granella integrale di frumento duro, Pastore et al. (2004) hanno osservato un'attività antiossidante totale pari a 44 e 67 μmoli di equivalenti di trolox per grammo in estratti acquosi e cloroformici rispettivamente, utilizzando un nuovo metodo basato sulla reazione fra lipossigenasi, LOX, e p-Nitrosodimetilanilina, RNO (Pastore et al., 2000a). Relativamente al contenuto in composti antiossidanti lipofili, i

tocoli (vitamina E) sono presenti in concentrazioni significative nel frumento (Carcea et al., 2001); il loro contenuto varia in relazione al genotipo, al grado di maturazione ed alle condizioni ambientali di coltivazione. I tocoli sono localizzati negli strati più esterni della cariosside, in particolare i tocotrienoli nello strato aleuronico e sub-aleuronico ed i tocoferoli nel germe, quindi negli strati che abitualmente vengono scartati durante la lavorazione del cereale integrale per la produzione di cereale raffinato e farine. L'α-tocoferolo, inoltre, è anche in grado di inibire l'indesiderata attività lipossigenasica (Pastore et al., 2000b).

Di particolare interesse è lo studio dei tocotrienoli, efficaci antiossidanti a livello di membrana di cui è dimostrata l'attività ipocolesterolemica ed antitumorale. In frumento duro il β-tocotrienolo risulta essere il composto di gran lunga preponderante fra gli antiossidanti lipofili (media pari a 13,75 μg g⁻¹), pur presentando nell'ambito della stessa cultivar un'ampia variabilità a seconda della provenienza geografica

dei campioni (Carcea et al., 2001). Il γ -tocofe-rolo, invece, è presente in minima quantità (me-dia del frumento $0,22 \mu\text{g g}^{-1}$) ed il δ -tocofe-rolo solo in tracce. Tozzi et al. (2005) hanno riporta-to che l'attività antiossidante di estratti lipofili, valutata con il metodo LOX-RNO, è positiva-mente correlata al contenuto in β -tocotrienolo. Panfilì et al. (2005) hanno riscontrato un incre-mento significativo del contenuto in tocoli con la concimazione solfatica e nella cultivar Ofan-to rispetto a Simeto. L'incremento osservato è da attribuirsi al β -tocotrienolo.

Relativamente al contenuto in carotenoidi, negli sfarinati integrali di frumento duro esso è pari a circa $3,2 \mu\text{g g}^{-1}$ s.s. e luteina e β -carotene sono le principali componenti del colore giallo (Fratiani et al., 2005). Valutando diversi genoti-pi di frumento duro e tenero Adom et al. (2003) hanno osservato variazioni pari a 5, 3 e 12 volte nel contenuto in luteina, zeaxantina e β -crip-toxantina, rispettivamente. Borrelli et al. (2003) hanno osservato una significativa variabilità, sia genetica che ambientale, nel contenuto in β -caro-tene e luteina, anche se sono state individuate del-le cultivar con maggiore stabilità nel contenuto in questi pigmenti fra i diversi ambienti. Recentemente è stato riscontrato un incremento nel con-tenuto in carotenoidi con il deficit idrico e la con-cimazione solfatica (Panfilì et al., 2005).

I cereali, inoltre, sono per l'uomo la fonte principale di lignani introdotti con la dieta. Il frumento in particolare ne contiene 5 mg kg^{-1} , un contenuto alto se paragonato a quello di al-tre specie vegetali (Andlauer e Furst, 1998). I lig-nani sono potenti antiossidanti ed esercitano un'azione anticancerogena, riducendo la produ-zione di ROS (reactive oxygen species) da parte di tipi cellulari tumorali e di cellule del sistema immunitario (Cassidy, 1996). Anche i fitosteroli, sebbene rappresentino componenti minori della frazione lipidica dei cereali possono avere bene-fici effetti sulla salute abbassando il livello di co-lesterolo ematico e riducendo il rischio di pato-logie croniche. Recentemente è stata riportata una caratterizzazione della frazione sterolica del frumento duro (Iafelice et al., 2004).

Il valore salutistico del frumento duro è le-gato anche al contenuto in fibra (Esposito et al., 2005). La fibra alimentare è una miscela molto complessa di polisaccaridi ed oligosaccaridi qua-li cellulosa, emicellulosa, pectine, gomme e β -glucani e di sostanze ad essi associate quali com-

posti fenolici, lignani e lignina. Essa è definita come "parti di pianta commestibili o carboidra-ti analoghi resistenti alla digestione ed all'as-sorbimento nell'intestino tenue e soggetti a completa o parziale digestione nell'intestino crasso" (Mongeau, 2003).

Gli effetti fisiologici della fibra alimentare dipendono dalla sua struttura chimica, dal suo stato fisico e dai composti ad essa associati. Gli effetti fisiologici delle sostanze associate alla fi-bra comprendono: azione antiossidante, modu-lazione della microflora, modulazione dell'atti-vità enzimatica, aumento della massa fecale. La fibra è convenzionalmente classificata in due ca-tegorie in relazione alla solubilità in acqua: fi-bra dietetica insolubile (cellulosa, parte delle emicellulose e lignina) e fibra dietetica solubile (pentosani, pectine, gomme e mucillagini). L'ef-fetto fisiologico principale connesso all'assun-zione della fibra insolubile è il miglioramento della peristalsi intestinale legato alla capacità di trattenere acqua ed all'influenza sulla viscosità (Schneeman, 1999). D'altro canto la fibra solu-bile ha molteplici funzioni. Rappresenta un buon substrato per alcuni ceppi di batteri lattici e bifidobatteri, che sono benefici per la salu-te intestinale svolgendo, quindi, un'azione pre-biotica (Grizard e Barthomeuf, 1999) ed, inol-tre, è in grado di controllare l'indice glicemico (Tudorica et al., 2002) e di ridurre il colesterolo plasmatico (Brown et al., 1999). Il meccani-smo d'azione di queste sostanze non è ancora completamente noto, tuttavia la correlazione in-versa esistente fra l'assunzione di fibre solubili (contenute in cereali, legumi, frutti e vegetali) ed il rischio di malattie cardiovascolari e di can-cro è fermamente stabilito ed anche attestato dalla Food and Drug Agency.

4.2 Prospettive nell'uso del frumento duro per la produzione di alimenti funzionali

L'interesse dei Paesi sviluppati per gli alimenti funzionali sta crescendo spinto dalle potenzia-lità del mercato per cibi in grado di migliorare la salute ed il benessere del consumatore. Un alimento è definito funzionale se, oltre a fornir-e un apporto nutrizionale ed energetico, è in grado di esercitare un effetto benefico sulla sa-lute e di ridurre il rischio di malattie croniche (Hugget e Schliter, 1996). Questo ruolo è reso possibile grazie alla presenza di sostanze rego-latrici di alcune funzioni vitali.

Recentemente la ricerca di alimenti funzionali si è progressivamente orientata verso lo sviluppo di supplementi dietetici introducendo il concetto di “probiotici” e “prebiotici” che possono influenzare la composizione microbica e la funzionalità dell’intestino (Ziemer e Gibson, 1998). Sono definiti alimenti probiotici, quelli che contengono microrganismi in grado di influenzare positivamente la salute del consumatore migliorando il bilancio microbico intestinale (Fuller, 1989).

Un alimento prebiotico, invece, è caratterizzato dalla presenza di un ingrediente alimentare non idrolizzato dagli enzimi dell’apparato digerente nel tratto gastrointestinale superiore e che influenza positivamente l’ospite stimolando selettivamente la crescita di un numero limitato di batteri nel colon in grado di apportare effetti benefici alla salute (Gibson e Roberfroid, 1995).

Recentemente grande attenzione è stata rivolta allo studio delle potenzialità dei cereali come materia prima per la produzione di alimenti funzionali. I cereali, infatti, contribuiscono per oltre il 60% alla produzione di cibo mondiale fornendo fibra dietetica, proteine, energia, vitamine e minerali necessari per la salute umana. I possibili utilizzi dei cereali o di alcuni costituenti nella formulazione di alimenti funzionali possono essere così riassunti (Charalaumpoulos et al., 2002):

- 1) come fibra dietetica in grado di promuovere diversi effetti fisiologici benefici;
- 2) come prebiotico per il contenuto in specifici carboidrati non digeribili;
- 3) come substrato fermentabile per la crescita di microrganismi probiotici come lattobacilli e bifidobatteri;
- 4) come materiale per l’incapsulamento di prodotti probiotici allo scopo di incrementarne la stabilità.

Il frumento duro potrebbe alimentare il mercato degli alimenti funzionali in due modi:

- a) fornendo sottoprodotti della molitura arricchiti in fibre e con un rapporto ridotto fra fibra insolubile e solubile (Esposito et al., 2005);
- b) come fonte di fruttooligosaccaridi (FOS) che si accumulano nella granella immatura (D’Egidio e Cervigni, 1998).

Relativamente al primo punto è noto che le proprietà nutrizionali del frumento duro sono

legate anche al contenuto in fibra. Fino ad ora i residui della molitura del frumento sono principalmente usati in prodotti integrali estrusi da colazione (Eastman et al., 2001). Questi prodotti contengono quasi esclusivamente fibre insolubili, mentre recenti studi nutrizionali sottolineano che l’introduzione di fibre solubili con la dieta è molto al di sotto dell’optimum (Cui et al., 1999). Il processo di molitura può essere opportunamente modulato per ottenere prodotti secondari arricchiti in fibra ed anche con un minore rapporto fra fibra insolubile e solubile (Dexter e Wood, 1996). Gli avanzamenti tecnologici recentemente sviluppati nella trasformazione del frumento duro permettono di separare diverse frazioni indicate come sotto-prodotti. Alcuni di questi prodotti contenenti principalmente fibre dietetiche insolubili possono essere usati per legare l’acqua libera, mentre altri, contenenti elevate quantità di fibre solubili sono di grande valore nutrizionale (Dexter e Wood, 1996). Le proprietà funzionali e nutrizionali della fibra alimentare possono essere usate per indirizzare questa selezione, prendendo in considerazione, oltre al rapporto fra fibra insolubile e fibra solubile, anche l’attività antiossidante di questi materiali. È stato verificato, infatti, il contributo fondamentale di germe e crusca all’attività antiossidante dei cereali integrali; ciò è dovuto al fatto che i composti fenolici sono associati agli strati esterni ed in particolare allo strato aleuronico.

Nonostante questa evidenza, questo parametro è stato scarsamente considerato nella caratterizzazione e differenziazione dei sottoprodotti del frumento duro, sebbene sia presumibile che i composti antiossidanti presenti nel pericarpo e nello strato aleuronico siano recuperati nelle frazioni dei sottoprodotti (Dexter e Wood, 1996). Il contenuto in fibra solubile dei sottoprodotti del frumento duro va da 0,9 a 4% e quello della fibra insolubile dal 21 al 64% (Esposito et al., 2005). L’attività antiossidante di alcune frazioni di sottoprodotti è paragonabile a quella di prodotti ortofrutticoli di noto valore salutistico, probabilmente a causa della presenza di composti fenolici legati alla fibra.

