

Giornata di studio:

## Cereali e salute

Cereali per la dieta mediterranea:  
innovazioni e prospettive dal campo alla tavola

Firenze, 2 dicembre 2019

### *Relatori*

Amedeo Alpi, Emanuele Marconi, Philip J. White, Massimo Blandino,  
Laura Ercoli, Elisa Pellegrino, Alessandra Marti, Ambrogina Pagani,  
Claudio Passino, Milena Vainieri, Vincenzo Lionetti, Luana Ricci  
Paulesu, Cristina Messia, Elisa De Arcangelis, Ugo Giambastiani,  
Dino Domenici, Roberto Pardini, Simone Orlandini, Marco Mancini

## Sintesi

Da molti lustri tutti i mezzi di comunicazione ci informano su tematiche inerenti l'alimentazione, registrando una notevole partecipazione popolare e, come ricaduta, è cresciuta una cultura generica di base su questo argomento. La cosa è da salutare come positiva perché l'alimentazione è una scelta culturale di forte rilievo, anche identitario. Subito dopo va comunque detto che, in questa dilagante diffusione mass-mediatica di notizie, si è forse perso il senso del limite, arrivando a trasmettere persino idee stravaganti del tutto estranee alle procedure scientifiche che, anche in questo campo, hanno il dovere di assicurare i consumatori. Un'ulteriore considerazione è la prevalenza, in questa nube di vario giornalismo, della alimentazione sulla agricoltura, che, rappresentando la fonte delle materie prime alimentari, dovrebbe essere opportunamente valutata e considerata.

Ma parlare di agricoltura è probabilmente meno adatto ai salotti – più o meno virtuali – e si preferisce parlare di alimentazione, anziché da dove provengono gli alimenti stessi. Infine la salute: argomento che ci vede tutti in allerta e attenti, ma, ciononostante, anche in quest'ambito si leggono – e si sentono – affermazioni quanto meno discutibili.

Considerato tutto ciò, l'Accademia dei Georgofili ha ritenuto opportuno organizzare una giornata di studio volta a dare adeguate informazioni su un settore non marginale della nostra agricoltura e dell'alimentazione, in rapporto con la nostra salute. Il tutto grazie alla validità dei dati raccolti da un variegato gruppo di ricercatori che lavorano in laboratori diversi e su tematiche assai diversificate, ma tendenti tutti alla verifica della buona alimentazione per una buona salute, e con una robusta sottolineatura di metodi di indagine moderni e promettenti.

PHILIP J. WHITE

Vedi testo p. 313.

MASSIMO BLANDINO

Vedi testo p. 325.

LAURA ERCOLI, ELISA PELLEGRINO

Vedi testo p. 333.

ALESSANDRA MARTI<sup>1</sup>, AMBROGINA PAGANI<sup>2</sup>

*I processi di trasformazione dei cereali tra tradizione e innovazione*

<sup>1,2</sup> Università degli Studi di Milano

L'interesse per alimenti che richiamano il passato è, paradossalmente in questi tempi di grande sviluppo tecnologico, in forte e continua crescita. Molti consumatori ritengono, infatti, che alimenti ottenuti con materie prime di provenienza locale (km 0) e con processi tecnologici simili a quelli utilizzati in passato possiedano una migliore qualità, soprattutto da un punto di vista salutistico e sensoriale. Un esempio di questa tendenza è rappresentato dai cereali e legumi germinati (o germogliati), sempre più frequenti sugli scaffali di negozi alimentari e supermercati, in particolare nei paesi occidentali.

Questa relazione esaminerà criticamente questo *trend*, evidenziando punti di forza, sfide e potenziali soluzioni tecnologiche per la produzione di alimenti arricchiti con grani germinati (cereali, pseudocereali e legumi). In particolare, verranno considerati i principali effetti della germinazione (condotta in condizioni controllate) sui componenti del chicco, focalizzandosi sulle caratteristiche funzionali della farina e dei relativi prodotti finiti.

Complessivamente, i grani germinati possono rappresentare nuovi ingredienti nei prodotti tradizionali a base di cereali (quali il pane e i prodotti da forno), grazie alle interessanti e migliorate proprietà tecnologiche delle farine prodotte da questi grani.

The processes of transformation of cereals between tradition and innovation  
*Nowadays, there is a great interest towards products that evoke nostalgia for*

*earlier times. Perceptions of health and quality surround foods made using locally sourced ingredients and/or old-fashioned techniques. Sprouted grains, an outgrowth of this trend, are on the rise in grocery stores, particularly in Western countries.*

*Due to the great interest in this topic, this presentation explores the sprouting trend, highlighting strengths, challenges, and potential solutions for the production of sprouted grains-enriched products. Case-studies on sprouted cereals, pseudocereals and pulses will be presented, summarizing the main effects of sprouting on grain components with particular focus on flour functionality and sensory traits. Overall, sprouted grains can be used as new ingredients in conventional cereal-based products thanks to the capacity of sprouting to enhance flour functionality.*

CLAUDIO PASSINO<sup>1</sup>

*Dall'infarto allo scompenso cardiaco:  
dimensioni del problema e meccanismi fisiopatologici*

<sup>1</sup> Scuola Superiore Sant'Anna

Lo scompenso cardiaco rappresenta la via finale comune di molte cardiopatie. Tra le principali cause di scompenso vi è la cardiopatia ischemica nei Paesi "occidentali": un infarto miocardico è infatti presente nella storia clinica di circa il 40% dei pazienti affetti da questa sindrome che è una patologia cronica e rappresenta un importante problema socio-sanitario ed economico. Se da una parte la sopravvivenza a un infarto miocardico a seconda delle casistiche può arrivare anche oltre il 95%, questi pazienti possono sviluppare nel corso del tempo, anche dopo diversi anni, segni e sintomi di scompenso cardiaco. La terapia farmacologica negli anni si è arricchita di varie molecole efficaci nel ridurre i sintomi e nel migliorare la sopravvivenza dei pazienti affetti da scompenso cardiaco. Tuttavia, la mortalità a 5 anni, anche in centri di eccellenza, è alta e nuove armi devono essere identificate per combattere questa sindrome. Su questa linea, da anni si inseriscono, con un consolidato effetto positivo sulla prognosi, gli interventi per il controllo dei fattori di rischio cardiovascolare (fumo, ipertensione arteriosa, diabete, dislipidemia e obesità) e sullo stile di vita (con particolare attenzione alla lotta alla sedentarietà). L'idea di utilizzare cibi funzionali per la prevenzione primaria e secondaria dello scompenso cardiaco rientra in quest'ultima tipologia di interventi: studi sperimentali stanno, infatti, ponendo le basi fisiopatologiche per dimostrare

le potenzialità di questo approccio, anche se dati di impatto sulla prognosi dei pazienti al momento non esistono.

From heart attack to heart failure: problem dimension and pathophysiological mechanisms *Heart failure is the common final pathway of many cardiac diseases. Ischemic heart disease is the main cause of heart failure in "western" countries: a myocardial infarction is in fact present in the clinical history of about 40% of patients suffering from this chronic syndrome which represents an important social, health and economic burden. While survival after an acute myocardial infarction can reach over 95% of cases, these patients may develop signs and symptoms of heart failure even after several years from the acute event. Drug therapy has dramatically improved patients' symptoms and prognosis. However, 5-year mortality, even in top-quality clinical centers, is still high and new strategies have to be identified to fight this syndrome. Along these lines, interventions to reduce exposition to cardiovascular risk factors (smoking, arterial hypertension, diabetes, dyslipidemia and obesity) and to improve lifestyle (e.g. Mediterranean diet and aerobic physical activity) are already essential components of the "therapy" of heart failure patients and have been demonstrated to hold prognostic value. The idea of using functional foods for primary and secondary prevention of heart failure is intriguing: experimental studies are, in fact, laying the physiopathological basis for potential benefit of this approach, even if impact data on prognosis are not currently available.*

MILENA VAINIERI<sup>1</sup>

*Quanto è gradito il pane funzionale?*

<sup>1</sup> Scuola Superiore Sant'Anna

I *functional food* sono alimenti utilizzati quotidianamente nell'ambito di una normale dieta, composti da ingredienti che fanno normalmente parte del prodotto, con concentrazioni aumentate oppure composti da ingredienti aggiunti che normalmente non rientrano nella composizione del prodotto stesso. In particolare, il mercato del *cardiohealth functional food*, ossia la domanda di alimenti funzionali dedicati alla salute del cuore e alla diminuzione del rischio di patologie del sistema cardiocircolatorio, segue una crescita indipendente dal mercato generale del *functional food* tanto da poter essere considerato una nicchia di mercato. Lo scopo di questa ricerca

è quella di indagare le abitudini e la propensione al consumo e all'acquisto di alimenti funzionali di pazienti con scompenso cardiaco all'interno del più ampio progetto F.A.T.E.Pre.Sco (Frumento Antico Toscano Epigeneticamente attivo per la Prevenzione dello Scompenso cardiaco) finanziato dalla Regione Toscana.

L'indagine ha previsto la somministrazione, nell'arco di 3 mesi, di un questionario a un campione di 100 pazienti ricoverati presso un reparto di Malattie Cardiovascolari del Sistema sanitario pubblico toscano.

Gli intervistati si dividono tra chi è poco o per nulla fiducioso nei dichiarati effetti benefici degli alimenti funzionali (42% circa) e chi invece esprime in questi fiducia o molta fiducia (42% circa). Il 75% crede che tali alimenti possano prevenire alcune malattie. Più del 50% degli intervistati si è detto propenso o molto propenso all'acquisto di un prodotto con le caratteristiche funzionali volte a prevenire lo scompenso cardiaco. Tale propensione cresce fino al 91% qualora il consumo dello stesso fosse consigliato dal proprio cardiologo.

Sulla base dei risultati ottenuti, un pane che presenta caratteristiche funzionali che prevengono lo scompenso cardiaco ha le potenzialità per collocarsi sul mercato del *functional food*, nel mercato di nicchia (popolazione affetta da scompenso cardiaco).

*How much functional bread is appreciated? Functional food are daily used in the common diet. In particular, the cardiohealth functional food, can be considered an independent niche more stable in terms of growth than the general functional food.*

*The present study analyzed the patient confidence and propensity to consume food with functional characteristics, to which FATEPreSco bread aspires to have, through the administration of a questionnaire. The questionnaire was administered to a sample of about 100 patients admitted to a ward of Cardiovascular diseases of the Tuscan public health system.*

*The survey involved the administration of a paper questionnaire (PAPI), over a 3-month period, to a sample of 100 patients with cardiac heart failure, admitted to the Cardiovascular Diseases Unit of the Toscana Foundation Gabriele Monasterio di Pisa. The questionnaire was distributed by the nursing staff during the patients' stay. The questionnaire included a total of 38 questions. In addition to the aspects relating to functional foods, registry questions related to lifestyles were included. The questions on functional food have been identified and based on a specific literature reconnaissance (Urala and Lahteenmaki 2004; Verbeke 2005, 2006; Urala and Lahteenmaki 2005, 2007; Sirò et al 2008; Finley*

2016). For questions relating to lifestyles, we referred to the specific section of the Istat multi-purpose survey (ISTAT 2016).

Respondents are divided between those who not very confident or not at all confident in the declared beneficial effects of functional foods (around 42%), and those who express confidence or a lot of confidence (around 42%) in. 75% believe that these foods can prevent some diseases. In particular, more than 50% of respondents say they are willing to buy a bread with functional characteristics aimed at preventing heart failure. This propensity grows up to 91% if the consumption is recommended by cardiologists.

The results obtained show that a bread with functional characteristics that prevent heart failure has the potential to be placed on the functional food market, in a niche market made up of a population suffering from cardiovascular diseases.

LUANA RICCI PAULESU

Vedi testo p. 341.

CRISTINA MESSIA, ELISA DE ARCANGELIS

Vedi testo p. 349.

UGO GIAMBASTIANI<sup>1</sup>, DINO DOMENICI<sup>2</sup>

*Esperienza del progetto F.A.T.E.Pre.Sco e prospettive*

<sup>1</sup> Molino Flli Giambastiani

<sup>2</sup> Panificio Domenici

Il progetto F.A.T.E.Pre.Sco nasce con lo scopo di valorizzare le proprietà cardio-funzionali del Pane Toscano. Quando il prof. Lionetti mi ha contattato spiegandomi l'obiettivo della ricerca sono stato subito affascinato da questo progetto e successivamente conoscendo tutti gli altri attori coinvolti in questa iniziativa mi sono sentito orgoglioso di venire a contatto con strutture come la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa di cui tutti voi conoscete l'eccellenza.

L'interesse verso la mia azienda, di cui potete vedere una piccola presentazione, e alla mia persona è sicuramente dovuta all'iniziativa che fu pensata molti anni fa, nel lontano 2002, e realizzata nel 2016 con il riconoscimento a livello Europeo della D.O.P. del Pane Toscano.

Il progetto F.A.T.E.Pre.Sco non poteva prescindere dalle caratteristiche riscontrate nella produzione del Pane Toscano DOP; il grano tenero utilizzato è derivato da vecchi genotipi con le loro peculiarità, le farine, il pane, sono certificati in tutti i loro processi: dalla coltivazione del seme, passando dallo stoccaggio, alla macinazione, alla produzione del pane con l'utilizzo della madre acida seguendo il rigoroso disciplinare di produzione approvato in sede europea.

Lo scopo ed i risultati del progetto F.A.T.E.Pre.Sco sono stati illustrati dai vari relatori che mi hanno preceduto.

Dopo che abbiamo verificato i risultati ottenuti a livello sperimentale, tutti noi partecipanti all'iniziativa siamo stati affascinati ed ancor più convinti a proseguire nello studio e nella sua applicazione.

Tuttavia rimango dell'idea, da me più volte esternata in sede di riunioni, che debbano essere fatti ulteriori sforzi da parte di tutti (ricercatori – industrie – artigiani e principalmente dalle Istituzioni), per far capire l'importanza di ciò per cui abbiamo lavorato in questi anni e dei risultati ottenuti, in modo da rendere queste scoperte applicabili alla realtà quotidiana divulgando i vantaggi che tutti ne possono trarre.

La ricerca è importantissima ma non può rimanere inapplicata e non può viaggiare senza una stretta sinergia con l'industria e con la parte produttiva, commerciale ed istituzionale.

*Experience of the F.A.T.E.Pre.Sco project and prospectives The project F.A.T.E.Pre.Sco was created with the aim of valorization of the cardiofunctional properties of Tuscan Bread. When Prof. Lionetti contacted me explaining the objective of the research I was immediately fascinated by this project and subsequently knowing all the other actors involved in this initiative I felt proud to come into contact with structures such as the Scuola Superiore Sant'Anna of Pisa of which you all know the excellence.*

*The interest towards my company, of which I show a small presentation, and to me is certainly due to the initiative that was thought many years ago, back in 2002, and realized in 2016 with the recognition to European level of the PDO of Pane Toscano.*

*The project F.A.T.E.Pre.Sco could not ignore the characteristics of Pane Toscano D.O.P.; the bread wheat used is derived from old bread wheat genotypes with their peculiarities, the flours and the bread are certified in all the transformation processes: from wheat cultivation, to storage, grinding, and bread making with the use of sourdough following the EU production protocol.*

*The purpose and results of the project F.A.T.E.Pre.Sco have been illustrated by the speakers who preceded me.*



*After having verified the results obtained at experimental level, all the participants to the initiative were fascinated and even more convinced to continue the study and to apply the results.*

*However, I still believe that, as expressed during the meetings, further efforts must be made by all stakeholders (researchers – industries – artisans and mainly by the Institutions), to make people understand the importance of what we have worked for in these years and the results obtained, to make these results applicable to everyday reality by spreading the benefits that everyone can draw from them. Research is very important but cannot remain inapplicable and cannot travel without a close synergy with the industry and with the productive, commercial and institutional part.*

ROBERTO PARDINI<sup>1</sup>

*Il pane DOP toscano*

<sup>1</sup> Consorzio di Tutela Pane Toscano DOP

Mi corre l'obbligo di fare una premessa sul pane toscano DOP e l'utilizzo della materia prima, le varietà del grano toscano. Il progetto per una DOP per il pane toscano ha avuto inizio circa dodici anni fa, guidato principalmente da una volontà del mondo della panificazione; abbiamo però fatto i conti con il mondo agricolo e le opportunità produttive che ad esso coincidevano. All'epoca era emerso uno scarso interesse da parte degli agricoltori per il frumento tenero ed in particolare per quelle varietà tradizionali toscane "le così dette antiche". Ciò era dettato principalmente dalla mancanza di una giusta remunerazione a fronte della fatica degli agricoltori toscani, che dovevano fare i conti non solo con la concorrenza dei frumenti esteri ma anche con gli stessi nazionali i cui territori avevano un rapporto di resa per ettaro nettamente superiore alla nostra regione. Ecco come il pane toscano ha deciso per una scelta consapevole di biodiversità e per riprendere a seminare grano tenero in Toscana e in particolare quelle varietà sia a cariosside rossa (Centauro, Bilancia, Serio, Verna, Pandas) che a cariosside bianca (Mieti, Mec, Marzotto, Bolero), che sono state l'elemento discriminante per il riconoscimento della DOP da parte della Comunità Europea (insieme a tutti gli altri elementi di storicità: metodo di lavorazione e le tradizioni); dando la giusta remunerazione agli agricoltori. Pertanto il pane toscano DOP rappresenta il ritorno del grano tenero in Toscana con varietà tradizionali del territorio ed un equilibrato valore

proteico in fase di macinazione dei vari tipi di grano, come previsto dal Disciplinare di Produzione. Un prodotto che rappresenta la difesa delle tradizioni della panificazione toscana, seguendo i dettami dei regolamenti per le DOP, pertanto fotografando “il pane toscano” degli ultimi trenta anni (grano tenero toscano, farina di tipo zero, impasto acido per la lievitazione) esso è un prodotto che garantisce ciò che si è prefisso, attraverso un controllo tassativo della tracciabilità, effettuato da Ente Terzo CSQA, partendo dai semi certificati, alla raccolta e stoccaggio, la molitura che conserva il germe, alla panificazione con impasto acido (madre). Quello che abbiamo messo in campo è un prodotto (unico perché DOP) che difende la biodiversità, garantisce che la materia prima sia panificabile nel rispetto di una equilibrata qualità nutrizionale. Questa premessa per circostanziare una riflessione comune, che va ben al di là degli sforzi che i ricercatori ed il mondo scientifico pongono per arricchire di conoscenze e opportunità il mondo della cerealicoltura. Occorre a nostro avviso andare al di là della ricerca scientifica acquisita, tramutandola in esperienza reale della trasformazione dei prodotti finiti.

Troppo spesso sentiamo parlare a sproposito di prodotti che “fanno bene alla salute”, senza alcuna base scientifica complessiva, soffermandosi su una mera ricerca sui cereali, senza garantire come avviene la lavorazione del prodotto finito e chi poi la certifica, spesso nessuno, e quindi tali azioni rappresentano solo azioni di marketing. Per arrivare poi ai messaggi che confondono i consumatori (“alimenti senza glutine”, senza che ve ne sia una ragione, “pane con carboni vegetali”, “pani con quinoa, semi di lino, kamut” e chi più ne ha più ne metta). Tenendo poi conto che i principi attivi che compongono il prodotto, ammettendo che “facciano bene”, sono ininfluenti per il contenuto di un consumo medio di pane di circa trenta grammi pro capite, in queste azioni di marketing alimentare, ci vedo molto delle favole della così detta “medicina omeopatica”, ed il suo effetto placebo. Ciò che è stato raggiunto nel progetto FATE.Pre.Sco è invece un primo importante traguardo di ciò che può emergere dalla valorizzazione di specifiche varietà biofortificate. Dovremo definire attraverso quali azioni produttive /commerciali si possa rendere sostenibile questo prodotto, che così come si è sviluppato non rientra a pieno nel metodo di produzione del pane toscano DOP. Vi sono elementi comuni che stiamo elaborando dal momento che tra l'altro ci accingiamo ad alcune modifiche del Disciplinare di Produzione, sia per esigenze tecniche che per introdurre anche le farine semi-integrali nel processo produttivo. Rinnovo pertanto l'appello al modo scientifico: che a fronte degli ottimi risultati conseguiti nella ricerca

e sviluppo di materie prime, occorre la consapevolezza della sostenibilità produttiva che ci porti ad un prodotto finito conseguente.

How to include the aspects of biofortification in the disciplinary of the Pane Toscano? *I have to make an introduction on Pane Toscano DOP and on the use of raw material, the varieties of Tuscan wheat. The project for a DOP for Tuscan bread started about twelve years ago, mainly driven by a will in the world of bakery. However, we considered also the agricultural world and the productive opportunities. At that time, there was little interest from farmers for bread wheat and in particular for those traditional Tuscan varieties "the so-called ancient ones". This was mainly dictated by the lack of a fair remuneration of the work of Tuscan farmers, who had to deal not only with the competition of Italian and foreign wheat, with higher yield per surface area. Here is how the Pane Toscano has decided for a conscious choice of biodiversity to push bread wheat in Tuscany and in particular those varieties both with red grain (Centaurus, Libra, Serio, Verna, Pandas) and white grain (Mieti, Mec, Marzotto, Bolero), which have been the discriminating element for the recognition of the DOP by the European Community, (together with all the other historic elements: processing method and traditions); giving the right remuneration to farmers. Therefore, the Pane Toscano DOP represents the return of bread wheat in Tuscany with traditional varieties of the territory and a balanced protein content during the grinding of the various types of wheat, as required by the Production Regulations. A product that represents the defence of the traditions of Tuscan bakery, following the dictates of the regulations for DOPs, therefore photographing "the Tuscan bread" of the last thirty years (bread Tuscan wheat, type zero flour, sourdough for leavening) is a guaranteed product, through a strict control of traceability, carried out by CSQA, starting from certified seeds, to harvest and storage, to milling that preserves the germ, to bread making with sourdough. What we have put in place is a product (unique because it is DOP) that defends biodiversity and guarantees that the raw material can be baked in the respect of a balanced nutritional quality. This premise permit to substantiate a common reflection, which goes far beyond the efforts of scientists to enrich the world of farmers with improved knowledge and opportunities. In our opinion it is necessary to go beyond the scientific results, translating them into a real experience of production. Too often we hear about products that are "good for health", without any overall scientific basis, focusing on field research on cereals, without guaranteeing how the processing of the product takes place and who then certifies it, often none, and then these actions represent only marketing actions. These are messages that confuse consumers: "gluten-free foods", without any reason, "bread with vegetable charcoal", "bread with quinoa, flaxseed, kamut" and so on. We have to consider that the active*

*ingredients that make up the product, admitting that they “do well”, are irrelevant for the content of an average bread consumption of about thirty grams per capita, in these food marketing actions, I see a lot of fairy tales similar to those of the so-called “homeopathic medicine”, and its placebo effect. What was achieved in the FATE.Pre.Sco project is instead a first important goal for the valorisation of specific biofortified varieties. We will have to define which productive / commercial actions can make this product sustainable, since now does not fully fit into the production method of Tuscan DOP bread. There are common elements that we are elaborating since, among other things, we are going to make some changes to the Production Regulations, both for technical requirements and to introduce semi-wholemeal flours in the production process. I therefore renew the appeal to scientists: that in the face of excellent results achieved in the research and development of raw materials, we need to boost the awareness of productive sustainability.*

SIMONE ORLANDINI, MARCO MANCINI

Vedi testo p. 356.

#### RESOCONTO

Dopo una introduzione del prof. Amedeo Alpi, presidente della Sezione Centro-Ovest dei Georgofili, il prof Philip White del James Hutton Institute, UK, ha aperto la mattinata illustrando i diversi approcci che possono essere utilizzati per contrastare le carenze alimentari di nutrienti minerali. Sono stati presi in considerazione diversi approcci, dalla diversificazione della dieta all'utilizzo di integratori minerali, alla fortificazione alimentare e alla biofortificazione delle colture. In particolare, il Prof. White si è concentrato sui risultati positivi ottenuti con approcci di biofortificazione agronomica e genetica del frumento per contrastare le carenze di zinco e selenio.

Il dottor Massimo Blandino dell'Università di Torino ha illustrato le soluzioni agronomiche e di prima trasformazione per raggiungere gli obiettivi nutrizionali e sanitari nei cereali sottolineando come nel contesto del nostro paese siano necessari percorsi colturali e soluzioni che riguardano non solo le tecniche agronomiche in campo ma anche l'essiccazione, lo stoccaggio e la molitura in grado di valorizzare la qualità tecnologica, nutrizionale e sanitaria richiesta dalla destinazione d'uso.

La prof.ssa Laura Ercoli e la dott.ssa Elisa Pellegrino della Scuola Superiore Sant'Anna hanno sottolineato l'importanza della scelta del genotipo per mas-

simizzare il contenuto di microelementi, come ferro e zinco, e antiossidanti (polifenoli e flavonoidi) nella granella di frumento. Inoltre, hanno discusso il ruolo chiave della tecnica molitoria e della trasformazione per rendere biodisponibili tali microelementi. In pani ottenuti da farine integrali biofortificate, la biodisponibilità di ferro e zinco è notevolmente aumentata rispetto ai pani ottenuti da farine raffinate non biofortificate. Inoltre, sono stati mostrati dati sull'uso di biofertilizzanti costituiti da microorganismi benefici. Queste nuove tecniche sembrano rappresentare un valido mezzo per incrementare l'assorbimento e la traslocazione di ferro e zinco sia nel frumento tenero che duro e conseguentemente nel pane e pasta ottenuti.

La professoressa Alessandra Marti dell'Università di Milano ha posto l'accento sui processi di trasformazione che si trovano a cavallo tra tradizione e innovazione prendendo ad esempio la nuova tendenza dell'utilizzo di cereali e legumi germinati sia isolati che come componenti di prodotti tradizionali a base di cereali (pane e prodotti da forno) evidenziando punti di forza, sfide tecnologiche e qualità nutrizionali delle farine prodotte a partire da questa nuova materia prima.