L’alto contenuto in fibra e l’attività antiossidante della crusca di frumento duro, possono essere di particolare interesse per il loro uso in prodotti basati sui cereali. Se della granella matura è possibile utilizzare i sotto-prodotti della

molitura come alimenti funzionali, nella granella immatura è noto che si accumulano i fruttani o FOS che sono carboidrati solubili derivati dal fruttosio a diverso grado di polimerizzazione (D'Egidio e Cervigni, 1998; D'Egidio et al., 2004). Nella granella matura, invece, i livelli di FOS sono molto bassi. I fruttani si accumulano, infatti, come carboidrati di riserva quando la produzione di fotosintati è maggiore di quanto richiesto dalla pianta, per esempio dopo la fioritura quando la crescita è praticamente nulla (D'Egidio e Cervigni, 1998). Il loro livello, però, scende drasticamente in maturazione. Tognetti et al. (1989) hanno riscontrato che elevate temperature nel periodo post-antesi inducono una rapida diminuzione dei FOS come conseguenza di una più intensa attività degli enzimi idrolitici, mentre le basse temperature, determinando un rallentamento del metabolismo della pianta, favoriscono un surplus nella produzione di saccarosio che viene convertito in FOS (Chatterton et al., 1989). I fruttooligosaccaridi possono essere considerati alimenti prebiotici.

Il frumento duro accumula nella granella, in fase di maturazione lattea, il livello più alto di fruttani rispetto a frumento tenero, orzo e farro raggiungendo un valore medio del 9,1% e risultando, quindi, la specie cerealicola più promettente (D'Egidio et al., 2004). Le cariossidi immature possono essere utilizzate direttamente per la preparazione di minestre o per la produzione di fiocchi oppure macinate ed utilizzate da sole o in miscela con farine o semole normali per l'allestimento di diversi prodotti quali pane, paste, biscotti etc. L'aggiunta di sfarinato di granella immatura (in misura non superiore al 30%) alla semola, ha permesso di ottenere pasta alimentare con una buona qualità di cottura e con un più elevato valore nutrizionale come risultato della presenza di FOS e di una ridotta velocità di digeribilità dell'amido (Pagani et al., 2003). Anche il contenuto in vitamina C è notevolmente superiore nella granella immatura rispetto a quella matura (Paradiso et al., 2003) e ciò potrebbe costituire, oltre ad un vantaggio nutrizionale, anche un miglioramento delle caratteristiche reologiche dell'impasto (Every et al., 1996). Miscele di farina integrale arricchite con granella immatura fino al 30% permettono, inoltre, l'ottenimento di pani di elevato volume; miscele arricchite al 50%, invece, possono essere utilizzate solo per lo sviluppo di

prodotti con una lievitazione molto breve (Zardi et al., 2004).

Oltre al un elevato contenuto in FOS, la granella immatura presenta anche altri aspetti positivi. Il contenuto proteico è, infatti, paragonabile a quello della granella matura, ma con una diversa composizione e con un più corretto equilibrio amminoacidico, in particolare con un aumento in lisina che supera di circa il 30% quello presente in maturazione. Allo stadio di maturazione lattea risultano completamente accumulate le albumine e le globuline, ma si hanno bassi livelli di gliadine e glutenine, non ancora strutturate a formare il glutine. La presenza di proteine in forma meno complessa suggerisce l'ipotesi, ancora da verificare, di una migliore digeribilità di questi prodotti che potrebbero essere così utilizzati anche per formulazioni dietetiche particolari. La paglia verde, inoltre, molto ricca in carboidrati solubili, di cui la metà sono FOS, può essere utilizzata come additivo per alimenti zootecnici, per la produzione di sciroppi di glucosio o come materia prima per la fermentazione alcolica (D'Egidio e Cervigni, 1998).

5. Influenza del metodo di coltivazione biologico sulla qualità tecnologica e nutrizionale del frumento duro

Lo sviluppo che ha contrassegnato l'agricoltura biologica negli ultimi anni è da imputare da un lato alla crescente attenzione dei consumatori verso la qualità e la salubrità alimentare e dall'altro alla necessità di preservare l'equilibrio degli ecosistemi agricoli.

La coltivazione biologica può essere definita come un sistema olistico di produzione agricola socialmente ed ecologicamente sostenibile mirante ad ottimizzare la produttività di un agroecosistema preservando il benessere di diverse comunità biologiche (microrganismi, piante, animali e popolazione umana).

Relativamente agli "input" per le fasi di produzione, trasformazione e distribuzione, i metodi biologici evitano l'uso di prodotti di sintesi a livello aziendale (fertilizzanti, pesticidi, erbicidi, fungicidi, antibiotici ed ormoni) e di additivi e condizionanti dopo la raccolta. Queste limitazioni negli input sono alla base delle attese del consumatore di maggiore benessere e salubrità

dei cibi biologici rispetto a quelli convenzionali.

Il processo di produzione biologica deve uniformarsi a standard predefiniti (disciplinare di produzione) controllati e certificati da organismi di controllo riconosciuti dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (Regolamento UE 2092/91 e successive modifiche). Inoltre, un'agenzia di accreditamento è responsabile di assicurare che l'ente di certificazione sia competente a realizzare il processo di certificazione.

Nella UE il 44% della produzione da colture biologiche è rappresentato da cereali biologici (lo 0,8% del totale della produzione cerealicola). Nel Nord America, invece, la produzione di cereali biologici costituisce solo lo 0,4% della produzione cerealicola. I principali Paesi Europei produttori di frumento duro con metodo convenzionale sono anche i principali produttori con metodo biologico.

In Italia, primo Paese produttore con metodo biologico a livello europeo, la superficie coltivata a cereali rappresenta il 20% della SAU biologica ed, in particolare, quella coltivata a frumento duro rappresenta il 43% della SAU destinata ai cereali.

Sia la resa produttiva che gli standard qualitativi rappresentano aspetti critici del sistema di produzione biologico del frumento duro. Ambedue gli aspetti sono fortemente influenzati dalla disponibilità di azoto nel terreno in alcune fasi di sviluppo della coltura. Varie ricerche hanno messo in evidenza la difficoltà di garantire una sufficiente disponibilità di azoto alla pianta nelle fasi di levata e granigione penalizzando conseguentemente la qualità del prodotto. Nella cerealicoltura biologica, poiché i fabbisogni azotati sono soddisfatti esclusivamente dall'impiego di letame o di altri concimi organici e/o dall'inserimento delle leguminose nella rotazione colturale, si può verificare un rilascio dell'elemento fertilizzante non sincronizzato con i momenti di massima asportazione della coltura con conseguenze negative sulle rese e sulla qualità della granella (Boggini et al., 2003a).

Molti autori hanno osservato un minor contenuto proteico (Gooding et al., 1993; Woese et al., 1997) ed in glutine e peggiori prestazioni tecnologiche dell'impasto (Feil e Stamp, 1993) confrontando il frumento biologico con quello convenzionale. Un'oculata scelta varietale ed un uso opportuno dei fertilizzanti organici potreb-

be, tuttavia, determinare un contenuto proteico simile a quello ottenuto con i fertilizzanti sintetici (Salomonsson et al., 1994 e 1995). La risposta del frumento alla fertilizzazione organica dipende notevolmente dalle caratteristiche genetiche (Fredriksson et al., 1998). Sulla base di un monitoraggio condotto in Italia sulla qualità del frumento duro si è riscontrato per il frumento duro biologico un contenuto proteico quasi sempre inferiore a quello del convenzionale con dei valori spesso uguali o addirittura inferiori al 12% (Boggini et al., 2003a), livello minimo accettato dall'industria di trasformazione.

Risultati analoghi sono stati ottenuti in una sperimentazione condotta nell'ambito del progetto Biosyst (Guiducci et al., 2001) presso l'Università di Perugia su diverse varietà di frumento duro, tenero e farro (Bonciarelli et al., 2001). Acquistucci et al. (2001), invece, non hanno osservato differenze significative nel tenore proteico fra campioni biologici e convenzionali di frumento duro, ma soltanto nella qualità proteica che è risultata sempre inferiore nei campioni biologici.

In una sperimentazione condotta presso il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università della Tuscia (Viterbo), nell'ambito del progetto finalizzato "Determinanti di qualità dei prodotti dell'agricoltura biologica" (Caporali et al., 1999), è stata valutata anche l'influenza del sistema colturale sulla qualità del frumento ottenuto mediante coltivazione biologica. La precessione colturale ha mostrato un effetto significativo sia su peso ettolitrico e durezza delle cariossidi che sulla qualità del glutine (Carcea et al., 1999). Non si è riscontrato, invece, alcun effetto su tenore in proteine e glutine. Ciò è in accordo con quanto riscontrato anche in un monitoraggio del contesto agronomico di coltivazione biologica del frumento duro, effettuato in provincia di Foggia (Flagella et al., 2005b). Anche la qualità panificatoria del frumento tenero, inoltre, è risultata influenzata dal tipo di avvicendamento colturale (Borghi et al., 1995b).

Oltre ad amido e proteine, altre componenti della granella possono variare in relazione alle pratiche agronomiche. Per esempio, Strobel et al. (2001) hanno riportato che il frumento biologico conteneva meno arabinosilani solubili del frumento convenzionale.

È noto che le proprietà antiossidanti della crusca di frumento variano in relazione alla lo-

calità di crescita (Yu et al., 2003) nell'agricoltura convenzionale. Maggiori ricerche sarebbero necessarie per valutare a fondo l'influenza del metodo di coltivazione biologico sul contenuto in composti antiossidanti e/o bioattivi.

Haglund et al. (1998) hanno osservato che, adottando uno specifico sistema di coltivazione, il frumento biologico acquisiva un aroma più intenso di quello prodotto mediante agricoltura convenzionale. Questa differenza è stata attribuita dagli autori ad una più ridotta dimensione della granella e, quindi, ad una maggiore proporzione di pericarpo, il che poteva contribuire a differenze nell'aroma.

Mentre è noto che la granella biologica contiene meno proteine rispetto all'analogo convenzionale, ci sono pochissimi studi che riportino differenze nel profilo degli altri nutrienti di base (tabella 13), compresi minerali, vitamine ed aminoacidi essenziali (Woese et al., 1997; Worthington, 2001; Bourn e Prescott, 2002). Yu et al. (2003) hanno dimostrato che è possibile incrementare il contenuto di antiossidanti in fibra di frumento imponendo specifiche condizioni di coltivazione. Nel frumento duro biologico si è osservato un incremento nel contenuto in ceneri e nel contenuto in acido ferulico. L'indice di giallo, invece, non mostrava differenze fra campioni biologici e convenzionali (Carcea et al., 1999).

Un altro aspetto non trascurabile della cerealicoltura biologica è la resistenza alle avversità biotiche che colpiscono l'apparato fogliare e la spiga. Contrariamente a quanto avviene nell'agricoltura convenzionale, il regolamento UE 2092/91 non permette l'uso di trattamenti anti-parassitari con prodotti di sintesi; pertanto, in attesa di una più ampia diffusione di prodotti naturali di lotta, la principale alternativa rimane quella dell'uso di varietà resistenti. In Italia nelle ultime due annate la diffusione di nuove popolazioni di patogeni, l'uso di varietà non resistenti e probabilmente anche la concomitante influenza di condizioni climatiche favorevoli allo sviluppo dei patogeni, hanno fatto registrare una intensificazione di attacchi di oidio, ruggine gialla, ruggine bruna, septoria e fusariosi, provocando sensibili riduzioni delle rese ed un peggioramento della qualità merceologica, tecnologica e salustica della granella (Boggini et al., 2003a).

Mentre è probabile che gli alimenti biologi-

Tabella 13. Influenza del metodo di coltivazione biologico sulla qualità della produzione.

Table 13. Influence of organic farming on durum wheat quality.

Qualità tecnologica	Qualità nutrizionale ed igienico-sanitaria
Riduzione del contenuto in proteine	Incremento del contenuto in acido ferulico
Riduzione del contenuto e della qualità del glutine	Elevata variabilità nel contenuto in micotossine e metalli pesanti
Incremento del contenuto in ceneri	
Riduzione del contenuto in arabinoxilani solubili	Riduzione dei residui

ci contengano minori livelli di pesticidi di sintesi rispetto agli alimenti convenzionali (Bourn e Prescott, 2002), ci sono pochi riferimenti relativamente alla granella ed ai suoi derivati. Anche il frumento convenzionale, comunque, non presenta generalmente alti livelli di contaminazione.

Uno studio effettuato nell'ambito del programma nazionale di controllo sui residui dei prodotti fitosanitari, ha evidenziato nel frumento duro la presenza di residui solo nel 12% dei campioni analizzati ed in gran parte al di sotto dei limiti di legge (Masoni, 2002). Non si può in ogni caso parlare di assenza di pesticidi, in quanto potrebbero esserci contaminazioni mediante l'atmosfera (Majewski e Capel, 1995).

D'altra parte, Ames et al. (1990) suggeriscono che ci possono essere dei potenziali rischi dovuti alle naturali tossine che le piante producono come protezione dagli agenti patogeni, ma le notizie sugli effetti di queste tossine naturali sulla salute dell'uomo sono scarse (Tomatis et al., 2001).

La presenza di micotossine, specialmente deossinivalenolo (DON) è uno dei principali problemi per gli agricoltori. Le micotossine, infatti, hanno effetti negativi sulla salute umana e sembrano legate al rischio di cancro all'esofago (Rotter et al., 1996). Ci si attenderebbe che la granella biologica fosse più suscettibile alle micotossine in quanto non trattata con fungicidi. Tuttavia Birzele et al. (1998) hanno trovato che la concentrazione di DON in campioni di frumento biologico non era maggiore della concentrazione di DON in campioni da agricoltura

integrata. In definitiva, un'attenta rassegna della letteratura a riguardo evidenzia che il contenuto in micotossine è altamente variabile indipendentemente dal sistema agricolo utilizzato (Moretti et al., 2003). Un recente studio condotto in Italia, per esempio, ha evidenziato contaminazioni da DON soprattutto in Italia settentrionale, mentre in Italia centrale e meridionale il livello di contaminazione era trascurabile (Pascale et al., 2002).

Anche il livello di contaminazione da metalli pesanti della granella potrebbe essere influenzato dal metodo di coltivazione biologico. L'apporto di metalli pesanti ai terreni agrari dipende sia dai concimi minerali che da quelli organici, dalle deposizioni atmosferiche, dai pesticidi e dalle deiezioni animali (Masoni, 2002). In letteratura non sono state riscontrate differenze fra campioni coltivati con metodo convenzionale e biologico (Malmauret et al., 2002). Alcune fonti, invece, suggeriscono che l'assunzione di metalli pesanti da parte della pianta potrebbe essere maggiore in condizioni di carenza dei principali nutrienti (AFSSA, 2003).

Un altro aspetto da considerare nella coltivazione biologica del frumento riguarda il contenimento dei danni provocati dalle erbe infestanti che possono determinare diminuzioni di resa oltre ad inquinamenti del raccolto con effetti negativi sullo stoccaggio del prodotto e sulla qualità dello stesso. In definitiva, non potendo utilizzare sostanze di sintesi, risulta di primaria importanza individuare varietà di frumento duro caratterizzate da elevata efficienza d'uso dell'azoto, resistenza agli stress abiotici e biotici, efficacia nell'azione competitiva verso le infestanti, buoni standard qualitativi per l'ottenimento di prodotti di trasformazione adatti a soddisfare la domanda di specifici settori merceologici.

6. Considerazioni conclusive

La coltura del frumento duro è distribuita prevalentemente nei Paesi del Mediterraneo, ma ha una notevole rilevanza anche in altri Paesi europei ed extraeuropei, quali Canada e Stati Uniti che sono anche i principali esportatori mondiali.

La qualità del frumento duro, molto spesso considerata solo sotto il profilo merceologico e tecnologico, è in realtà un sistema complesso

che deve tener conto di tutte le componenti della filiera. Oltre agli aspetti relativi alle caratteristiche nutrizionali, di sicurezza e tecnologiche del prodotto, vanno anche considerati quelli relativi al contesto produttivo (agricoltura integrata e biologica) ed ai sistemi di garanzia della qualità (certificazione di prodotto e rintracciabilità).

Fra i molteplici aspetti della qualità in questa rassegna sono stati valutati solo quelli tecnologici e nutrizionali. La qualità tecnologica varia in relazione alla tipologia del prodotto trasformato. È legata ad elevato contenuto proteico, proprietà viscoelastiche del glutine e colore giallo in pasta e couscous ed a caratteristiche specifiche diverse per gli altri prodotti quali pane lievitato e non, burghul, frekeh. Fra i diversi prodotti di trasformazione la pasta è quello di gran lunga più apprezzato nel mondo ed alimenta un sensibile flusso d'esportazione.

L'Italia detiene il primato mondiale per la produzione di frumento duro e di pasta.

Nonostante, però, la produzione di frumento duro rivesta un'importanza strategica nell'ambito del settore agroalimentare italiano, il comparto continua a dipendere pesantemente dalle importazioni di materia prima di livello qualitativo medio-alto, la metà delle quali da Paesi esterni alla UE quali Stati Uniti, Canada ed Australia. È noto, infatti, che fra i principali punti di debolezza della filiera del frumento duro in Italia compaiono il non adeguato livello qualitativo di gran parte della produzione e la notevole variabilità quali-quantitativa fra gli anni e gli ambienti di coltivazione.

La nuova PAC pone la durogricoltura italiana di fronte ad una nuova sfida. Il regime di disaccoppiamento, infatti, introdotto con la riforma Fischler, comporterà probabilmente come conseguenze negative una riduzione delle superfici investite, soprattutto nelle zone meno vocate, il che potrebbe rappresentare un evento decisamente negativo per l'immagine della pasta come prodotto "made in Italy". Tuttavia, l'incentivazione ad un maggior ricorso agli avvicendamenti culturali e l'introduzione di sussidi supplementari legati all'utilizzo di varietà ad elevati standard qualitativi, potrebbe offrire un'opportunità per qualificare le produzioni italiane di frumento duro e rendere l'Italia meno dipendente dalle importazioni dai Paesi esteri.

Questo miglioramento qualitativo, può di-

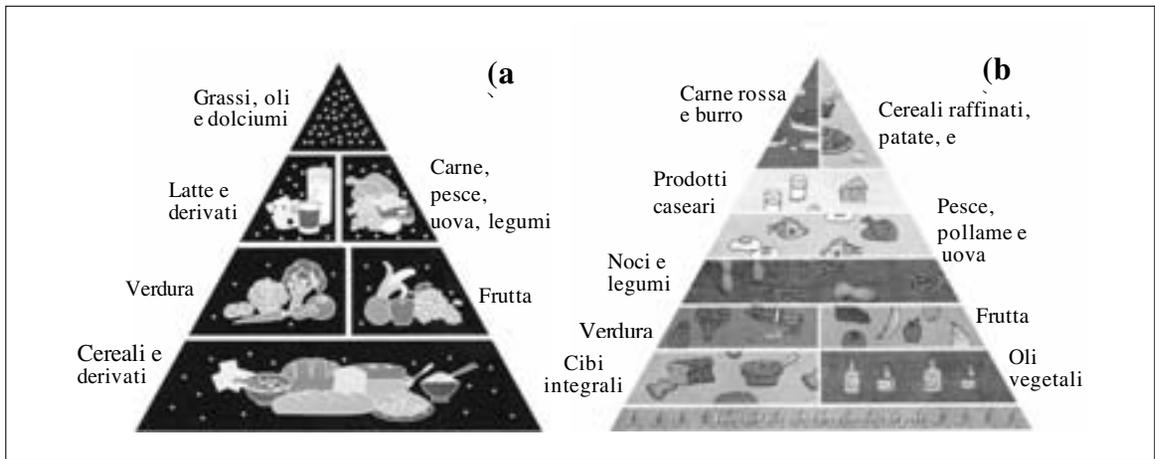


Figura 7. Confronto fra la piramide alimentare tradizionale (a) ed una sua recente rivisitazione (b).

Figure 7. Comparison between the traditional (a) and the new food pyramid (b).

pendere oltre che dalla componente genetica, anche dall'adozione di un'opportuna agrotecnica, data la notevole influenza delle variabili ambientali sulle caratteristiche qualitative del prodotto come ampiamente illustrato in questa rassegna. In particolare, un corretto equilibrio fra concimazione azotata e solfatica e l'adozione di idonei disciplinari di produzione nei sistemi ad agricoltura integrata e biologica potrebbero migliorare gli standard qualitativi.