Il prof. Claudio Passino della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa ha illustrato i meccanismi fisiopatologici che determinano l'infarto e lo scompenso cardiaco, ha posto l'accento sulle dimensioni del problema ed ha spiegato come tra gli interventi per il controllo dei fattori di rischio cardiovascolare ci si stia interessando all'utilizzo di cibi funzionali per la prevenzione primaria e secondaria dello scompenso cardiaco.

La dott.ssa Milena Vainieri della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa ha riportato i risultati di un'indagine sulle abitudini e sulla propensione all'acquisto e al consumo di alimenti funzionali da parte di pazienti con scompenso cardiaco nell'ambito del progetto F.A.T.E.Pre.Sco (Frumento Antico Toscano Epigeneticamente attivo per la prevenzione dello scompenso cardiaco), finanziato dalla Regione Toscana. In tale ambito è stato somministrato a 100 pazienti ricoverati presso un reparto di malattie cardiovascolari del sistema pubblico toscano un questionario dal quale è emerso che più del 50% degli intervistati si è detto favorevole all'acquisto di cibi funzionali.

Il prof. Vincenzo Lionetti e la dott.ssa Valentina Casieri della Scuola Superiore Sant'Anna hanno riportato dati ottenuti nell'ambito dello stesso progetto F.A.T.E.Pre.Sco sull'assunzione da parte di ratti di pane funzionale (Gentil Rosso biofortificato) e pane di controllo (varietà moderna non biofortificata). Il progetto si proponeva infatti di esaminare il contributo di un'alimentazione a base di pane fatto con farina ottenuta da un grano antico toscano "Gentil Rosso" sulla prevenzione e/o terapia dell'insufficienza cardiaca cronica dopo

infarto miocardico acuto. Il grano era stato biofortificato con Ferro e Zinco o non biofortificato. A parità di assunzione di cibo, si è riscontrata grazie al pane funzionale, una riduzione della frazione di eiezione ventricolare sinistra, della dimensione della cicatrice infartuale LV solo in ratti di sesso maschile. La densità capillare e arteriolare del miocardio dei ratti di sesso maschile era inoltre più alta nella border zone LV.

La professoressa Luana Ricci Paulesu dell'Università di Siena ha illustrato lo studio condotto dal suo gruppo di ricerca nell'ambito del progetto F.A.T.E.Pre.Sco. La professoressa ha discusso l'importanza di analizzare il profilo infiammatorio in animali alimentati con il suddetto pane, ha riportato dati ottenuti su ratti riguardanti il bilancio tra fattori pro- e anti-infiammatori ed ha sottolineato l'importanza della stratificazione degli animali secondo il sesso per evidenziare la presenza di differenze significative tra l'alimentazione biofortificata e non.

La professoressa Maria Cristina Messia dell'Università di Campobasso ha illustrato come i cereali ben si prestino a funzionare da materia prima per alimenti funzionali grazie alla loro cariosside ricca in fibra e sostanze bioattive e come grazie ad appropriate tecnologie e formulazioni è possibile ottenere prodotti mono e polifunzionali con elevata qualità sensoriale. La professoressa ha poi illustrato la legislazione sui prodotti funzionali e le nuove proposte legislative specifiche per il settore dei cereali e miranti a classificare meglio i prodotti della molitura dei frumenti per valorizzare la loro diversa funzionalità nutrizionale.

Nel pomeriggio, dopo i saluti del Presidente dell'AISTEC prof. Emanuele Marconi, sono intervenuti nella discussione Ugo Giambastiani, come rappresentante del mondo delle aziende molitorie, Roberto Pardini, in qualità di direttore del Consorzio Pane Toscano, e infine il prof. Simone Orlandini e il dott. Marco Mancini che hanno riportato le loro esperienze sul territorio in progetti relativi alla gestione agronomica delle filiere cerealicole toscane. Ha fatto seguito una vivace discussione tra gli intervenuti.

PHILIP J. WHITE<sup>1</sup>

## Biofortification of Edible Crops

<sup>1</sup> The James Hutton Institute, Invergowrie, Dundee (United Kingdom)

### INTRODUCTION

Humans require sufficient amounts of at least 18 mineral elements for their normal development and well-being (White, 2016a). These include the macronutrients, nitrogen, phosphorus, sulphur, calcium, magnesium, potassium, sodium and chlorine, which are required in amounts greater than 100 mg d<sup>-1</sup>, and the micronutrients, zinc, iron, fluorine, manganese, copper, iodine, selenium, molybdenum, chromium and cobalt, which are required in smaller amounts (White, 2016a).

Edible crops supply the mineral nutrients to the diets of most people (White et al., 2013b; White, 2016a). Unfortunately, it is estimated that the diets of about 2 billion people lack sufficient iron, 1.1 billion lack sufficient zinc, 3.5 billion lack sufficient calcium, 1.9 billion lack sufficient iodine, 1 billion lack sufficient selenium, and 14 million lack sufficient magnesium (White, 2016a). Dietary deficiencies of mineral nutrients in human diets can be addressed in a variety of ways. These include: (1) dietary diversification, to create a 'balanced' diet with sufficient mineral nutrients, (2) the distribution of mineral supplements, such as pills and tonics that contain the mineral nutrients lacking in people's diets, (3) food fortification, through the addition of mineral nutrients to cooking ingredients, such as salt and flour, or to processed foods, and (4) the biofortification of edible crops (White and Broadley, 2009; White, 2016a). Biofortification is defined as the process of increasing the bioavailable concentration of a nutrient in the edible portion of crop plants through agronomic intervention or genetic selection (White and Broadley, 2005). Biofortification is particularly effective where the resources or infrastructures for other interventions are unavailable and, since bioforti-

fication is often used in regions where the availability of mineral nutrients limits crop production, it has the added benefit of increasing crop yields and farmers' income (Cakmak, 2009; White and Broadley, 2009; Stein, 2010).

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the staple food for about 35% of the world's population and provides approximately 20% of the calories consumed by humans worldwide (Cakmak and Kutman, 2018). However, the concentrations of mineral nutrients in wheat grain, as in the grain of other cereals, are relatively small when compared to the concentration of mineral nutrients in other edible crops, and reliance on cereal-based diets contributes to mineral malnutrition of humans (White and Broadley, 2005, 2009). Despite this, because large amounts of wheat grain are consumed, increasing the concentrations of mineral nutrients in wheat grain can increase the dietary delivery of mineral nutrients to humans and help alleviate the health issues associated with mineral malnutrition (Cakmak, 2008; Bouis and Welch, 2010). This paper focuses on strategies to biofortify bread wheat with two mineral nutrients commonly lacking in human diets: zinc (Zn) and selenium (Se).

#### BIOFORTIFYING BREAD WHEAT WITH ZINC

Adults require between 8–13 mg Zn day<sup>-1</sup> for adequate nutrition (White, 2016a). In the UK, as in other European countries, about 25% of the zinc in human diets is delivered by cereal products (White, 2016a). It is estimated that about 9% of the UK population has dietary intakes of zinc less than the UK Lower Reference Nutrient Intake (LRNI), which is the intake considered likely to be sufficient to meet the needs of only 2.5% of the population (Bates et al., 2014). Worldwide, about 1.1 billion people lack sufficient zinc in their diets (Kumssa et al., 2015). The international HarvestPlus Program (<http://www.harvestplus.org>) has suggested a target concentration of 38 mg Zn kg<sup>-1</sup> dry matter (DM) in wheat grain to alleviate widespread zinc malnutrition (Bouis and Welch, 2010).

Human diets with insufficient zinc often collocate with soils that have low zinc phytoavailability (Cakmak et al., 2017). These soils include calcareous or alkaline soils, which comprise 25–30% of the world's agricultural land (Broadley et al., 2007; White et al., 2013a). About half the cereal-growing areas in the world have soils with low zinc phytoavailability (Cakmak, 2008; Cakmak and Kutman, 2018). If sufficient zinc is present in these soils, edible crops with greater zinc concentrations can be produced by increasing soil



zinc phytoavailability by applying acidifying fertilisers, such as urea, ammonium salts or elemental sulphur, or by cultivating varieties that secrete more protons, phytosiderophores, organic acids and enzymes that degrade organic chelates of these elements or that interact better with beneficial microorganisms to effect this (Cakmak, 2008; White et al., 2013a). Alternatively, Zn-fertilisers can be applied to crops (Cakmak, 2008; White and Broadley, 2009, 2011; Velu et al., 2014; Cakmak and Kutman, 2018). The application of Zn-fertilisers to increase crop production and grain zinc concentrations in bread wheat was initially demonstrated in Anatolia, Turkey (Cakmak, 2004), and has since been employed elsewhere in the world (Cakmak et al., 2017; Cakmak and Kutman, 2018).

Zinc fertilisers can be applied either to foliage or to the soil, but it is generally observed that applying Zn-fertilisers to foliage is more effective than applying Zn-fertilisers to the soil for biofortifying grain of bread wheat with zinc (Cakmak, 2008; Zhang et al., 2012ab; Zou et al., 2012; Barunawati et al., 2013; Prasad et al., 2014; Velu et al., 2014; Cakmak and Kutman, 2018). It has also been observed that greater N-fertiliser applications, either to the soil or to foliage, can increase grain zinc concentrations, provided there is sufficient zinc supply to the crop (Shi et al., 2010; Xue et al., 2012, 2016; Li et al., 2015; Liu et al., 2018; Pascoalino et al., 2018). It is likely that this reflects the close correlation between protein and zinc concentrations in grain (Cakmak, 2008; Zhao et al., 2009; Cakmak et al., 2010; Velu et al., 2014). In addition to inorganic Zn-fertilisers, composts and manures can also be used to increase soil zinc concentrations, and appropriate crop rotations, intercropping, or the introduction of beneficial soil microorganisms can increase zinc phytoavailability in soils (White and Broadley, 2009; Prasad et al., 2014; Brooker et al., 2015; Pellegrino et al., 2015; Coccina et al., 2019).

There is considerable genetic variation in the zinc concentration of wheat grain (e.g. Graham et al., 1999, Cakmak, 2008; White and Broadley, 2009, 2011; Zhao et al., 2009; Velu et al., 2014, 2017; Pascoalino et al., 2018) and varieties with seed zinc concentrations approaching the HarvestPlus target value have been achieved by conventional breeding strategies, provided plants have access to sufficient phytoavailable Zn in the soil (Bouis and Salzman, 2017). Several chromosomal loci (QTLs, quantitative trait loci) have been identified that affect grain zinc concentration in wheat (Velu et al., 2014, 2017; Liu et al., 2019). Among these is a gene encoding a NAC transcription factor (NAM-B1, GPC-B1) that accelerates senescence and increases nutrient remobilization from leaves to grain (Velu et al., 2014, 2017; Tabbita et al., 2017). It is expected that knowledge of allelic variation in genes un-

derlying QTL will enable the design of molecular markers for breeding wheat varieties with greater potential for Zn biofortification.

The amount of zinc delivered to the diet from biofortified wheat grain is influenced greatly by its processing. Since zinc is located mainly in the embryo and aleurone layer of the seed, much can be lost during milling or polishing of grains (Cakmak, 2008; Shi et al., 2010; Velu et al., 2014; Ciccolini et al., 2017). In addition, the bioavailability of zinc in human diets is influenced by the presence of antinutrients, such as fibre, tannins and phytate, and promoter substances, such as inulin, ascorbic acid and various amino and carboxylic acids, in food (White and Broadley, 2009; White, 2016a). Although much of the zinc in wheat grain is associated with phytate, there appears to be genetic variation in the concentrations of both antinutrients and promoter substances in wheat grain (White and Broadley, 2009; Velu et al., 2014) and there has been some effort to generate low-phytic acid (*lpa*) mutants and identify and breed wheat genotypes with reduced seed phytate concentrations (Raboy, 2009; White and Broadley, 2009). The application of foliar N-fertilisers also appears to reduce phytate concentrations in cereal grain (Li et al., 2015). In addition, to this genetic strategy to improve zinc bioavailability in food, some processing techniques, such as soaking, malting and fermentation, can reduce phytate concentrations in seeds and improve zinc bioavailability in the human diet (Kumar et al., 2010).

#### BIOFORTIFYING BREAD WHEAT WITH SELENIUM

Recommended selenium intakes for humans range from 25–75  $\mu\text{g d}^{-1}$ , depending upon age, gender and authority (Fairweather-Tait et al., 2011). The concentrations of selenium in edible crops receiving no Se-fertiliser often correlate directly with selenium phytoavailability in the soils on which they are grown (Ihnat, 1989; Garvin et al., 2006; Fairweather-Tait et al., 2011; Lee et al., 2011; Garrett et al., 2013; Joy et al., 2015; Lazo-Vélez et al., 2015; Kumssa et al., 2017). Soils with insufficient selenium to produce edible crops with selenium concentrations adequate for human nutrition occur worldwide (White and Broadley, 2009; White, 2016b). However, dietary selenium deficiencies can be addressed effectively through the application of Se-fertilisers to edible crops (White, 2016b; Bañuelos et al., 2017).

The natural soils of many countries in Northern Europe, including Finland and the United Kingdom, lack sufficient selenium to produce selenium-rich grain (Broadley et al., 2006; Fairweather-Tait et al., 2011; Lazo-Vélez

et al., 2015). The mandatory inclusion of selenium into inorganic fertilisers to address selenium deficiencies in Finnish diets increased the selenium concentrations in produce and improved the selenium status of the Finnish population (Alfthan et al., 2015). In the United Kingdom, about 26% of the selenium in human diets is delivered by cereal products (Fairweather-Tait et al., 2011; White, 2016a) and methods have been developed to deliver approximately 20% of the UK Reference Nutrient Intake, the mean population intake required to protect 97.5% of the population from deficiency (UK-RNI =  $60 \mu\text{g d}^{-1}$  for females and  $75 \mu\text{g d}^{-1}$  for males), in two slices of Se-biofortified bread (Broadley et al., 2010; Hart et al., 2011). Bread and cereal products also provide much of the selenium in peoples' diets in many other countries (Lazo-Vélez et al., 2015).

Selenium fertilisers can be applied either to foliage or to the soil. Although the application of Se-fertilisers to foliage is generally more efficient in increasing concentrations in produce than applications of Se-fertilisers to the soil (Ros et al., 2016), application of Se-fertilisers to soil is recommended because it poses less risk of phytotoxicity (Lyons et al., 2005b; Bañuelos et al., 2017). In general, there is a linear relationship between the amount of Se-fertiliser applied to a non-seleniferous soil and the selenium concentrations in wheat grain (Broadley et al., 2010). The application of soluble selenate salts, such as sodium selenate and potassium selenate, is generally more effective in increasing grain selenium concentrations than the application of selenite salts or less soluble selenate salts, such as barium selenate, although the latter provides a longer lasting selenium source (Broadley et al., 2006, 2010; Ros et al., 2016). The addition of Se-rich organic material to soils can also be used a selenium source to biofortify crops and provides phytoavailable selenium for several years after its application (Bañuelos et al., 2017).

Genetic variation in the selenium concentration of wheat grain has been reported in a number of studies (Garvin et al., 2006; Murphy et al., 2008; Rodríguez et al., 2011; Pu et al., 2014), although this is not always observed (White 2016). It has been suggested that the lack of genetic variation observed might be a consequence of large environmental effects on grain selenium concentration (Lyons et al., 2005b; Garvin et al., 2006; Zhao et al., 2009; Lee et al., 2011; Nelson et al., 2011; White, 2016). In addition, there appears to be a negative relationship between grain selenium concentration and grain yield among bread wheat cultivars (Zhao et al., 2007; Fan et al., 2008; Murphy et al., 2008), although, again, this is not always observed (Lyons et al., 2005b; Zhao et al., 2009; Nelson et al., 2011). Chromosomal loci (QTLs) influencing grain selenium concentration have been identified

in crosses between Chinese wheat varieties (Pu et al 2014, 2018; Wang et al., 2017), but no genes affecting grain selenium concentrations have yet been identified.

Relatively little selenium is lost during food preparation (Lyons et al. 2005b). However, although selenium is fairly evenly distributed throughout the grain, the selenium concentrations in wholemeal flour are slightly greater than white flour made from the same grain (Lyons et al., 2005a; Moore et al., 2010; Hart et al., 2011; Lazo-Vélez et al., 2015). No genetic variation in the distribution of selenium within wheat grain has been reported (Lyons et al., 2005a). Selenomethionine (SeMet) is the main selenium species in wheat grain, which also contains smaller concentrations of selenocysteine (SeCys), selenomethylselenocysteine (SeMeSeCys), selenohomolanthionine (SeHLan), selenite, selenate and other selenium species (Lyons et al., 2005a; Hart et al., 2011; Lazo-Vélez et al., 2015; Duncan et al., 2017). Selenomethionine (SeMet) is an effective selenium source for human nutrition (Fairweather-Tait et al., 2011; Hart et al., 2011).

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Rural & Environment Science and Analytical Division of the Scottish Government.

#### RIASSUNTO

Gli esseri umani hanno bisogno di sufficienti quantità di almeno 18 elementi minerali per il loro normale sviluppo e benessere. Le colture agrarie forniscono questi elementi con la dieta. Sfortunatamente, si ritiene che molte persone non dispongano di quantità sufficienti di nutrienti minerali nella loro dieta. Le carenze alimentari di nutrienti minerali potrebbero essere affrontate attraverso una varietà di approcci tra cui (1) la diversificazione dietetica, per creare una dieta “equilibrata” con sufficienti nutrienti minerali, (2) l'utilizzazione di integratori minerali, come pillole e tonici che contengono il nutriente minerale carente nella dieta, (3) la fortificazione alimentare, attraverso l'aggiunta di nutrienti minerali agli ingredienti per cucinare, come sale e farina, o agli alimenti trasformati e (4) la biofortificazione delle colture. La biofortificazione è definita come il processo di aumento della concentrazione biodisponibile di un nutriente nella porzione commestibile delle piante coltivate attraverso l'intervento agronomico o la selezione genetica. Questo discorso si concentrerà sulle strategie per biofortificare le colture commestibili con due nutrienti minerali comunemente carenti nella dieta: zinco e selenio. Sarà usato il frumento come esempio principale. Nel discorso saranno descritti innanzitutto i ruoli di questi nutrienti minerali nella fisiologia umana e le quantità richieste nella dieta.

Inoltre, sarà mostrato che le carenze di questi nutrienti nella dieta sono spesso correlate alla limitata disponibilità di questi elementi nel suolo e che l'applicazione di fertilizzanti fogliari o del suolo contenenti questi elementi può essere utilizzata per biofortificare le colture commestibili con zinco e selenio. Saranno descritti la variabilità genetica nelle capacità delle colture di accumulare zinco e selenio nelle loro porzioni commestibili ed i loci cromosomici che potrebbero essere utilizzati per il miglioramento genetico assistito del frumento per un maggiore accumulo di zinco e selenio. Infine, saranno presi in considerazione gli effetti degli antinutrienti, come il fitato, e la posizione dei nutrienti di zinco e selenio nella granella di frumento sulla biodisponibilità di questi nutrienti nei prodotti alimentari.

#### ABSTRACT

It is thought that the diets of over half the humans in the world lack sufficient mineral nutrients for their normal development and well-being. One strategy to address this is to increase the bioavailable concentrations of mineral nutrients in edible crops. Since bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the staple food for about one in three people, increasing the concentrations of mineral nutrients in wheat grain could help alleviate mineral malnutrition and improve human health. This paper focuses on strategies to biofortify grain of bread wheat with two mineral nutrients commonly lacking in human diets: zinc and selenium. It is observed that applying Zn-fertilisers, either to soil or, more effectively, to foliage, can increase grain zinc concentrations and that there is appreciable genetic variation in grain zinc concentrations. Similarly, the application of Se-fertilisers to soil or to foliage can increase grain selenium concentrations and, although the effects of the environment on grain selenium concentrations are large, there is also genetic variation in grain selenium concentrations. Thus, the application of fertilisers containing zinc and selenium to varieties that can accumulate these elements in their grain efficiently could increase the delivery of these mineral nutrients to peoples' diets to improve their health.

#### BIBLIOGRAPHY

- ALFTHAN G., EUROLA M., EKHOLM P., VENÄLÄINEN E.R., ROOT T., KORKALAINEN K., HARTIKAINEN H., SALMINEN P., HIETANIEMI V., ASPILA P., ARO A. (2015): *Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: from deficiency to optimal selenium status of the population*, «Journal of Trace Elements in Medicine and Biology», 31, pp. 142-147.
- BAÑUELOS G.S., LIN Z.-Q., BROADLEY M. (2017): *Selenium biofortification*, in *Selenium in plants: molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects*, edited by E.A.H. Pilon-Smits, L.H.E. Winkel, Z.Q. Lin, Springer, Cham, Switzerland, pp. 231-255.
- BARUNAWATI N., GIEHL R.F., BAUER B., VON WIRÉN N. (2013): *The influence of inorganic nitrogen fertilizer forms on micronutrient retranslocation and accumulation in grains of winter wheat*, «Frontiers in Plant Science», 4, pp. 320.

- BATES B., LENNOX A., PRENTICE A., BATES C., PAGE P., NICHOLSON S., SWAN G. (2014): *National Diet and Nutrition Survey: Results from Years 1-4 (combined) of the Rolling Programme (2008/2009-2011/2012)*, Public Health England, London.
- BROADLEY M.R., WHITE P.J., BRYSON R.J., MEACHAM M.C., BOWEN H.C., JOHNSON S.E., HAWKESFORD M.J., MCGRATH S.P., ZHAO F.-J., BREWARD N., HARRIMAN M., TUCKER M. (2006): *Biofortification of UK food crops with selenium*, «Proceedings of the Nutrition Society», 65, pp. 169-181.
- BROADLEY M.R., WHITE P.J., HAMMOND J.P., ZELKO I., LUX A. (2007): *Zinc in plants*, «New Phytologist», 173, pp. 677-702.
- BROADLEY M.R., ALCOCK J., ALFORD J., CARTWRIGHT P., FOOT I., FAIRWEATHER-TAIT S.J., HART D.J., HURST R., KNOTT P., MCGRATH S.P., MEACHAM M.C., NORMAN K., MOWAT H., SCOTT P., STROUD J.L., TOVEY M., TUCKER M., WHITE P.J., YOUNG S.D., ZHAO F.-J. (2010): *Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (Triticum aestivum L.) by liquid or granular Se fertilisation*, «Plant and Soil», 332, pp. 5-18.
- BOUIS H.E., SALTZMAN A. (2017): *Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016*, «Global Food Security», 12, pp. 49-58.
- BOUIS H.E., WELCH R.M. (2010): *Biofortification - a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global South*, «Crop Science», 50, pp. S20-S32.
- BROOKER R.W., BENNETT A.E., CONG W.-F., DANIELL T.J., GEORGE T.S., HALLETT P.D., HAWES C., IANETTA P.P.M., JONES H.G., KARLEY A.J., LI L., MCKENZIE B.M., PAKEMAN R.J., PATERSON E., SCHÖB C., SHEN J., SQUIRE G., WATSON C.A., ZHANG C., ZHANG F., ZHANG J., WHITE P.J. (2015): *Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology*, «New Phytologist», 206, pp. 107-117.
- CAKMAK I. (2004): Proceedings of the International Fertiliser Society 552. Identification and correction of widespread zinc deficiency in Turkey – a success story, The International Fertiliser Society, York, UK.
- CAKMAK I. (2008): *Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?*, «Plant and Soil», 302, pp. 1-17.
- CAKMAK I. (2009): *Enrichment of fertilizers with zinc: an excellent investment for humanity and crop production in India*, «Journal of Trace Elements in Medicine and Biology», 23, pp. 281-289.
- CAKMAK I., KUTMAN U.B. (2018): *Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review*, «European Journal of Soil Science», 69, pp. 172-180.
- CAKMAK I., KALAYCI M., KAYA Y., TORUN A.A., AYDIN N., WANG Y., ARISOY Z., ERDEM H., YAZICI A., GOKMEN O., OZTURK L., HORST W.J. (2010): *Biofortification and localization of zinc in wheat grain*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 58, pp. 9092-9102.
- CAKMAK I., McLAUGHLIN M.J., WHITE P. (2017): *Zinc for better crop production and human health*, «Plant and Soil», 411, pp. 1-4.
- CICCOLINI V., PELLEGRINO E., COCCINA A., FIASCHI A.I., CERRETANI D., SGHERRI C., QUARTACCI M.F., ERCOLI L. (2017): *Biofortification with iron and zinc improves nutritional and nutraceutical properties of common wheat flour and bread*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 65, pp. 5443-5452.
- COCCINA A., CAVAGNARO T.R., PELLEGRINO E., ERCOLI L., McLAUGHLIN M.J., WATTS-WILLIAMS S.J. (2019): *The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain*, «BMC Plant Biology», 19, pp. 133.