Un'altra possibilità di qualificare la produzione del frumento duro e dei suoi derivati è legata, invece, all'interesse crescente del mercato verso alimenti salutistici a base di cereali. È stato, infatti, dimostrato che una dieta a base di cereali previene il rischio di alcune malattie croniche e degenerative. Ciò è legato all'elevato contenuto nella granella di composti bioattivi e ad attività antiossidante. La granella integrale di frumento duro, in particolare, è ricca di composti fenolici, tocoli, carotenoidi e fibre solubili ed insolubili. D'altro canto è in corso una rivisitazione della piramide alimentare tradizionale in cui pane e pasta occupavano la base, in quanto ottima fonte di carboidrati complessi. In base ai nuovi orientamenti nutrizionali i cereali raffinati potrebbero addirittura passare al vertice della piramide lasciando alla base i prodotti derivati da cereali integrali (figura 7). In questo scenario in evoluzione un'opportunità per il frumento duro può essere sia quella di utilizzare tecnologie di trasformazione che consentano un migliore utilizzo dei sotto-prodotti del frumento duro contenenti i livelli più

elevati di composti bioattivi, sia quella di promuovere il suo utilizzo come veicolo di composti bioattivi per la produzione di alimenti funzionali.

In conclusione, sulla base di quanto esposto, lo sviluppo del comparto del frumento duro potrà essere perseguito mediante due vie:

- la qualificazione della materia prima, mediante il miglioramento dei requisiti tecnologici, nutrizionali e salutistici e lo sviluppo di prodotti certificati (IGP, DOP, biologici);
- lo sviluppo di tecnologie di produzione e trasformazione che consentano un incremento nei livelli dei composti bioattivi nella granella e nei suoi derivati.

Bibliografia

- Acquistucci R., Carcea M., Cardarilli D., Salvatorelli S. 2001. La qualità del frumento dell'agricoltura biologica. *Molini d'Italia*, 5:37-45.
- Adom K.K., Liu R.H. 2002. Antioxidant activity of grains. *J. Agric. Food Chem.*, 50:6182-6187.
- Adom K.K., Sorrells M.E., Liu R.H. 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 51:7825-7834.
- AFSSA 2003. Évaluation des risques et bénéfices nutritionnels et sanitaires des aliments issus de l'agriculture biologique. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, Maisons-Alfort.
- Altenbach S.B., DuPont F.M., Kothari K.M., Chan R., Johnson E.L., Lieu D. 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. *J. Cereal Sci.*, 37:9-20.
- Ames B.N., Profet M., Gold L.S. 1990. Dietary pesti-

- des (99.99% all natural). Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America, 87:7777-7781.
- Ammar K., Kronstad W.E., Morris C.F. 2000. Bread-making quality of selected durum wheat genotypes and its relationship with high molecular weight glutenin subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition. Cereal Chem., 77:230-236.
- Anderson O.D., Greene F.C. 1997. The α -gliadin gene family. II. DNA and protein sequence variation, subfamily structure, and origins of pseudogenes. Theor. Appl. Genet., 95:59-65.
- Andlauer W., Furst P. 1998. Antioxidative power of phytochemicals with special reference to cereals. Cereal Foods World, 43:356-359.
- Ball S.G., van de Wal M.H.B.J., Visser R.G.F. 1998. Progress in understanding the biosynthesis of amylose. Trends Plant Sci., 3:462-467.
- Bechtel D.B., Zayas I., Kaleikau L., Pomeranz Y. 1990. Size distribution of wheat starch granules during endosperm development. Cereal Chem., 67:59-63.
- Bekes F., Zawistowska U., Zillman R.R., Bushuk W. 1986. Relationship between lipid content and composition and loaf volume of twenty-six common spring wheats. Cereal Chem., 63:327-331.
- Belocchi A., Brogna G., Fornara M., D'Egidio M.G., Desiderio E. 2003. Influence of environment, genotype and nitrogen fertilization on durum wheat quality. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealcoltura C.R.A. ed. 179-183.
- Bhullar S.S., Jenner C.F. 1985. Differential responses to high temperatures of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. Aust. J. Plant Physiol., 12: 363-375.
- Bhullar S.S., Jenner C.F. 1986a. Effects of temperature on the conversion of sucrose to starch in the developing wheat endosperm. Aust. J. Plant Physiol., 13:605-615.
- Bhullar S.S., Jenner C.F. 1986b. Effects of a brief episode of elevated temperature on grain filling in wheat ears cultured on solutions of sucrose. Aust. J. Plant Physiol., 13:617-626.
- Birzele B., Backes F., Berleth M., Kramer J. 1998. Mycoflora, DON and OTA contents of winter wheat in the years 1995 until 1997. Revue de Medecine Veterinaire-Toulouse, 149:527-535.
- Blumenthal C.S., Barlow E.W.R., Wrigley C.W. 1993. Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. J. Cereal Sci., 18:3-21.
- Blumenthal C.S., Batey I.L., Bekes F., Wrigley C.W., Barlow E.W.R. 1991a. Seasonal changes in wheat-grain quality associated with high temperatures during grain filling. Aust. J. Agric. Res., 42:21-30.
- Blumenthal C.S., Bekes F., Batey I.L., Wrigley C.W., Moss H.J., Mares, D.J., Barlow E.W.R. 1991b. Interpretation of grain quality result from wheat variety trials with reference to high temperature stress. Aust. J. Agric. Res., 42:325-334.
- Blumenthal C., Bekes F., Gras P.W., Barlow E.W.R., Wrigley C.W. 1995. Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. Cereal Chem., 72:539-544.
- Boggini G., Cattaneo M., Paganoni C., Vaccino P. 2001. Genetic variation for waxy proteins and starch properties in Italian wheat germplasm. Euphytica, 119:111-114.
- Boggini G., D'Egidio M.G., Di Fonzo N., Novaro P., Arcangeli A., Brandini R., Cecchini C., Colucci F., Fares C., Gosparini E., Palumbo M., Pucciarmati S., Schiavone M.G., Spina A., Virzi N. 2003a. Qualità del raccolto 2003 di frumento duro. L'Inf. Agr., 36:35-40.
- Boggini G., Palumbo M., Sciacca F., Spina A. 2003b. Miglioramento della qualità panificatoria del grano duro. Tecn. Molitoria, 6:613-627.
- Boggini G., Pogna N.E. 1989. The breadmaking quality and storage protein composition of Italian durum wheat. J. Cereal Sci., 9:131-138.
- Boggini G., Tusa P., Pogna N.E. 1994. Protein composition and bread making quality of wheat. In: Università degli Studi della Tuscia ed. Wheat kernel protein-molecular and functional aspects. Viterbo, Italy, 291-293.
- Bonciarelli U., Benincasa P., Beccafichi C., Guiducci M. 2001. Valutazione di sistemi agricoli biologici e convenzionali a basso input. II) Primi risultati sul comportamento produttivo di varietà di cereali microtermi e macrotermi. XXXIV Conv. S.I.A. "Strategie agronomiche al servizio della moderna agricoltura". Pisa, 2001. Pisa: Felici Ed. 105-106.
- Bonciarelli U., Ciricofolo E. 2001. Studio delle modifiche indotte da fattori agronomici sulla qualità del frumento duro. XXXIV Conv. S.I.A., Pisa, 2001. Pisa: Felici Ed. 149-150.
- Borghi B., Corbellini M., Ciaffi M., Lafiandra D., De Stefanis E., Sgrulletta S., Boggini G., Di Fonzo N. 1995a. Effect of heat shock during grain filling on grain quality of bread and durum wheat. Aust. J. Agric. Res., 46:1365-1380.
- Borghi B., Corbellini M., Minoia C., Palumbo M., Di Fonzo N., Perenzin M. 1997. Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality. Eur. J. Agron., 6:145-154.
- Borghi B., Giordani G., Corbellini M., Vaccino P., Guermami M., Toderi G. 1995b. Influence of crop rotation, manure and fertilizers on bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). Eur. J. Agron., 4 (1):37-45.
- Borrelli G.M., De Leonardis A., Stoppelli M.C., Platani C., Di Fonzo N., D'Egidio M.G. 2003. Genetic and environmental effects on the characteristics affecting antioxidant properties of durum wheat. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealcoltura C.R.A. ed. 215-218.
- 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.
- Bourn D., Prescott J. 2002. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of or-

- ganically and conventionally produced foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.*, 42:1-34.
- Boyacioglu M.H., D'Apollonia B.L. 1994. Durum wheat and bread products. *Cereal Foods World*, 39:168-174.
- Brown L., Rosner B., Willett W.W., Sacks F.M. 1999. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 69:30-42.
- Buleon A., Colonna P., Planchot V., Ball S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.*, 23:85-112.
- Buonocore V., Silano V. 1993. Fattori antinutrizionali nei cereali. A. Fidanza ed. *Le Scienze Quaderni*, 72:87-94.
- Caporali F., Campiglia W., Mancinelli R. 1999. Produzione di grano duro in sistemi colturali innovativi per l'agricoltura biologica. *Agricoltura e Ricerca*, 183:91-104.
- Carcea M., Bruschi L., Schiavoni E. 2003. Influence of growing conditions and technological processing on the level of some hydrophilic antioxidants in durum wheat kernels and products. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura C.R.A. ed. 55-58.
- Carcea M., De Luca C., Bruschi L., Francisci R., Quattrucci E. 2001. Hydrophilic and lipophilic antioxidants in cereal kernels. In: *Bioactive micronutrients in Mediterranean diet and health*. Proc. of an European scientific conference of COST Action, 916:39-40.
- Carcea M., Salvatorelli S., Bruschi L., Krizanovic J. 1999. Impatto delle tecniche agronomiche sulla qualità tecnologico-nutrizionale di frumenti duri provenienti da agricoltura biologica. *Agricoltura e Ricerca*, 183:59-66.
- Carrillo J.M., Vazquez J.F., Orellana J. 1990. Relationship between gluten strength and glutenin proteins in durum wheat cultivars. *Plant Breeding*, 104:325-333.
- Cassidy A. 1996. Physiological effects of phytoestrogen-sin relation to cancer and other human health risks. Proc. Symp. On Physiologically Active Substances in Plant Foods (Non-Nutritive Nutrient). London, 1946. London: Cambridge University Press.
- Chang C.Y., Seitz L.M., Chambers E. 1995. Volatile flavour components of breads made from hard red winter wheat and hard white winter wheat. *Cereal Chem.*, 72:237-242.
- Charalaumpopulos D., Pandiella S.S., Webb C. 2002. Growth studies of potential probiotic lactic acid bacteria in cereal-based substrates. *J. Appl. Microbiol.*, 92:851-859.
- Chatterton N.J., Harrison P.A., Bennet J.H., Asay K.H. 1989. Carbohydrate partitioning in 185 accessions of gramineae grown under warm and cool temperatures. *J. Plant Physiol.*, 134:169-179.
- Ciaffi M., Lafiandra D., Turchetta T., Ravaglia S., Bariana H., Gupta R., MacRitchie F. 1995. Breadbaking potential of durum wheat lines expressing both x- and y- type subunits at the Glu-A1 locus. *Cereal Chem.*, 72:465-469.
- Ciaffi M., Paolacci A.R., Umana E., Tanzarella O.A., Corbellino M., Borghi B., Porceddu E. 1998. Effetti delle elevate temperature su composizione proteica e qualità tecnologica dei frumenti. Atti delle VI giornate internazionali sul grano duro. Foggia, 1998. Foggia: Troccoli A., Di Fonzo N., De Vita P., Grafiche Grilli ed.
- Ciaffi M., Tozzi L., Borghi B., Corbellino M., Lafiandra D. 1996. Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat. *J. Cereal Sci.*, 24:91-100.
- Corbellino M., Canevar M.G., Mazza L., Ciaffi M., Lafiandra D., Borghi B. 1997. Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Aust. J. Plant Physiol.*, 24:245-260.
- Cui W., Wood P.J., Weisz J., Beer M.U. 1999. Nonstarch polysaccharides from preprocessed wheat bran: Carbohydrate analysis and novel rheological properties. *Cereal Chem.*, 76:129-133.
- D'Egidio M.G., Bellocchi A., Brandini R., Fornara M., Desiderio E. 2005a. Monitoraggio qualitativo della produzione nazionale di frumento duro. Atti XXXVI convegno S.I.A. "Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali", Foggia, 2005. Foggia: Facoltà di Agraria. 23-24.
- D'Egidio M.G., Cecchini C., Cantone M.T., Gosparini E., Dottori A., Gulli S. 2005b. Caratteristiche qualitative delle varietà in prova nel 2003/2004. *Molini d'Italia*, 1:19-38.
- D'Egidio M.G., Cecchini C., Fornara M., Delfino S. 2004. Variabilità dei frutto-oligosaccaridi in cereali coltivati in un ambiente appenninico. In: Chirioti ed. *Ricerche e Innovazioni nell'Industria Alimentare*.
- D'Egidio M.G., Cervigni T. 1998. Curarsi con gli alimenti: i cereali ricchi di fruttani. *Le Scienze*, 363:108-112.
- D'Egidio M.G., De Stefanis E., Fortini S., Galterio G., Mariani B.M., Nardi S., Sgrulletta D., Volpi M. 1983b. Untersuchung der an die Qualität der Teigwaren gebundenen Eigenschaften-Veränderungen in der Starkezusammenstzung während der Herstellung und des Kochens der Teigwaren (Research into factors governing pasta quality changes in starch composition during production and cooking of pasta products). *Getreide, Mehl Brot*, 37:55-60.
- D'Egidio M.G., Desiderio E., Cecchini C., Cantone M.T., Dottori A., Brogna G., Fornara M. 2000. Fertilizzazione azotata e qualità del frumento duro. *Molini d'Italia*, 8:39-44.
- 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.
- D'Ovidio R., Masci S. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *J. Cereal Sci.*, 39:321-339.
- Daniel C., Triboi E. 2002. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter

- wheat: effects on gliadin content and composition. *J. Cereal Sci.*, 32:45-46.
- de Filippis F., 2004. Verso la nuova PAC. La riforma del Giugno 2003 e la sua applicazione in Italia. Capitolo 11: Le modifiche delle Ocm conseguenti alla riforma: le implicazioni per l'Italia. Quaderni del forum internazionale dell'agricoltura e dell'alimentazione, n. 4, Febbraio 2004. Roma: Tellus ed., 149-164.
- De Stefanis E., Sgrulletta D., Pucciarmati S., De Vita P. 2004. Redox changes and storage protein properties in durum wheat. *Grain Quality*, 7:1323-1326.
- Debbouz A., Dick J.W., Donnelly B.J. 1994. Influence of raw material on couscous quality. *Cereal Foods World*, 39:231-236.
- Denyer K., Hylton C.M., Jenner C.F., Smith A.M. 1995. Identification of multiple isoforms of soluble and granule-bound starch synthase in developing wheat endosperm. *Planta*, 196:256-265.
- Denyer K., Hylton C.M., Smith A.M. 1994. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21:783-789.
- Desiderio E., D'Egidio M.G., Brogna G., Ciricofolo E., Codianni P., Lendini M., Mazzoncini M., Palumbo M., Porfiri O., Fornara M., Cecchini C., Dottori A., Cantone M.T. 1999. Azoto e qualità della pasta. *Terra e Vita*, 39:43-48.
- Desiderio E., D'Egidio M.G., Ciricofolo E., Codoni D., Lendini M., Palumbo M., Porfiri O., Fornara M., Cecchini C. 1998. Effetti della concimazione azotata su produzione e qualità della granella di frumento duro. *L'Inf. Agr.*, 10:31-38.
- Dexter J.E., Matsuo R.R. 1979. Effect of starch on pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *Cereal Chem.*, 56:190-195.
- Dexter J.E., Matsuo R.R. 1980. Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti contents quality. *J. Agric. Food Chem.*, 28:899-902.
- Dexter J.E., Matsuo R.R., Preston K.R., Kilborn R.H. 1981. Comparison of gluten strength, mixing properties, baking quality and spaghetti quality of some Canadian durum and common wheats. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14:108-111.
- Dexter J.E., Preston K.R., Hatcher D.W., Boyacioglu M.H., Tulbek M.C., Unal S.S. 2001a. Flat bread, chapatti and hearth bread quality of milled products varying in extraction rate from Canadian durum wheat cultivars. Proc. of the 11th ICC Cereal and Bread Congress and of the 50th Australian Cereal Chem. Conference, Melbourne, 2001. Melbourne: Wootton M., Batey I.L., Wrigley C.W. ed. *Cereal Chem. Division, Royal Australian Chemical Institute*. 673-677.
- Dexter J.E., Preston K.R., Marchilo B.A., Clarke J.M., Carcea M. 2001b. Comparison of physical dough, bread-making and pasta-making properties of some Italian and North American durum wheat cultivars of variable strength. Proc. of the 11th ICC Cereal and Bread Congress and of the 50th Australian Cereal Chem. Conference, Melbourne 2001. Melbourne: Wootton M., Batey I.L., Wrigley C.W. ed. *Cereal Chem. Division, Royal Australian Chemical Institute*. 659-663.
- 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.
- Dexter J.E., Wood P.J. 1996. Recent applications of de-branning of wheat before milling. *Trends Food Sci. Technol.*, 7:35-41.
- Di Trapani A.M., Schimmenti E. 2005. Calano le superfici di frumento duro. *L'Inf. Agr.*, 35:33-37
- Dick J.W., Matsuo R.R. 1988. Durum wheat and pasta products. In: Pomeranz Y. ed. *Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN. Wheat Chemistry and Technology*, 1:507-547.
- Donnelly B.J. 1991. Pasta: raw materials and processing. In: Lorenz K.J., Kulp K. ed. *New York: Marcel Dekker. Handbook of Cereal Science and Technology*, 763-792.
- duCros D.L. 1987. Glutenin protein and gluten strength in durum wheat. *J. Cereal Sci.*, 5:3-12.
- Dupont F.M., Altenbach S.B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. Cereal Sci.*, 38:133-146.
- Duthie S.J., Ma A., Ross M.A., Collins A.R. 1996. Antioxidant supplementation decreases oxidative DNA damage in human lymphocytes. *Cancer Res.*, 56:1291-1295.
- Eastman J., Orthoefer F., Solorio S. 2001. Using extrusion to create breakfast cereal products. *Cereal Foods World*, 46:468-471.
- Eberhardt M.V., Lee C.Y., Liu R.H. 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405:903-904.
- Edwards N.M., Biladeris C.G., Dexter J.E. 1995. Textural characteristics of whole wheat pasta and pasta containing non-starch polysaccharides. *J. Food Sci.*, 60:1321-1324.
- Edwards N.M., Dexter J.E., Scanlon M.G., Mulvaney S.J. 2003. The role of gluten and its components and protein-starch interactions in determining the rheological properties of durum wheat dough. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma. D'Egidio M.G. ed. 27-34.
- Elias E.M. 1995. Durum wheat products. In: Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. ed. *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, Serie A: Séminaires Méditerranéennes No. 40. Options Méditerranéennes, Zaragoza, España: Instituto Agronomico Mediterraneo di Zaragoza*, 23-31.
- Esposito F., Arlotti G., Bonifati A.M., Napolitano A., Vitale D., Fogliano V. 2005. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Res. Int.*, 6:1-7.
- Every D., Gilpin M., Larsen N.G. 1996. Ascorbate oxidase levels in wheat and their relationship to baking quality. *J. Cereal Sci.*, 23:145-151.
- Fares C., Novembre G., Di Fonzo N., Galterio G., Pogna N.E. 1997. Relationship between storage protein com-