- DUNCAN E.G., MAHER W.A., JAGTAP R., KRIKOWA F., ROPER M.M., O'SULLIVAN C.A. (2017): *Selenium speciation in wheat grain varies in the presence of nitrogen and sulphur fertilisers*, «Environmental Geochemistry and Health», 39, pp. 955-966.
- FAIRWEATHER-TAIT S.J., BAO Y., BROADLEY M.R., COLLINGS R., FORD D., HESKETH J.E., HURST R. (2011): *Selenium in human health and disease*, «Antioxidants and Redox Signaling», 14, pp. 1337-1383.
- FAN M.-S., ZHAO F.-J., POULTON P.R., MCGRATH S.P. (2008): *Historical changes in the concentrations of selenium in soil and wheat grain from the Broadbalk experiment over the last 160 years*, «Science of the Total Environment», 389, pp. 532-538.
- GARRETT R.G., GAWALKO E., WANG N., RICHTER A., WARKENTIN T.D. (2013): *Macrorelationships between regional-scale field pea (Pisum sativum) selenium chemistry and environmental factors in western Canada*, «Canadian Journal of Plant Science», 93, pp. 1059-1071.
- GARVIN D.F., WELCH R.M., FINLEY J.W. (2006): *Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm*, «Journal of the Science of Food and Agriculture», 86, pp. 2213-2220.
- GRAHAM R., SENADHIRA D., BEEBE S., IGLESIAS C., MONASTERIO I. (1999): *Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches*, «Field Crops Research», 60, pp. 57-80.
- HART D.J., FAIRWEATHER-TAIT S.J., BROADLEY M.R., DICKINSON S.J., FOOT I., KNOTT P., MCGRATH S.P., MOWAT H., NORMAN K., SCOTT P.R., STROUD J.L., TUCKER M., WHITE P.J., ZHAO F.J., HURST R. (2011): *Selenium concentration and speciation in biofortified flour and bread: Retention of selenium during grain biofortification, processing and production of Se-enriched food*, «Food Chemistry», 126, pp. 1771-1778.
- IHNAT M. (1989): *Plants and agricultural materials*, in *Occurrence and distribution of selenium*, edited by M. Ihnat, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp. 33-105.
- JOY E.J.M., BROADLEY M.R., YOUNG S.D., BLACK C.R., CHILIMBA A.D.C., ANDER E.L., BARLOW T.S., WATTS M.J. (2015): *Soil type influences crop mineral composition in Malawi*, «Science of the Total Environment», 505, pp. 587-595.
- KUMSSA D.B., JOY E.J.M., ANDER E.L., WATTS M.J., YOUNG S.D., WALKER S., BROADLEY M.R. (2015): *Dietary calcium and zinc deficiency risks are decreasing but remain prevalent*, «Scientific Reports», 5, pp. 10974.
- KUMSSA D.B., JOY E.J.M., YOUNG S.D., ODEE D.W., ANDER E.L., BROADLEY M.R. (2017): *Variation in the mineral element concentration of Moringa oleifera Lam. and M. stenopetala (Bak. f.) Cuf.: Role in human nutrition*, «PLOS ONE», 12 (4): e0175503.
- KUMAR V., SINHA A.K., MAKKAR H.P.S., BECKER K. (2010): *Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: a review*, «Food Chemistry», 120, pp. 945-959.
- LAZO-VÉLEZ M.A., CHÁVEZ-SANTOSCOY A., SERNA-SALDIVAR S.O. (2015): *Selenium-enriched breads and their benefits in human nutrition and health as affected by agronomic, milling, and baking factors*, «Cereal Chemistry Journal», 92, pp. 134-144.
- LEE S., WOODWARD H.J., DOOLITTLE J.J. (2011): *Selenium uptake response among selected wheat (Triticum aestivum) varieties and relationship with soil selenium fractions*, «Soil Science and Plant Nutrition», 57, pp. 823-832.
- LI M., WANG S., TIAN X., ZHAO J., LI H., GUO C., CHEN Y., ZHAO A. (2015): *Zn distribution and bioavailability in whole grain and grain fractions of winter wheat as affected by applications of soil N and foliar Zn combined with N or P*, «Journal of Cereal Science», 61, pp. 26-32.

- LIU H., ZHAO P., QIN S., NIE Z. (2018): *Chemical fractions and availability of zinc in winter wheat soil in response to nitrogen and zinc combinations*, «Frontiers in Plant Science», 9, pp. 1489.
- LIU J., WU B., SINGH R.P., VELU G. (2019): *QTL mapping for micronutrients concentration and yield component traits in a hexaploid wheat mapping population*, «Journal of Cereal Science», 88, pp. 57-64.
- LYONS G.H., GENC Y., STANGOULIS J.C.R., PALMER L.T., GRAHAM R.D. (2005a): *Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content*, «Biological Trace Element Research», 103, pp. 155-168.
- LYONS G., ORTIZ-MONASTERIO I., STANGOULIS J., GRAHAM R. (2005b): *Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding?*, «Plant and Soil», 269, pp. 269-380.
- MOORE K.L., SCHRÖDER M., LOMBI E., ZHAO F.J., MCGRATH S.P., HAWKESFORD M.J., SHEWRY P.R., GROVENOR C.R.M. (2010): *NanoSIMS analysis of arsenic and selenium in cereal grain*, «New Phytologist», 185, pp. 434-445.
- MURPHY K.M., REEVES P.G., JONES S.S. (2008): *Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars*, «Euphytica», 163, pp. 381-390.
- NELSON A.G., QUIDEAU S.A., FRICK B., HUCL P.J., THAVARAJAH D., CLAPPERTON M.J., SPANER D.M. (2011): *The soil microbial community and grain micronutrient concentration of historical and modern hard red spring wheat cultivars grown organically and conventionally in the black soil zone of the Canadian prairies*, «Sustainability», 3, pp. 500-517.
- PASCOALINO J.A.L., THOMPSON J.A., WRIGHT G., FRANCO F.A., SCHEEREN P.L., PAULETTI V., MORAES M.F., WHITE P.J. (2018): *Grain zinc concentrations differ among Brazilian wheat genotypes and respond to zinc and nitrogen supply*, «PLoS ONE», 13 (7): e0199464.
- PELLEGRINO E., OPIK M., BONARI E., ERCOLI L. (2015): *Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: A meta-analysis of field studies from 1975 to 2013*, «Soil Biology and Biochemistry», 84, pp. 210-217.
- PRASAD R., SHIVAY Y.S., KUMAR D. (2014): *Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc*, «Advances in Agronomy», 125, pp. 55-91.
- PU Z.E., YU M., HE Q.Y., CHEN G.Y., WANG J.R., LIU Y.X., JIANG Q.T., LI W., DAI S.F., WEI Y.M., ZHENG Y.L. (2014): *Quantitative trait loci associated with micronutrient concentrations in two recombinant inbred wheat lines*, «Journal of Integrative Agriculture», 13, pp. 2322-2329.
- PU Z., PEI Y., YANG J., MA J., LI W., LIU D., WANG J., WEI J., ZHENG Y. (2018): *A QTL located on chromosome 3D enhances the selenium concentration of wheat grain by improving phytoavailability and root structure*, «Plant and Soil», 425, pp. 287-296.
- RABOY V. (2009): *Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus*, «Plant Science», 177, pp. 281-296.
- RODRÍGUEZ L.H., MORALES D.A., RODRÍGUEZ E.R., ROMERO C.D. (2011): *Minerals and trace elements in a collection of wheat landraces from the Canary Islands*, «Journal of Food Composition and Analysis», 24, pp. 1081-1090.
- ROS G., VAN ROTTERDAM A., BUSSINK D., BINDRABAN P.S. (2016): *Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: an agro-ecosystem approach*, «Plant and Soil», 404, pp. 99-112.



- SHI R., ZHANG Y., CHEN X., SUN Q., ZHANG F., RÖMHELD V., ZOU C. (2010): *Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (Triticum aestivum L.)*, «Journal of Cereal Science», 51, pp. 165-170.
- STEIN A.J. (2010): *Global impacts of human mineral malnutrition*, «Plant and Soil», 335, pp. 133-154.
- TABBITA F., PEARCE S., BARNEIX A.J. (2017): *Breeding for increased grain protein and micronutrient content in wheat: Ten years of the GPC-B1 gene*, «Journal of Cereal Science», 73, pp. 183-191.
- VELU G., ORTIZ-MONASTERIO I., ÇAKMAK I., HAO Y., SINGH R.P. (2014): *Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat*, «Journal of Cereal Science», 59, pp. 365-372.
- VELU G., TUTUS Y., GOMEZ-BECERRA H.F., HAO Y., DEMIR L., KARA R., CRESPO-HERRERA L.A., ORHAN S., YAZICI A., SINGH R.V., ÇAKMAK I. (2017): *QTL mapping for grain zinc and iron concentrations and zinc efficiency in a tetraploid and hexaploid wheat mapping populations*, «Plant and Soil», 411, pp. 81-99.
- WANG P., WANG H., LIU Q., TIAN X., SHI Y., ZHANG X. (2017): *QTL mapping of selenium content using a RIL population in wheat*, «PLOS ONE», 12(9): e0184351.
- WHITE P.J. (2016a): *Biofortification of edible crops*, in eLS, John Wiley & Sons, Chichester UK. (doi 10.1002/9780470015902.a0023743).
- WHITE P.J. (2016b): *Selenium accumulation by plants*, «Annals of Botany», 117, pp. 217-235.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. (2005): *Biofortifying crops with essential mineral elements*, «Trends in Plant Science», 10, pp. 586-593.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. (2009): *Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine*, «New Phytologist», 182, pp. 49-84.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. (2011): *Physiological limits to zinc biofortification of edible crops*, «Frontiers in Plant Science», 2, pp. 80.
- WHITE P.J., GEORGE T.S., DUPUY L.X., KARLEY A.J., VALENTINE T.A., WIESEL L., WISHART J. (2013a): *Root traits for infertile soils*, «Frontiers in Plant Science», 4, pp. 193.
- WHITE P.J., GEORGE T.S., GREGORY P.J., BENGOUGH A.G., HALLETT P.D., MCKENZIE B.M. (2013b): *Matching roots to their environment*, «Annals of Botany», 112, pp. 207-222.
- XUE Y.F., YUE S.C., ZHANG Y.Q., CUI Z.L., CHEN X.P., YANG F.C., ÇAKMAK I., McGRATH S.P., ZHANG F.S., ZOU C.Q. (2012): *Grain and shoot zinc accumulation in winter wheat affected by nitrogen management*, «Plant and Soil», 361, pp. 153-163.
- XUE Y.F., ZHANG W., LIU D.Y., XIA H.Y., ZOU C.Q. (2016): *Nutritional composition of iron, zinc, calcium and phosphorus in wheat grain milling fractions as affected by nitrogen supply*, «Cereal Chemistry», 93, pp. 543-549.
- ZHANG Y.Q., DENG Y., CHEN R.Y., CUI Z.L., CHEN X.P., YOST R., ZHANG F.S., ZOU C.Q. (2012a): *The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application*, «Plant and Soil», 361, pp. 143-152.
- ZHANG Y.Q., SUN Y.X., YE Y.L., KARIM M.R., XUE Y.F., YAN P., MENG Q.F., CUI Z.L., ÇAKMAK I., ZHANG F.S., ZOU C.Q. (2012b): *Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China*, «Field Crop Research», 125, pp. 1-7.
- ZHAO F.-J., LOPEZ-BELLIDO F.J., GRAY C.W., WHALLEY W.R., CLARK L.J., McGRATH

- S.P. (2007): *Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains*, «Science of the Total Environment», 372, pp. 433-439.
- ZHAO F.J., SU Y.H., DUNHAM S.J., RAKSZEI M., BEDO Z., McGRATH S.P., SHEWRY P.R. (2009): *Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin*, «Journal of Cereal Science», 49, pp. 290-295.
- ZOU C.Q., ZHANG Y.Q., RASHID A., RAM H., SAVASLI E., ARISOY R.Z., ORTIZ-MONASTERIO I., SIMUNJI S., WANG Z.H., SOHU V., HASSAN M., KAYA Y., ONDER O., LUNGU O., YAQUB MUJAHID M., JOSHI A.K., ZELENSKIY Y., ZHANG F.S., CAKMAK I. (2012): *Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries*, «Plant and Soil», 361, pp. 119-130.

MASSIMO BLANDINO<sup>1</sup>

## Soluzioni agronomiche e di prima trasformazione per raggiungere gli obiettivi nutrizionali e sanitari nei cereali

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino; AI-STECC, Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia dei Cereali

### INTRODUZIONE

Pur evidenziando da una buona capacità produttiva, la filiera dei cereali in Italia, che rappresenta una quota marginale se paragonata a quella mondiale, si caratterizza oggi per una bassa competitività, dovuta a costi di produzione strutturalmente più elevati dei Paesi competitori e una storica insufficiente capacità di autoapprovvigionamento (40%). Tuttavia, il recente scenario di evoluzione delle filiere agroalimentari in atto, vede sempre più centrale il ruolo del consumatore, che diventa l'elemento fondamentale di traino dell'orientamento degli obiettivi produttivi e di trasformazione e che richiede una continua capacità di innovare e di fornire prodotti alimentari speciali. Il sistema produttivo cerealicolo nazionale si presenta pertanto più dinamico e pronto a intercettare le nuove esigenze e orientamenti produttivi rispetto ai Paesi grandi produttori delle *commodities* agricole. In particolare, anche nell'ambito delle filiere dei prodotti da forno, c'è una crescente attenzione alla produzione di prodotti che soddisfino le nuove esigenze, soprattutto salutistiche (prodotti *healthy* o funzionali) e di maggior sostenibilità ambientale.