- position and gluten quality in breeding lines of durum wheat (*Triticum turgidum* spp. Durum). *Agric. Medit.*, 127:363-368.
- Fares C., Paoletta G., De Ninno M., Gallo A., Sorrentino G., Di Fonzo N. 1993. Effetti della concimazione azotata e dell'irrigazione sulla qualità tecnologica del frumento duro (*Triticum durum* Desf.) in ambienti con carenza idrica. *Riv. Agron.*, 27:117-124.
- Faridi H. 1988. Flat breads. In: Pomeranz Y. ed. *Wheat Chemistry and Technology*. St. Paul, M.N.: American Association of Cereal Chemists, 457-506.
- Feil B., Stamp P. 1993. Sustainable agriculture and product quality: A case study for selected crops. *Food Rev. Int.*, 9:361-388.
- Feillet P., 1980. Wheat proteins. Evaluation and measurements of wheat quality. In: G.E. Inglett, L. Munck ed.: *Cereals for food and beverages*. New York: Academic press, 183.
- Feillet P. 1988. Protein and enzyme composition of durum wheat. In: Fabriani G., Lintas C. ed. *Durum wheat: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. 93-119.
- Feillet P., Ait-Mouh O., Kobrehel K., Autran J.C. 1989. The role of molecular weight glutenin proteins in the determination of gluten quality of pasta products. An Overview. *Cereal Chem.*, 66:26-30.
- Flaete N.E.S., Hollung K., Ruud L., Sogn T., Faergestad E.M., Skarpeid H.J., Magnus E.M., Uhlen A.K. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by FE-FPLC and proteomics. *J. Cereal Sci.*, 41:357-369.
- Flagella Z., Campanile R.G., Pastore D., Di Fonzo N. 2002. New perspectives on near infrared reflectance and chlorophyll fluorescence analysis for testing durum wheat drought tolerance. *Rec. Res. Dev. Plant Biol.*, 2:121-135.
- Flagella Z., Campanile R.G., Stoppelli M.C., De Caro A., Di Fonzo N. 1998. Drought tolerance of photosynthetic electron transport under CO₂ enriched and normal air in cereal species. *Physiol. Plant.*, 104:753-759.
- Flagella Z., Fares C., Stoppelli M.C., Vittozzi L.C., Cucchi C., De Caro A. 1997. Effetto di bassi livelli di concimazione azotata sugli aspetti quanti-qualitativi del frumento duro (*Triticum durum* Desf.). *Riv. Agron.*, 31:571-579.
- Flagella Z., Giuliani M.M., Giuzio L., De Caro A., Di Fonzo N., Masci S. 2005a. Influence of water deficit on durum wheat grain protein composition and technological quality. The 2nd international Conference on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Production Under Drought Stress. P 2.31.
- Flagella Z., Giuliani M.M., Tozzi D., Monteleone M., Tarantino E. 2005b. Risposta quanti-qualitativa della produzione biologica del frumento duro in Capitanata. Atti XXXVI Convegno SIA "Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali", Foggia, 2005. Foggia: Facoltà di Agraria, 484-485.
- Flagella Z., Giuliani M.M., Giuzio L., La Rotonda P., Fares C., De Caro A. 2004. Durum wheat grain quality under different water regimes and nitrogen fertilization levels. Proc. of the VIII ESA Congress. Copenhagen, 2004. Copenhagen, Denmark 507-508.
- Flagella Z., Pastore D., Campanile R.G., Di Fonzo N. 1995. The quantum yield of photosynthetic electron transport evaluated by chlorophyll fluorescence as an indicator of drought tolerance in durum wheat. *J. Agric. Sci., Cambridge*, 125:325-329.
- Flagella Z., Vittozzi, L.C., Platani C., Di Fonzo N. De Caro A., 2000. Effetto della salinità sull'efficienza del trasporto elettronico fotosintetico e sulla produttività del frumento duro (*Triticum durum* Desf.). *Irrigazione e Drenaggio*, 47 (1):31-36.
- Francois L.E., Maas E.V., Donovan T. J., Youngs V.L. 1986. Effects of salinity on grain and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agron. J.*, 78:1053-1058.
- Fratianni A., Irano M., Messia M.C., Trivisonno M., Panfili G. 2004. Valorizzazione di un sottoprodotto dell'industria molitoria: il germe di grano. Atti V Conv. AISTEC "Cereali: scienza e benessere dal campo alla tavola", Alghero, 2003. 229-233.
- Fratianni A., Irano M., Panfili G., Acquistucci R. 2005. Estimation of color of durum wheat. Comparison of WSB, HPLC, and reflectance colorimeter measurements. *J. Agric. Food Chem.*, 53:2373-2378.
- Fredriksson H., Salomonsson L., Andresson R., Salomonsson A.C. 1998. Effect of protein and starch characteristics on the baking properties of wheat cultivated by different strategies with organic fertilizers and urea. *Acta Agric. Scand. Section B-, Soil and Plant Science*, 48:49-57.
- Fulcher R.G., Rooney Duke T.K. 2002. Whole-grain structure and organization: implications for nutritionists and processors. In: Marquart L., Slavin J.L., Fulcher R.G. ed.: *Whole-grain Foods in Health and Disease*. 9-45.
- Fuller R. 1989. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.*, 66:365-378.
- Galterio G., Aureli G., D'Egidio 2003. Influence of environmental conditions on durum wheat protein composition. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 203-206.
- Galterio G., Ng P.K.M., Bushuk W. 1991. Statistical relationship between electrophoresis composition of proteins in pasta quality of Italian durum wheat. *Agric. Medit.*, 121:113-118.
- Garrido-Lestache E., Lopez Bellido R.J., Lopez Bellido L. 2004. Effect on N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crop Res.*, 85:213-236.
- Giannibelli M.C., Sisson M.J., Batey I.L. 1999. Effect of different waxy starches on pasta cooking quality of durum wheat. Proc. of the 49th Australian Cereal Chem. Conference. Melbourne, 1999. Melbourne: Panno J.F., Ratcliffe M., Wootton M., Wrigley C.W. ed. 260-264.
- Gianibelli M.C., Uthayakumaran S., Sissons M.J., Morell

- M.K., Batey I.L. 2001. Effects of different components of durum wheat semolina on basic rheological parameters. Proc. of the 11th ICC Cereal and Bread Congress and of the 50th Australian Cereal Chem. Conference. Melbourne, 2001. Melbourne: Wootton M., Batey I.L., Wrigley C.W. ed. Cereal Chem. Division, Royal Australian Chemical Institute, Australia, 641-644.
- Gibson G.R., Roberfroid M.B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.*, 125:1401-1412.
- Giuzio L., Giuliani M.M., La Rotonda P., Ciciretti L., De Caro A. 2005. Effetti di azoto e irrigazione su frumento duro. *L'Inf. Agr.*, 7:45-48.
- Gooding M.J., Davies W.P., Thompson A.J., Smith S.P. 1993. The Challenge of achieving breadmaking quality in organic and low input wheat in the UK-A review. *Asp. Appl. Biol.*, 36:189-198.
- Grizard D., Barthomeuf C. 1999. Non-digestible oligosaccharides used as prebiotic agents: mode of production and beneficial effects on animal and human health. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39:563-88.
- Grybowski R.A., Donnelly B.J. 1979. Cooking properties of spaghetti: factors affecting cooking quality. *J. Agric. Food Chem.*, 27:380-384.
- Guedira M., Paulsen G.M. 2002. Accumulation of starch in wheat grain under different shoot/root temperatures during maturation. *Funct. Plant Biol.*, 29:495-503.
- Guiducci M., Bonciarelli U., Benincasa P., Beccafichi C., Tei F. 2001. Valutazione di sistemi agricoli biologici e convenzionali a basso input. I) Bilancio dell'azoto e della biomassa di un avvicendamento triennale. Atti XXXIV Convegno SIA "Strategie agronomiche al servizio della moderna agricoltura". Pisa, 2001. Pisa: Felici ed. 17-18.
- Gupta R.B., MacRitchie F. 1994. Allelic variation at gluten subunit and gliadin loci, Glu-1, Glu-3 and Gli-1 of common wheats. II. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Cereal Chem.*, 19:19-29.
- Gupta R.B., Masci S., Lafiandra D., Bariana H.S., MacRitchie F. 1996. Accumulation of protein subunits and their polymers in developing grains of exaploid wheat. *J. Exp. Bot.*, 47:1337-1385.
- Guttieri M.J., Ahmad R., Stark J.C., Souza E. 2000. End-use quality of six hard red spring wheat cultivars at different irrigation levels. *Crop Sci.*, 40:631-635.
- Guttieri M.J., Stark J.C., O'Brien K., Souza E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Sci.*, 41:327-335.
- Haglund A., Johansson L., Dahlsted L. 1998. Sensory evaluation of wholemeal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *J. Cereal Sci.*, 27:199-207.
- Hugget A.C., Schliter B. 1996. Research needs for establishing the safety of functional foods. *Nutr. Rev.*, 54:S143-S148.
- Hurkman W.J., McCue K.F., Altenbach S.B., Korn A., Tanaka C.K., Kothari K.M., Johnson E.L., Bechtel D.B., Wilson J.D., Anderson O.D., DuPont F.M. 2003. Expression of genes for starch biosynthesis is regulated by high temperature in developing wheat endosperm. *Plant Sci.*, 164:873-881.
- Iafelice G., Caboni M.F., Marconi E., Cubadda R. 2004. Analisi e identificazione dei fitosteroli in frumenti esaploidi e tetraploidi. In: Chirotti ed. Ricerche e innovazioni nell'industria alimentare. Vol. VI, 334-338.
- Jacobs D.R. jr., Meyer K.A., Kushi L.H., Folsom A.R. 1998. Whole grain intake may reduce risk of coronary heart disease death in postmenopausal women: The Iowa Women's Health Study. *Am. J. Clin. Nutr.*, 68:248-257.
- Jacobs D.R., Slavin J., Marquart L. 1995. Whole grain intake and cancer: A review of literature. *Nutr. Cancer*, 22:221-229.
- Jenner C.F. 1991. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in the grain of two cultivars. I. Immediate responses. *Aust. J. Plant Physiol.*, 18: 165-177.
- Jenner C.F. 1994. Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21:791-806.
- Jia Y.Q., Fabre J.L., Aussenac T. 1996. Effects of growing location on response of protein polymerization to increased nitrogen fertilization for the common wheat cultivar Soissons: relationship with some aspects of the breadmaking quality. *Cereal Chem.*, 73:526-532.
- Johansson E., Prieto-Linde M.L., Jonsson J.O. 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.*, 78:19-25.
- Kaan F., Regnier T., Macheix J.J., Souyris I. 1998. Recent advances for blackpoint resistance in durum wheat. Proc. of the SEWANA Durum Network Workshop. Aleppo, 1998. Aleppo: Nachit M.M., Baum M., Porceddu E., Monneveux P., Picard E., ICARDA ed. 324-328.
- Karpati E.M., Bekes F., Lasztity R., Oersi F. 1990. Investigation of the relationship between wheat lipids and baking properties. *Acta Alimentaria*, 19:237-260.
- Katerji N., van Hoorn J.W., Fares C., Hamdy A., Mastroilli M., Oweis T. 2005. Salinity effect on grain quality of two durum wheat varieties differing in salt tolerance. *Agric. Water Manag.*, 75:85-91
- Kaup S.M., Walker C.E. 1986. Couscous in North Africa. *Cereal Foods World*, 31:179-182.
- Keeling P.L., Bacon P.J., Holt D.C. 1993. Elevated temperature reduces starch deposition in wheat endosperm by reducing the activity of soluble starch synthase. *Planta*, 191:342-348.
- Kobrehel K., Alary R. 1989a. The role of a low molecular weight glutenin fraction in the cooking quality of durum wheat pasta. *J. Sci. Food Agric.*, 47:487-500.
- Kobrehel K., Alary R. 1989b. Isolation and partial characterization of two low molecular weight durum wheat (*Triticum durum*) glutenins. *J. Sci. Food Agric.*, 48:441-452.
- Konic C.M., Miskelly D.M., Gras P.W. 1992. Contribution of starch and non-starch parameters to the eating quality of Japanese with salted noodles. *J. Sci. Food Agric.*, 58:403-406.
- Konopka I., Kozirok W., Rotkiewicz D. 2004. Lipids and