### NUOVE FILIERE AD ALTO VALORE NUTRIZIONALE NEI PRODOTTI DA FORNO

La richiesta di prodotti da forno a più alto valore salutistico trova oggi rispondenza in differenti soluzioni quali l'agricoltura biologica, i prodotti *free-from* e soprattutto la ricerca di una superiore garanzia di tracciabilità delle materie prime, con strumenti quali l'indicazione geografica. L'ottenimento di prodotti a superiore valore nutrizionale si fonda sempre più però sulla valorizzazione

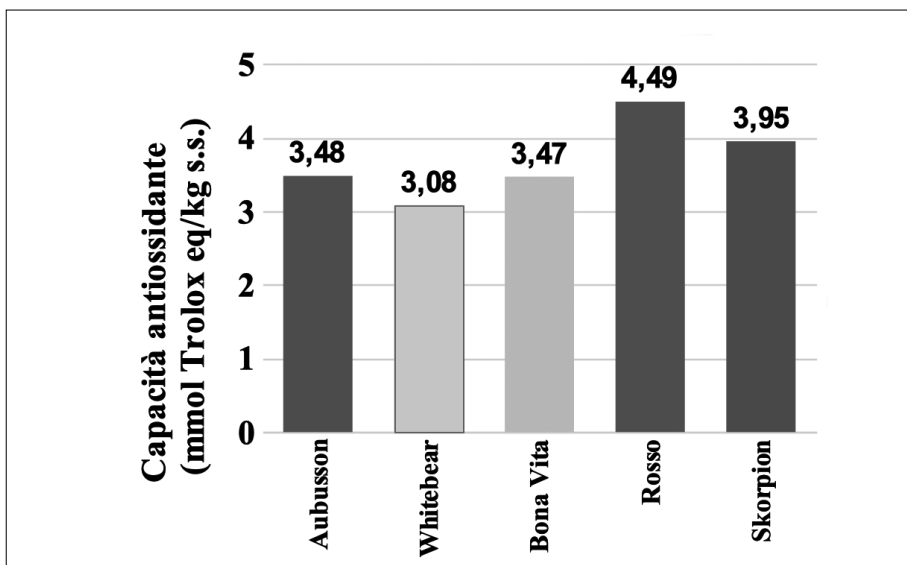


Fig. 1 Confronto tra varietà di frumento pigmentato con granella blu (cv. Skorpion), viola (cv. Rosso), endosperma giallo (cv. Bona Vita) rispetto a varietà convenzionali con granella rossa (cv. Aubusson) o bianca (cv. Whitebear) per la capacità antiossidante valutata con metodo DPPH.

Dati medi di 2 anni (2014-15 e 2015-16) e 2 località (Carmagnola, TO e Cussanio, CN)  
Lettere differenti indicano differenze significative per  $P < 0.05$

dei composti ad azione antiossidante e bioattiva presenti naturalmente nella granella dei cereali, valorizzati con un crescente impiego di farine integrali o semi-integrali, il cui consumo è in decisa crescita, e dall'utilizzo di cereali speciali, in miscela con la farina di frumento, nella logica del multi-cereale. Cereali minori (orzo, segale, avena...), antichi (farri, vecchie varietà di frumento) e pseudocereali (grano saraceno, quinoa, amaranto...) sono tra le tipologie a cui il mercato si è orientato per soddisfare questa esigenza salutistica. Tuttavia, soprattutto per le difficoltà di gestione agronomica e tecnologica, il settore produttivo guarda con attenzione a varietà di frumento tenero innovative caratterizzate da un superiore contenuto in composti bioattivi ma da capacità produttive paragonabili a quelle delle varietà convenzionali e caratteristiche reologiche delle farine adeguate alla destinazione d'uso. Anche a seguito del successo delle filiere analoghe nel riso, riscuotono un particolare interesse i frumenti pigmentati, caratterizzati dalla presenza di antociani negli strati corticali (Giordano et al., 2017), o nuovi genotipi quali il *Tritordeum*, ottenuti dall'incrocio tra frumento e un oro selvatico (Giordano et al., 2019). Si osserva (fig. 1 e tab. 1) come la composizione della granella di queste varietà pre-

COLTURA	CV	SPA (MG FAE/KG DW)		CWBPA (MG FAE/KG DW)		LUTEINA (MG/KG)		β-GLUCANI (%)	
Frumento	Aubusson	1162	b	224	b	1.89	b	0.52	b
Frumento	Bologna	1121	b	227	b	1.53	b	0.85	a
<i>Tritordeum</i>	Aucan	1374	a	246	b	4.96	a	0.69	b
<i>Tritordeum</i>	Bulel	1415	a	328	a	5.38	a	0.61	b

Tab. 1 *Confronto tra varietà di frumento tenero e Tritordeum per il contenuto in acidi fenolici solubili (SPA) e legati alla parete cellulare (CWBPA), in luteina e β-glucani. Dati medi di 2 anni (2017-18 e 2018-19) e 2 località (Carmagnola, TO e Cigliano, VC). Lettere differenti in ciascuna colonna indicano differenze statisticamente significative (P<0.05)*

senti un contenuto in alcuni composti bioattivi superiore e questo determini una capacità antiossidante superiore delle farine da essere derivate rispetto a quelle di frumenti teneri convenzionali. La gestione colturale (concimazione, trattamento fungicida) e le condizioni pedoclimatiche evidenziano anche su queste nuove tipologie varietali un effetto significativo e fondamentale nel determinarne la capacità produttiva e le caratteristiche tecnologiche (contenuto in proteina e caratteri reologici), mentre, ancorché questi fattori possono influenzare anche il contenuto in alcuni composti bioattivi, le caratteristiche salutistiche e nutrizionali dipendono per oltre 80% dalla scelta della varietà.

Tuttavia, dal momento che molti di questi composti bioattivi sono localizzati negli strati tegumentali della cariosside, la piena valorizzazione in filiera di questi genotipi innovativi richiede un impiego in prodotti integrali o semi-integrali e pertanto un'attenta valutazione dei rischi sanitari collegati alla loro coltivazione.

#### INNOVAZIONI NEL CONTROLLO DEI CONTAMINANTI NATURALI IN CAMPO

L'accumulo di contaminanti naturali negli strati più esterni della granella è fortemente collegato al genotipo e la suscettibilità all'accumulo di micotossine e metalli pesanti deve essere considerata con attenzione nell'ambito della selezione varietale. Tuttavia, la combinazione tra i fattori agronomici, quali la rotazione colturale, la gestione dei residui della coltura precedente, la suscettibilità varietale e l'applicazione di fungicidi in fioritura per il controllo della fusariosi della spiga, in percorsi agronomici integrati impatta fortemente sulla contaminazione da micotossine e la possibilità di intervenire in campo con tecniche preventive e di controllo diretto per minimizzare i rischi sanitari nei cereali è ben noto (Blandino et al., 2012). Tuttavia, la sfida di fornire oggi prodotti sicuri e in grado di rispondere ai vincoli legislativi in termini

TRATTAMENTO	PRODUZIONE	SEVERITÀ	SEVERITÀ	DON	
	GRANELLA	COMPLESSO	FHB		
	(T/HA)	SEPTORIOSI	(%)	T	N (µG/KG)
Testimone non trattato	6.7 c	43.1 a	5.1 a	7.1 a	1532
Spirulina sp.	6.9 bc	38.2 a	3.3 b	7.1 a	1479
Nannochloropsis sp.	6.9 bc	39.3 a	3.1 b	7.0 ab	1336
Tebuconazolo	7.3 ab	28.9 b	3.1 b	6.7 abc	1155
Protioconazolo	7.7 a	17.6 c	1.1 c	5.7 bc	874
Tebuconazolo + Pro- tioconazolo	7.5 a	17.7 c	1.3 c	5.5 c	767

Tab. 2 *Effetto dell'applicazione in fioritura di estratti dalle microalghe Spirulina e Nannochloropsis sulla produzione di granella, la severità del complesso della septoriosi e della fusariosi della spiga (FHB) alla maturazione cerosa, e il contenuto in deossinivalenolo (DON) nella granella di frumento tenero.*

*Dati medi di 2 anni e 4 ripetizioni. Sperimentazioni condotte a Buriasco (TO) nel 2015-2016.*

*Lettere differenti in ciascuna colonna indicano differenze statisticamente significative ( $P < 0.05$ ).*

di contaminanti anche per prodotti alimentari integrali e la contemporanea necessità di venire incontro alle nuove esigenze di sostenibilità della filiera produttiva richieste dal consumatore (minimo impiego di fitofarmaci, impiego di tecniche agronomiche conservative per la lavorazione del terreno alternative all'aratura) richiedono una valutazione di soluzioni innovative di lotta e prevenzione e la messa a punto di percorsi agronomici in grado di soddisfare le differenti e spesso apparentemente contrastanti richieste del mercato. Tra le soluzioni oggi più studiate c'è l'impiego di biocompetitori per l'applicazione sui residui colturali in assenza di aratura, che possano competere con l'inoculo dei funghi responsabili della contaminazione da micotossine nella granella e l'impiego di sostanze naturali con attività antifungina alternativi ai prodotti di sintesi. Per sottolineare la difficoltà di individuare soluzioni pienamente efficaci nel complesso quadro delle esigenze produttive, sanitarie e qualitative si riporta a titolo di esempio uno studio in cui sono stati confrontati l'applicazione di estratti algali rispetto a trattamenti con fungicidi di sintesi con differenze capacità di controllo delle patologie responsabili di perdite produttive e qualitative del frumento (tab. 2). L'applicazione di un fungicida fortemente efficace nel controllo degli agenti della fusariosi della spiga (miscela di tebuconazolo + protioconazolo), l'applicazione di estratti dalle microalghe alla fioritura del frumento non ha permesso un paragonabile vantaggio produttivo, e soprattutto un'adeguata capacità di controllo della severità delle malattie fogliari (complesso della septoriosi). L'applicazione in campo eviden-

zia una significativa capacità di questi estratti naturali nel contenere i sintomi della fusariosi della spiga rispetto a un testimone non trattato, con un'efficace simile a quella della s.a. fungicida tebuconazolo, sebbene inferiore rispetto a quella osservata con l'impiego di protioconazolo (tab. 2). Tuttavia, l'impiego di questi composti in pieno campo non ha permesso una significativa riduzione della contaminazione della granella in campo (Scaglioni et al., 2019).

#### SOLUZIONI DI PRIMA TRASFORMAZIONE PER MINIMIZZARE I RISCHI SANITARI MA VALORIZZARE IL VALORE SALUTISTICO DELLA MATERIA PRIMA

Le potenzialità nutrizionali dei frumenti, e in particolare dei frumenti pigmentati, sono strettamente legate alla procedura di frazionamento impiegata per la loro lavorazione. Infatti, i composti bioattivi non si distribuiscono uniformemente all'interno della cariosside (Sovrani et al., 2012), e in particolare, alcuni di questi, come gli acidi fenolici, gli antociani e la fibra dietetica totale, tendono a concentrarsi prevalentemente negli strati più esterni. Pertanto, l'impiego di un processo molitorio convenzionale, che determina la rimozione degli strati più esterni della cariosside, causa inevitabilmente una riduzione del valore nutrizionale della farina raffinata (Siebenhandl et al., 2007).

Per tale motivo, negli ultimi anni la decorticatura e altre tecniche di *dry-fractioning* delle componenti della cariosside sono stati proposti come strategia alternativa per la valorizzazione dei prodotti cerealicoli (Hemery et al., 2007). Un'attenta regolazione del processo di decorticatura, infatti, permette di selezionare frazioni cruscali intermedie ricche in composti bioattivi, allontanando allo stesso tempo le frazioni più esterne, generalmente caratterizzate da una maggiore concentrazione in contaminanti e potenzialmente più deleterie per il processo panificatorio (Blandino et al., 2015).

La decorticatura progressiva si dimostra una modalità di lavorazione della granella di frumento tenero adatta a valorizzare le componenti di interesse positive della crusca, con l'ottenimento di ingredienti funzionali ricchi in fibra e altri composti bioattivi, che possono rispondere ai claims salutistici, ma riducendo i rischi sanitari connessi alla presenza di contaminanti. Questa tecnologia è volta ad allontanare con il primo passaggio di decorticatura le componenti più contaminate e con fibra più grossolana, per valorizzare il profilo nutrizionale della frazione ottenuta dal secondo passaggio (fig. 2).

Le informazioni raccolte sulla composizione delle frazioni cruscali consentono di ottimizzare il processo industriale di decorticatura della granella:

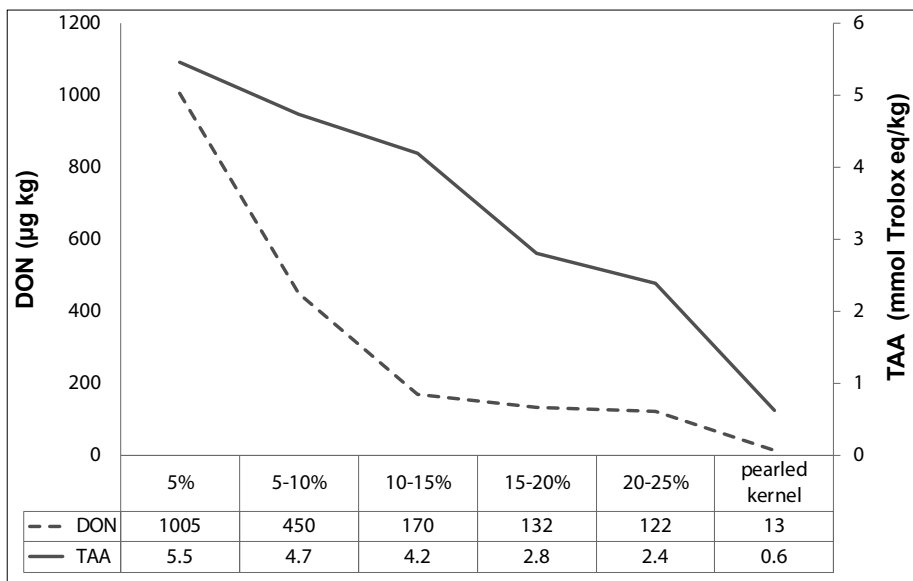


Fig. 2 *Contenuto in deossinivalenolo (DON) e capacità antiossidante totale (TAA) nelle frazioni cruscali a seguito dell'adozione di tecniche di decorticatura progressiva della cariosside intera*

le frazioni da valorizzare quali ingredienti funzionali nonché le modalità di regolazione più idonee possono infatti essere regolate in funzione delle caratteristiche sanitarie e nutrizionali della materia prima.

## CONCLUSIONI

Il consumatore e l'industria di trasformazione richiedono oggi con superiore attenzione prodotti da forno ad alto valore nutrizionale, caratterizzati da un elevato contenuto in composti bioattivi e da un impiego di materie prime innovative e speciali. Tali requisiti possono essere un'opportunità per il settore produttivo per valorizzare filiere di *specialty* a maggior valore aggiunto. La coltivazione di selezionate varietà di frumenti pigmentati o nuove specie come il *Tritordeum* rappresentano oggi l'innovazione di maggiore interesse in questo contesto, dal momento che l'impiego di varietà ad alto contenuto in composti bioattivi e caratteristiche di colore e composizione che possano darne visibilità al consumatore e permettere una superiore riconoscibilità sono il fattore che maggiormente incide sul valore nutrizionale delle granelle. L'innovazione necessaria è quella di un'attenta scelta varietale, che riesca a



selezionare varietà di alto profilo nutrizionale, con ridotti rischio di accumulo dei contaminanti, ma anche dotate di buone performance produttive e una qualità reologica adeguata alla specifica destinazione d'uso.

L'applicazione di un attento processo di *dry-fractioning*, attraverso la decorticatura superficiale progressiva, rappresenta un'ulteriore metodologia per valorizzare la potenzialità nutrizionale della granella di questi cereali, al fine di proporre al mercato frazioni corticali selezionate di alto valore nutrizionale e sanitario.

Le innovazioni nella tecnica agronomica richiedono l'individuazione di soluzioni di basso impatto ambientale, in grado di integrarsi con le tecniche agronomiche ordinarie per permettere una maggior rispetto del pre-requisito sanitario e un più attento raggiungimento degli obiettivi tecnologici e qualitativi richiesti.

#### RIASSUNTO

In Italia, più che in altri Paesi produttori di cereali, si sta assistendo a un progressivo processo di specializzazione nella produzione delle *commodities* agricole, con l'obiettivo di ottenere una materia prima e un semilavorato di superiore valore d'uso e quindi maggiormente remunerato dal mercato e dalla filiera produttiva rispetto a produzioni indifferenziate. Questo processo, necessario in contesti produttivi dove l'agricoltura è meno estensiva e i superiori costi di coltivazione non permettono di competere economicamente con i grandi Paesi esportatori, richiede però lo sviluppo di percorsi colturali e di soluzioni di prima trasformazione (essiccazione, stoccaggio e molitura) dedicate e specifiche al fine di valorizzare la qualità tecnologica, nutrizionale e sanitaria richiesta dalla destinazione d'uso. Con la progressiva espansione delle produzioni in filiera l'agrotecnica, un tempo svincolata da normative e disciplinari, è sempre più guidata in tutto il suo processo verso esigenze precise di impiego per valorizzare un mirato valore d'uso della produzione, in funzione delle nuove esigenze dei consumatori. Prendendo ad esempio alcune filiere di recente interesse per gli aspetti salutistici e nutrizionali (frumenti pigmentati, *Triticordeum*) e le innovazioni che le hanno recentemente caratterizzate, il presente contributo vuole illustrare l'evoluzione della gestione della coltivazione e del post-raccolta nei cereali e il legame che incorre con la ricerca di una superiore qualità tecnologica e nutrizionale e una minimizzazione dei rischi sanitari.

#### ABSTRACT

*Agronomic and first processing solutions to achieve nutritional and health objectives in cereals.* In several cereal growing areas, but in with more evidence in Italy, there is a progressive process of specialization in the agricultural commodity production, with the aim of obtaining raw materials with a higher end-use value and therefore more remunerated by the market and the supply chain, compared to undifferentiated quality level.

This process is necessary in growing areas where agriculture is less extensive and the higher cultivation costs do not allow to compete economically with the large exporting countries and it requires the development of dedicated cultivation cropping systems and first transformation solutions (drying, storage and milling) in order to enhance the technological, nutritional and sanitary quality required by the specific end-use.

With the progressive expansion of production within the supply chain context, the crop technique is increasingly guided throughout its process towards precise requirements to enhance a targeted production end-use value. Taking as an example some recent supply chains for healthy aspects (pigmented wheat, *Tritordeum*) and the main innovation that have been introduced, the presentation aims to illustrate the evolution of the management in cultivation and post-harvest of cereals and the link between the supply chain management and the technological and nutritional quality enhancement and the minimization of health risks.

#### BIBLIOGRAFIA

- BLANDINO M., HAIDUKOWKI M., PASCALE M., PLIZZARI L., SCUDELLARI D., REYNERI A. (2012): *Integrated strategies for the control of Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination in winter wheat*, «Field Crop. Res.», 133, pp. 139-149.
- BLANDINO M., SOVRANI V., MARINACCIO F., REYNERI A., ROLLE L., GIACOSA S., LOCATELLI M., BORDIGA M., TRAVAGLIA F., COISSON, J.D., ARLORIO M. (2013): *Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated pearled fraction*, «Food Chemistry», 141, pp. 2549-2557.
- GIORDANO D., LOCATELLI M., TRAVAGLIA F., BORDIGA M., REYNERI A., COISSON J.D., BLANDINO M. (2017): *Bioactive compound and antioxidant activity distribution in rollermilled and pearled fractions of conventional and pigmented wheat varieties*, «Food Chem.», 233, pp. 483-491.
- GIORDANO D., REYNERI A., LOCATELLI M., COISSON J.D., BLANDINO M. (2019): *Distribution of bioactive compounds in pearled fractions of tritordeum*, «Food Chem.», 301 (125228), pp. 1-11.
- HEMERY Y., ROUAU X., LULLIEN-PELLERIN V., BARRON C., ABECASSIS J. (2007): *Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality*, «Journal of Cereal Science», 46, pp. 327-347.
- SCAGLIONI P.T., SCARPINO V., MARINACCIO F., VANARA F., BADIALE FURLONG E., BLANDINO M. (2019): *Impact of microalgal phenolic extracts on the control of Fusarium graminearum and deoxynivalenol contamination in wheat*, «World Mycotoxin Journal», 12 (4), pp. 367-378.
- SIEBENHANDL S., GRAUSGRUBER H., PELLEGRINI N., DEL RIO D., FOGLIANO V., PERINICE R., BERGHOFER E. (2007): *Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 55, pp. 8541-8547.
- SOVRANI V., BLANDINO M., SCARPINO V., REYNERI A., COISSON J. D., TRAVAGLIA F., LOCATELLI M., BORDIGA M., MONTELLA R., ARLORIO M. (2012): *Bioactive compound content, antioxidant activity, deoxynivalenol and heavy metal contamination of pearled wheat fractions*, «Food Chemistry», 135, pp. 39-46.

LAURA ERCOLI<sup>1</sup>, ELISA PELLEGRINO<sup>2</sup>

## Biofortification in Tuscany: nutritional and nutraceutical aspects of old wheat genotypes and transferability to bread

<sup>1,2</sup> Scuola Superiore Sant'Anna

### INTRODUCTION

The World Health Organization (WHO) estimates that more than 2 billion people show deficiencies in key micronutrients, such as iron and zinc (Fe and Zn) (WHO, 2019). Iron deficiency is the most common and widespread nutritional disorder in the world, with major health consequences including poor pregnancy outcome, impaired physical and cognitive development, increased risk of morbidity in children, and reduced work productivity in adults (Hunt, 2005). Zinc deficiency represents the fifth major cause of diseases and mortality in developing countries, and its main consequences are losses of brain function, weakening of the immune system, and negative influences on physical growth (White and Broadley, 2009). Iron and Zn deficiency are caused by low dietary intake that is associated with a large consumption of foods based on cereals grown on Fe/Zn-deficient soil. Moreover, Fe and Zn deficiencies are projected to become more severe in the future with the predicted increase of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the atmosphere (Myers et al., 2014).

The concentration of minerals in wheat flour is genetically determined by the cultivated genotype/variety and environmentally determined by soil, climate and management practices. Thus, effective strategies to enhance the uptake of micronutrients in grain rely on the selection of genotypes with high micronutrient use efficiency, field application of micronutrients as chemical fertilizers, and utilization of beneficial microorganisms.

### SELECTION OF GENOTYPES WITH HIGH MICRONUTRIENT USE EFFICIENCY

Wheat shows a large variation in Fe and Zn efficiency, i.e. the ability of a

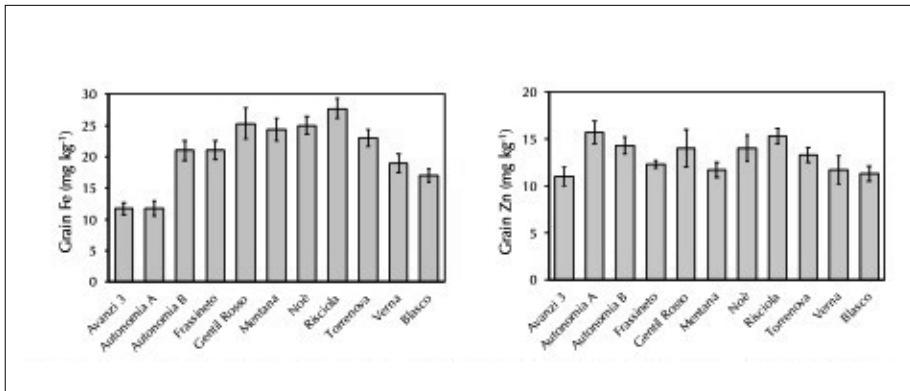


Fig. 1 Grain Fe and Zn concentration of old and modern genotypes of bread wheat (Ercoli *et al.*, 2016)

genotype to grow and yield better under Fe- and Zn-deficient conditions in comparison with other genotypes. Monasterio and Graham (2000) reported a high variability in Fe and Zn concentration in grain (Fe: 20–99; Zn: 16–142 mg kg<sup>-1</sup>) in over 3000 genotypes of bread wheat, durum wheat and triticale, including wild species, landraces and high-yielding modern varieties. Cakmak *et al.* (2000) in 58 lines of bread wheat found Fe and Zn concentrations in grain ranging from 24 to 51 mg Fe kg<sup>-1</sup> and from 8 to 61 mg Zn kg<sup>-1</sup>. The concentrations of the modern varieties were much lower and less variable than those of the wild ancestors.

Results from a field experiment carried out in a soil sufficient for Fe and deficient for Zn demonstrated that Fe and Zn concentration in wheat grain can be increased from 11 to 27.7 mg Fe kg<sup>-1</sup> and from 11 to 15.7 mg Zn kg<sup>-1</sup> by variety choice (fig. 1). Nutraceutical properties were also determined in grain and genotypes and showed similar variations. Indeed, total polyphenols and total flavonoids varied in the studied genotypes from 23 to 37  $\mu\text{mol GAE g}^{-1}$  and from 1.1 to 1.9  $\mu\text{mol CE g}^{-1}$ , respectively (fig. 2). Field experiments comparing wheat genotypes showed also that Fe and Zn concentrations in grain were highly unstable across locations and years, indicating that environmental conditions are substantial for the accumulation of grain Fe and Zn. Thus, wheat genotypes with ability to accumulate Fe and Zn into grain still depend on readily available and steady resupplies of minerals from the soil matrix that can only be improved by adequate agronomic soil fertility management practices (Frossard *et al.*, 2009; White, 2016).