- carotenoids of wheat grain and flour and attempt of correlating them with digital image analysis of kernel surface and cross-sections. *Food Res. Int.*, 37:429-438.
- Kovacs M.I.P., Dahlke G., Noll J.S. 1994. Gluten viscoelasticity: its usefulness in the Canadian durum wheat breeding program. *J. Cereal Sci.*, 19:251-257.
- Kovacs M.I.P., Howes N.K., Leisle D., Skerrit J.H. 1993. The effect of high Mr glutenin subunit composition on the results from tests used to predict durum wheat quality. *J. Cereal Sci.*, 18:43-51.
- Landi A. 1995. Durum wheat, semolina and pasta quality characteristics for an Italian food company. In: Di Fonzo N., Kaan F., Nachit M. ed. *Durum wheat quality in the Mediterranean region*, 33-42.
- Langeveled S.M.J., Van Wijk R., Stuurman N., Kijne J.W., de Pater S. 2000. B-type granule containing protrusions and interconnections between amyloplast in developing wheat endosperm revealed by transmission electron microscopy and GFP expression. *J. Exp. Bot.*, 51:1357-1361.
- Liu C.Y., Rathjen A.J. 1994. Grain yield and quality characteristics of durum wheat. Proc. of the 7th Wheat breeding Assembly. Adelaide, 1994. Adelaide: Paull J.G., Dundas I.S., Shepherd K.W., Hollamby G.J. ed. 279-282.
- Liu C.Y., Shepherd K.W., Rathjen A.J. 1996. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. *Cereal Chem.*, 73:155-166.
- Lloveras J., Lopez A., Ferran J., Espachs S., Solsona J. 2001. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated mediterranean conditions. *Agron. J.*, 6:1183-1190.
- Lopez Bellido L., Fuentes M., Castillo J.E., Lopez-Garrido F.J. 1998. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Res.*, 57:265-276.
- MacLeod L.C., Duffus C.M. 1988. Temperature effects on starch granules in developing barley grains. *J. Cereal Sci.*, 8:29-37.
- Majewski M., Capel P.D. 1995. *Pesticides in the Atmosphere: Distribution, Trends, and Governing Factors*. Chelsea, MI: Annals Arbor Press.
- Malmauret L., Parent-Massin D., Hardy J.-L., Verger P. 2002. Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France. *Food Addit. Contam.*, 19:524-532.
- Marchilo B.A., Dexter J.E., Clarke J.M., Ames N. 1998. Effects of protein content on CWAD quality. In: *Wheat protein production and marketing*. Proc. of the Wheat Protein Symposium. Saskatoon, 1998. Saskatoon: Fowler D.B., Geddes W.E., Johnston A.M., Preston K.R. ed., 53-62.
- Marconi E. 2004. I cereali nella produzione di ingredienti e alimenti funzionali. *Molini d'Italia*, 4:29-37.
- Marconi E., Panfili G., Ferrante M.P., Raponi F., Falasca L., Fratianni A., Cubadda R. 2003. Functional pasta and bakery products from barley flour enriched in bioactive compounds. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2003. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 229-232.
- Mariani B.M., D'Egidio M.G., Novaro P. 1995. Durum wheat quality evaluation: influence of genotype and environment. *Cereal Chem.*, 72:194-197.
- Masoni A. 2002. Agricoltura: sicurezza alimentare e ambientale. *Riv. Agron.*, 36:101-125.
- Matsuo R.R., Dexter J.E. 1980. Relationship between some durum wheat characteristics and semolina milling properties. *Can. J. Plant Sci.*, 60:49-53.
- Mc Keehen J.D., Busch R.H., Fulcher R.G. 1999. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) phenolic acids during grain development and their contribution to Fusarium resistance. *J. Agric. Food Chem.*, 47:1476-1482.
- Meyer K.A., Kushi L.H., Jacob D.R. Jr., Slavin J., Sellers T.A., Folsom A.R. 2000. Carbohydrates, dietary fiber, incident type 2 diabetes mellitus in older women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71:921-930.
- Misra B.K. 1998. Quality needs for Indian traditional products. In: Nagarajan S., Singh G., Tyagi B.S. ed. *Wheat research needs beyond 2000 AD*. Proc. of the International Group Meeting, Karnal, India. Dehli, India: Narosa Publishing House. 313-319.
- Miura H., Tanii S. 1994. Endosperm starchy properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodle. *Euphytica*, 72:171-175.
- Mongeau R. 2003. Dietary fibre. In: Macrae R., Robinson R.K., Sadler M.J. ed. *Encyclopaedia of Food Science and Nutrition*. Academic Press, 1362-1387.
- Morancho J. 2000. Production et commercialisation du blé dur dans le monde. In: *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges; Options Méditerranéennes*, 40:29-33.
- Moretti A., Mulè G., Visconti A., Ritiene A. 2003. Mycotoxin contamination and fusarium head blight complex: to years of investigations on wheat in Italy. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2003. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 127-134.
- Morris C.F. 2002. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Mol. Biol.*, 48:633-647.
- Moss H.J., Randall P.J., Wrigley C.W. 1983. Alteration to grain, flour and dough quality in three wheat types with variation in soil sulphur supply. *J. Cereal Sci.*, 1:255-264.
- Muller S., Vensel W.H., Kasarda D.D., Koler P., Weiser H. 1998. Disulphide bonds of adjacent cysteine residues in low molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.*, 27:109-116.
- Nachit M.M. 1998. Durum breeding research to improve dryland productivity in the Mediterranean region. Proc. of the SEWANA Durum Network Workshop. Aleppo, 1998. Aleppo: Nachit M.M., Baum M., Porceddu E., Monneveux P., Picard E. ed. 1-15.
- Nicodemus K.K.; Jacobs D.R. Jr., Folsom A.R. 2001. Whole and refined grain intake and risk of incident postmenopausal breast cancer. *Cancer Causes Control*, 12:917-925.
- Nicolas M.E., Gleadow R.M., Dalling M.J. 1984. Effects

- of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.*, 11:553-566.
- 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.
- Novaro P., D'Egidio M.G., Mariani B.M., Nardi P. 1993. Combined effect of protein content and high temperature drying systems on pasta cooking quality. *Cereal Chem.*, 70:716-719.
- Ohm J.B., Chung O.K. 2002. Relationships of free lipids with quality factors in hard winter wheat flours. *Cereal Chem.*, 79:274-278.
- Pagani M.A., Casiraghi M.C., Zardi M., D'Egidio M.G., Cecchini C. 2003. Characteristics of pasta-products with immature wheat grain meal. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2003. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 233-236.
- Pagnotta M.A., Blanco A., Gadaleta A., Fares C. 2005. Functional determinants of grain quality. In: Royo C. et al. ed. Durum wheat breeding. Current approaches and future strategies, Binghamton, NY: Food Products Press, 483-527.
- Palumbo M., Spina A., Boggini G. 2002. Bread-making quality of italian durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *Italian J. Food Sci.*, 2:123-133.
- Palumbo M., Spina A., Boggini G. 2003. Caratteristiche qualitative e attitudine panificatoria delle nuove varietà di frumento duro. *Cereali: Scienza e Benessere dal Campo alla Tavola, risultati del triennio 2000-2002*, 69-72.
- Panfili G., Fratianni A., Di Criscio T., Giuzio L., Flagella Z. 2005. Influenza dello stress idrico e della concimazione azotata e solfatica sul contenuto di antiossidanti lipidici nel frumento duro. *Atti XXXVI Conv. SIA "Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-ambientali"*. Foggia, 2005. Foggia: Facoltà di Agraria. 342-343.
- Paradiso A., Cecchini C., de Pinto M.C., D'Egidio M.G., De Gara L. 2003. Fructans and vitamin C contents in immature and mature kernels of triticum durum and in their wholemeal. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2002. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 219-221.
- Parker M.L. 1985. The relationship between A-type and B-type starch granules in the developing endosperm of wheat. *J. Cereal Sci.*, 3:271-278.
- Pascale M., Bottalico A., Pancaldi D., Perrone G., Visconti A. 2002. Occurrence of deoxynivalenol in cereals from experimental fields in different Italian regions. *Petria*. In stampa.
- Pastore D., Tozzi D., Pompa M., Tarantino E., Flagella Z. 2004. Attività antiossidante della granella di frumento duro (*Triticum durum* Desf.) e reazioni della Lipossigenasi. *Atti V Convegno AISTEC "Cereali: scienza e benessere dal campo alla tavola"*, Alghero, 2003. 27-33.
- Pastore D., Trono D., Padalino L., Di Fonzo N., Passarella S. 2000a. P-Nitrosodimethylaniline (RNO) bleaching by soybean lipoxygenase-1. Biochemical characterization and coupling with oxodienes formation. *Plant Physiol. Biochem.*, 38:845-852.
- Pastore D., Trono D., Padalino L., Simone S., Valenti D., Di Fonzo N., Passarella S. 2000b. Inhibition by α -Tocopherol and L-Ascorbate of Linoleate Hydroperoxidation and β -Carotene Bleaching Activities in Durum Wheat Semolina. *J. Cereal Sci.*, 31:41-54.
- Payne P.I., Jackson E.A., Holt L.M. 1984. The association between gamma-gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct casual effect of the result of genetic linkage? *J. Cereal Sci.*, 2:73-81.
- Peckanek U., Karger A., Groger S., Charvat, B., Schoggl G., Lelley T. 1997. Effect of nitrogen fertilization on quantity of flour protein components, dough properties, and breadmaking quality of wheat. *Cereal Chem.*, 74:800-805.
- Peña R.J. 1995. Quality improvement of wheat and triticale. In: Rajaram S., Hettel G.P. ed. *Wheat Breeding at CIMMYT. Commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement. Wheat Special Report No. 29*. Mexico: D.F. CIMMYT, 100-111.
- Peña R.J. 2000. Durum wheat for pasta and breadmaking. Comparison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters. In: Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. ed. *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, Serie A: Séminaires Méditerranéennes No. 40. Options Méditerranéennes, Zaragoza, España: Instituto Agronomico Mediterraneo di Zaragoza*, 423-430.
- Peña R.J., Pteiffer W.H. 2005. Breeding methodologies and strategies for durum wheat quality improvement. In: Royo C. et al., ed. *Durum wheat breeding. Current approaches and future strategies*, Binghamton, NY: Food Product Press, 663-703.
- 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 (*Triticum turgidum*) cultivars. *J. Cereal Sci.*, 19:243-249.
- Pence J.W., Weinstein N.E., Mecham D. 1954. The albumin and globulin contents of wheat flour and their relationship to protein quality. *Cereal Chem.*, 31:303-311.
- Peng M., Gao M., Abdel-Aal E.-S.M., Hucl P., Chibbar R.N. 1999. Separation and characterization of the A- and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chem.*, 76:375-379.
- Peressini D., Sensidoni A., Bravin B., Pollini C.M., D'Egidio M.G. 2003. Effects of environment and cropping practices on protein composition and dough viscoelastic properties of durum wheat. Proc. of the 2nd International Workshop on "Durum wheat and pasta quality: recent achievements and new trends". Roma, 2003. Roma: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura CRA ed. 211-213.
- Peri C. 1998. La qualità degli ortofrutticoli freschi e trasformati, principi-tecnico-applicazioni. *Seminari; Istituto Sperimentale per la Valorizzazione Tecnologica*

- dei Prodotti Agricoli (IVTPA), Milano, 22 Aprile 1998.
- Pilone V. 2002. La distribuzione e la commercializzazione della pasta biologica in Italia. In: Newsletter, 1:16-20.
- Pogna N.E., Lafiandra D., Feillet P., Autran J.C. 1988. Evidence for direct casual effect of low molecular weight subunits of glutenin of gluten viscoelasticity in durum wheats. *J. Cereal Sci.*, 7:211-214.
- Porceddu E., Turchetta T., Masci S., D'Ovidio R., Lafiandra D., Kasarda D.D., Impiglia A., Nachit M.M. 1998. Variation in endosperm protein composition and technological quality properties in durum wheat. *Euphytica*, 100:197-205.
- Prabhavathi C., Haridas R.P., Shurpalekar S.R. 1976. Bread and chapatti making quality of Indian durum wheats. *J. Food Technol.*, (Mysore) 13:313-317.
- Qarooni J. 1994. Historic and present production, milling and baking industries in the countries of the Middle East and North Africa. Department of Grain Science and Industry, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Quaglia G.B. 1988. Other durum wheat products. In: Fabriani G., Lintas C., ed. Durum wheat: Chemistry and Technology. St. Paul, M.N.: American Association of Cereal Chem., 263-282.
- Quick J.S., Crawford R.D. 1983. Bread baking potential of new durum wheat cultivars. Proc. of the 6th International Wheat Genetic Symposium. Kyoto, 1993. Kyoto: Sakamoto S., ed. Plant Germplasm Institute, Kyoto University, Maruzen Co., Ltd. 851-856.
- Rahman S., Kosar-Hashemi B., Samuel M., Hill A., Abbott D.C., Skerriit J.H., Preiss J., Appels R., Morell M.K. 1995. The major proteins of wheat endosperm starch granules. *Aust. J. Plant Physiol.*, 22:793-803.
- Rahman S., Li Z., Batey I., Cochrane M.P., Appels R., Morell M. 2000. Genetic alteration of starch functionality in wheat. *J. Cereal Sci.*, 31:91-110.
- Randall P.J., Wriegly C.W. 1986. Effects of sulphur supply on the yield, composition and quality of grain from cereal, oilseeds and legumes. *Adv. Cereal Sci. Technol.*, 8:171-206.
- Rao A.C.S., Smith J.L., Jandhyala V.K., Papendick R.I., Parr J.F. 1993. Cultivar and climatic effects on protein content of soft white winter wheat. *Agron. J.*, 85:1023-1028.
- Rao V.K., Mulvaney S.J., Dexter J.E., Edwards N.M., Pernessini D. 2001. Stress-relaxation properties of mixograph semolina-water doughs from durum wheat cultivars of variable strength in relation to mixing characteristics, bread and pasta-making performance. *J. Cereal Sci.*, 34:215-232.
- Rayas-Duarte P., Mock C.M., Satterlee L.D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chem.*, 73:381-387.
- Rharrabi Y., Royo C., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral L.F. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Res.*, 80:123-131.
- Rijven A.H.G.C. 1986. Heat inactivation of starch synthase in wheat endosperm tissue. *Plant Physiol.*, 81:448-453.
- Rotter B.A., Prelusky D.B., Pestka J.J. 1996. Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). *J. Toxicol. Environ. Health*, 48:1-34.
- Ruggiero C., Maggio A. 2004. Agronomia e qualità delle produzioni agrarie. *Riv. Agron.*, 38:3-31.
- Salomonsson L., Jonsson A., Salomonsson A.C., Nilsson G. 1994. Effects of organic fertilizers and urea when applied to spring wheat. *Acta Agric. Scand. Section B-, Soil and Plant Science*, 44:170-178.
- Salomonsson L., Salomonsson A.C., Olofsson S., Jonsson A. 1995. Effects of organic fertilizers and urea when applied to winter wheat. *Acta Agric. Scand. Section B-Soil and Plant Science*, 45:171-180.
- Schneeman B.O. 1999. Building scientific consensus: the importance of dietary fiber. *Am. J. Clin. Nutr.*, 25:691-699.
- Senter S.D., Horvat R.J., Forbus W.R. 1983. Comparative GLC-MS analysis of phenolic acids of selected tree nuts. *J. Food Sci.*, 48:798.
- Sgrulletta D., De Stefanis E., Cammerata A., Conciatori A., Turbanti G. 2004. La qualità del frumento rilevata nei centri di stoccaggio. *L'Inf. Agr.*, 32:27-30.
- Shewry P., Halford N.G. 2002. Cereal seed proteins: structure, properties and role in grain utilization. *J. Exp. Bot.*, 53:947-958.
- Shewry P.R. 1995. Plant storage protein. *Biol. Rev.*, 70:375-426.
- Shewry P.R., Tatham A.S. 1997. Biotechnology of wheat quality. *J. Sci. Food Agric.*, 73:397-406.
- Shewry P.R., Tatham A.S., Forde J., Kries M., Mifflin B.J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *J. Cereal Sci.*, 4:97-106.
- Shewry P.R., Tatham A.S., Halford N.G. 2001. Nutritional control of storage protein synthesis in developing grain of wheat and barley. *Plant Growth Regul.*, 34:105-111.
- Soffield I., Evans L.T., Cook M.G., Wardlaw I.F. 1977b. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.*, 4:785-797.
- Strobel E., Ahrens P., Hartmann G., Kluge H., Jeroch H. 2001. Gehalt an inhaltsstoffen von weizen, roggen und hafer bei anbau unter konventionellen und den bedingungen des ökologischen landbaus. *Bodenkultur*, 53:221-231.
- Takaoka M., Watanabe S., Sassa H., Yamamori M., Nakamura T., Sasakuma T., Hirano H. 1997. Structural characterization of high molecular weight starch-bound proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 45:2929-2934.
- Tashiro T., Wardlaw I.F. 1989. A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. *Ann. Bot.*, 64:59-65.
- Tea I., Genter T., Violleau F., Kleiber D. 2005. Changes in the glutathione thiol-disulfide status in wheat grain by foliar sulphur fertilization: consequences for the rheological properties of dough. *J. Cereal Sci.*, 41:305-315.
- Tester R.F., Karkalas J. 2001. The effects of environmental conditions on the structural features and physico-chemical properties of starches. *Starch/Starke*, 53:513-519.

- Thompson L.U. 1994. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34:473-497.
- Tognetti J.A., Calderòn P.L., Pontis H.G. 1989. Fructan metabolism: reversal of cold acclimation. *J. Plant Physiol.*, 134:232-236.
- Tomatis L., Melnick R.L., Haseman J., Barrett J.C., Huff J. 2001. Alleged "misconceptions" distort perceptions of environmental cancer risks. *FASEB Journal*, 15:195-203.
- Tozzi D., Fratianni A., Panfilì G., Flagella Z., Pastore D. 2005. Attività antiossidante totale valutata mediante il nuovo metodo LOX/RNO (Lipossigenasi/p-nitrosodimetilanilina) in frazione liofila estratta da granella di frumento duro (*Triticum durum* Desf.). Atti VI Convegno AISTEC. Valenzano, 2005. In stampa.
- Triboi E., Abad A., Michelena A., Lloveras H., Ollier J.L., Daniel C. 2000. Environmental effect on the quality of two wheat genotypes: I. Quantitative variation of storage proteins. *Eur. J. Agron.*, 13:47-64.
- Triboi E., Martre P., Triboi-Blondel A. 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *J. Exp. Bot.*, 54:1731-1742.
- Trocchi A., Borrelli G.M., De Vita P., Fares C., Di Fonzo N. 2000. Durum wheat quality: A Multidisciplinary Concept. *J. Cereal Sci.*, 32:99-113.
- Trono D., Pastore D., Di Fonzo N. 1999. Carotenoid dependent inhibition of durum wheat lipoxygenase. *J. Cereal Sci.*, 29:99-102.
- Tudorica C.M., Kuri V., Brennan C.S. 2002. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *J. Agric. Food Chem.*, 50:347-356.
- Vazquez J.F., Ruiz M., Nieto-Taladriz M.T., Albuquerque M.M. 1996. Effects of gluten strength of low Mr Glutenin subunits coded by alleles at Glu-A3 and Glu-B3 loci in durum wheat. *J. Cereal Sci.*, 24:125-130.
- Wieser H., Gutser R., von Tucher S. 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. Cereal Sci.*, 40:239-244.
- Wieser H., Seilmeier W. 1998. The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *J. Sci. Food Agric.*, 76:49-55.
- Williams P.C., El-Haramein F.J., Adleh B. 1984. Burghul and its preparation. *Rachis*, 3:28-30.
- Winfield J. 1989. Dictionary of milling terms and equipment. Kansas City, Missouri: Association of Operative Millers.
- Woese K., Lange D., Boess C., Bögl K.W. 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods-results of a review of the relevant literature. *J. Sci. Food Agric.*, 74:281-293.
- Wooding A.R., Kavale S., Wilson A.J., Stoddard F.L. 2000a. Effects of nitrogen and sulphur fertilizer on commercial-scale wheat quality and mixing requirements. *Cereal Chem.*, 77:791-797.
- Wooding A.R., Kavale S., Wilson A.J., Stoddard F.L. 2000b. Effects of nitrogen and sulphur fertilizer on protein composition, mixing requirements and dough strength of four wheat cultivars. *Cereal Chem.*, 77:798-780.
- Worthington V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Alt. Comp. Med.*, 7:161-173.
- Wrigley C.W., Blumenthal C., Gras P.W., Barlow E.W.R. 1994. Temperature variation during grain filling and changes in wheat-grain quality. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21:875-885.
- Wrigley C.W., duCros D.L., Fullington J.G., Kasarda D.D. 1984. Changes in polypeptide composition and grain quality due to sulphur deficiency in wheat. *J. Cereal Sci.*, 2:15-24.
- Yu L., Perret J., Harris M., Wilson J., Haley S. 2003. Antioxidant properties of bran extracts from "Akron" wheat grown at different locations. *J. Agric. Food Chem.*, 51:1566-1570.
- Zanni G. 2003. La rintracciabilità come strumento per la valorizzazione di una filiera biologica. Progetto di ricerca finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. *Newsletter*, 2:37-52.
- Zardi M., Pagani M.A., D'Egidio M.G., Cecchini C. 2004. Qualità panificatoria di miscele di frumento integrate con granella immatura. In: Chirotti ed. *Ricerche ed innovazioni nell'industria alimentare*. vol. VI. 616-620.
- Zhao X.C., Batey I.L., Sharp P.J., Crosbie G., Barclay I., Wilson R., Morell M.K., Appels R. 1998. A single locus associated with starch granule properties and noodle quality in wheat. *J. Cereal Sci.*, 27:7-13.
- Ziemer C.J., Gibson G.R. 1998. An overview of probiotics, prebiotics and synbiotics in the functional food concept: perspectives and future strategies. *Intern. Dairy J.*, 8:474-479.