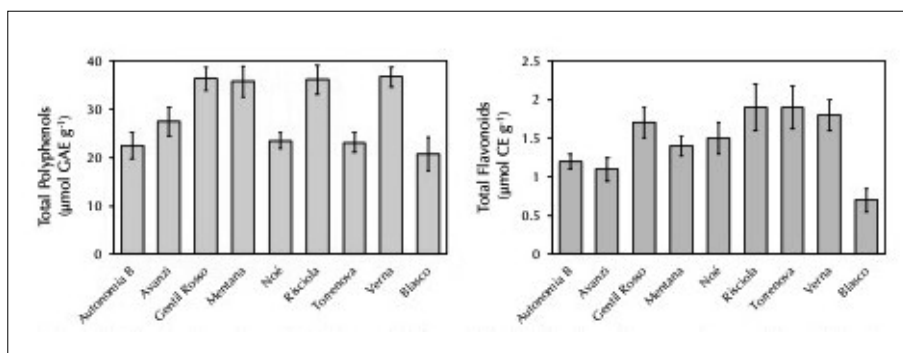


Fig. 2 Total polyphenols and total flavonoids in grain of old and modern genotypes of bread wheat (Ercoli et al., 2016)

#### FIELD APPLICATION OF MICRONUTRIENTS AS CHEMICAL FERTILIZERS

Agronomic biofortification aims to improve the micronutrient content of the edible parts of the crops by micronutrient fertilizer application to the soil and/or foliar application. The efficacy of soil and foliar application is influenced by many soil factors (i.e. pH, organic matter content, soil aeration and moisture and interactions with other elements) and by the structure and functioning of the roots of the crop variety (Cakmak, 2008; Zhang et al., 2010; Acisok et al., 2011).

Field foliar Fe and Zn biofortification differently increased concentrations of Fe and Zn in the wholemeal flour of five bread wheat genotypes. Increases ranged from 15% of Gentil Rosso to 71% of Blasco for Fe and from 13% of Frassineto to 80% of Blasco for Zn (fig. 3).

The variable response of wheat varieties to biofortification was confirmed in a following experiment, comparing an old variety (Gentil Rosso) with a modern one (Blasco) under similar pedoclimatic conditions (Ciccolini et al., 2017). Foliar biofortification with Fe and Zn greatly increased concentration and bioavailability of Zn only in the flour of the old variety of wheat, whereas it was ineffective on Fe concentration in both varieties. However, the old variety had higher concentration and bioavailability of Fe than the modern one. Moreover, wholemeal flour had higher Fe, Zn and health-promoting compounds compared to white flour, as minerals, antioxidant compounds and lipoic acid are mainly concentrated in the outer layers of the caryopsis, i.e., bran, and are lost by the refining processes during milling (fig. 4). Bread making slightly changed Fe and Zn concentration, but increased their bioavailability by over 70%, due to the reduction of phytate (data not shown).

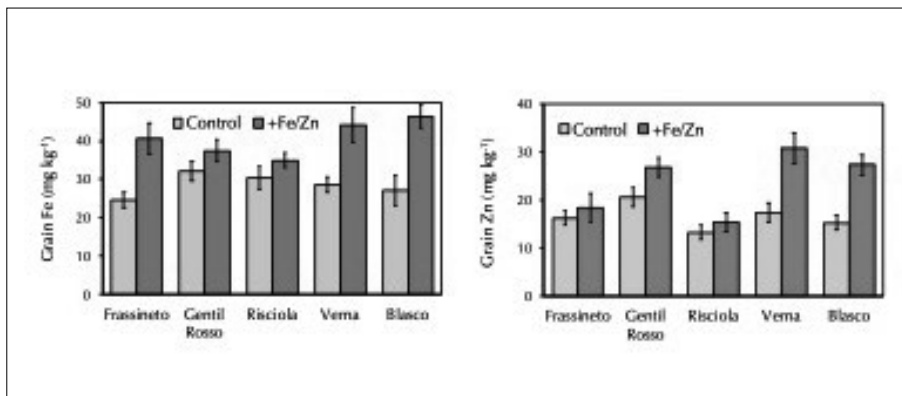


Fig. 3 Grain Fe and Zn concentration of old and modern genotypes of bread wheat (unpublished results)

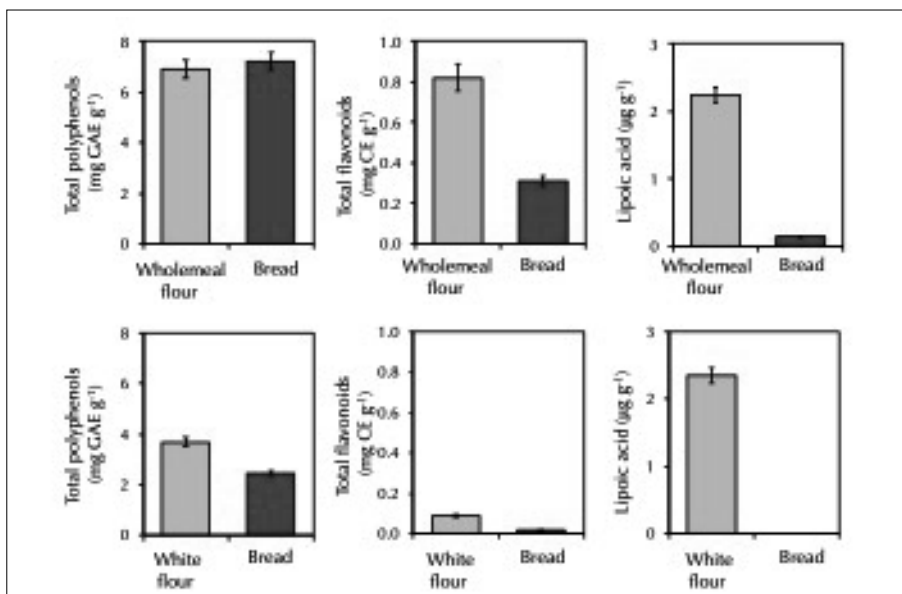


Fig. 4 Total polyphenols, total flavonoids and lipoic acid in wholemeal and white flour and in wholemeal and white bread (Ciccolini et al., 2017)

#### UTILIZATION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS

Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) promotes crop growth and yield by increasing mineral nutrient uptake, disease resistance and drought tolerance. The fungal network acts as an extension of the root system, increa-

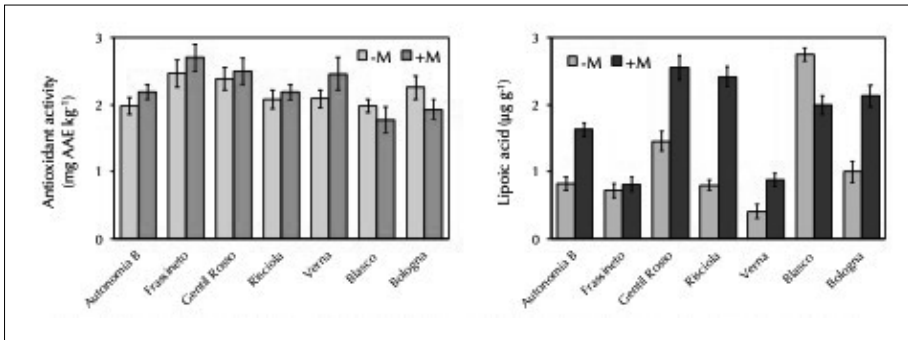


Fig. 5 Antioxidant activity and lipoic acid in grain of old and modern genotypes of bread wheat (unpublished results)

sing the volume of soil explored for nutrient uptake and the uptake of nutrients that are sparingly soluble in soil, such as Fe and Zn (Smith and Read, 1997). A meta-analysis studying the responses of wheat to field inoculation with AMF indicated increases in yield (20%), N content (31%) and Zn concentration (12.8%) in grain and a positive correlation between AMF root colonization rate and grain yield and Zn concentration (Pellegrino et al., 2015). These results were confirmed by a field experiment on durum wheat, showing increases due to inoculation by 42-63% for Fe and by 78-101% for Zn (Ercoli et al., 2017). Modern and old varieties distinctly responded to AMF inoculation, and the modern variety showed higher responsiveness in term of root length, AMF root colonization and grain macro- and micro-nutrient content.

AMF inoculation also affected health-promoting compounds in grain, but the effect varied according to the bread wheat genotype (fig. 5). Antioxidant activity was increased (4.2-19%) in five genotypes and decreased in two genotypes (10-17%), whereas lipoic acid was increased (14-203%) in six genotypes and decreased (28%) in one genotype.

## CONCLUSIONS

The results presented here demonstrate that wheat micronutrient and nutraceutical content in grain can be effectively promoted by combined reliance on efficient crop genotypes, agronomic biofortification, and targeted utilization of beneficial microorganisms.

Moreover, it was shown that old wheat varieties are a good source of genes to enhance micronutrient and nutraceutical content of grain. The increase of

Fe and Zn concentration in grain depends on wheat genotypes carrying genes encoding for efficient mineral uptake and translocation or to high compatibility between plant and AMF.

However, the variable responses of wheat genotypes should be taken into consideration for the introduction of the agronomic biofortification in the ordinary management techniques of cereal farms and for planning breeding strategies aiming to improve mineral and nutraceutical content in grain.

All these results are of great support for developing a production chain of bread enriched with health-promoting compounds and bioavailable minerals and with potential protective role against chronic diseases.

#### RIASSUNTO

Vengono presentate e discusse le potenziali strategie di biofortificazione per migliorare la concentrazione di micronutrienti e nutraceutici nei cereali. Queste strategie includono la selezione di genotipi con elevata efficienza d'uso dei micronutrienti, l'applicazione in campo di microelementi come fertilizzanti chimici e l'utilizzo di microrganismi rizosferici.

I risultati di esperimenti sul campo hanno dimostrato che la concentrazione di Fe e Zn nella granella di frumento tenero può essere aumentata da 11 a 27,7 mg di Fe kg<sup>-1</sup> e da 11 a 15,7 mg di Zn kg<sup>-1</sup> attraverso la scelta varietale. Analogamente, i polifenoli totali e i flavonoidi totali possono essere aumentati rispettivamente da 23 a 37 µmol di GAE g<sup>-1</sup> e da 1,1 a 1,9 µmol di CE g<sup>-1</sup>.

La biofortificazione fogliare con Fe e Zn durante la coltivazione ha aumentato la concentrazione e la biodisponibilità di Fe e Zn nella farina integrale di frumento tenero. Gli aumenti nelle varietà testate variavano dal 15 al 71% per il Fe e dal 13 all'80% per lo Zn. La farina integrale aveva una concentrazione più elevata di Fe, Zn e composti nutraceutici rispetto alla farina bianca. La trasformazione in pane ha modificato leggermente la concentrazione di Fe e Zn ma ha aumentato di oltre il 70% la loro biodisponibilità in conseguenza della riduzione dei fitati.

Una meta-analisi condotta per sintetizzare le risposte dell'inoculo con AMF al frumento ha indicato aumenti della produzione di granella (20%), del contenuto di N (31%) e della concentrazione di Zn (13%) nella granella e una correlazione positiva tra il tasso di colonizzazione delle radici da parte di AMF e la produzione e concentrazione di Zn nella granella. Questi risultati sono stati confermati da esperimenti in campo che hanno mostrato aumenti dovuti all'inoculazione che vanno dal 12% al 119% per Fe ed effetti che vanno da -20% a + 122% per Zn in dipendenza della varietà di frumento tenero utilizzata. L'inoculazione con AMF ha influito anche sui composti che promuovono la salute nei cereali, con effetti variabili in relazione alla varietà. L'attività antiossidante è aumentata (4-19%) in cinque varietà e diminuita in due varietà (10-17%), mentre l'acido lipoico è aumentato (14-203%) in sei varietà e diminuito (28%) in una varietà. Questi risultati sono di grande supporto per lo sviluppo di una catena produttiva di pane arricchita con composti che promuovono la salute e minerali biodisponibili e con potenziale ruolo protettivo contro le malattie croniche.



## ABSTRACT

Potential biofortification strategies to enhance the concentration of micronutrients and nutraceuticals in cereals are presented and discussed. These strategies rely on the selection of genotypes with high micronutrient use efficiency, field application of micronutrients as chemical fertilizers, and utilization of rhizospheric microorganisms.

Results from field experiments demonstrated that Fe and Zn concentration in wheat grain can be increased from 11 to 27.7 mg Fe kg<sup>-1</sup> and from 11 to 15.7 mg Zn kg<sup>-1</sup> by variety choice. Similarly, total polyphenols and total flavonoids can be increased from 23 to 37 µmol GAE g<sup>-1</sup> and from 1.1 to 1.9 µmol CE g<sup>-1</sup>, respectively.

Field foliar Fe and Zn biofortification increased concentration and bioavailability of Fe and Zn in the wholemeal flour of bread wheat. Increases ranged from 15 to 71% for Fe and from 13 to 80% for Zn in the tested varieties. Wholemeal flour had higher Fe, Zn concentration and health-promoting compounds compared to white flour. Bread making slightly changed Fe and Zn concentration, but increased their bioavailability by over 70%, due to the reduction of phytate.

A meta-analysis studying the responses of wheat to AMF field inoculation indicated increases in yield (20%), N content (31%) and Zn concentration (12.8%) in grain and a positive correlation between AMF root colonization rate and grain yield and Zn concentration. These results were confirmed by field experiments showing increases due to inoculation ranging from 12% to 119% for Fe and effects ranging from -20% to +122% for Zn according to bread wheat variety. AMF inoculation also affected health-promoting compounds in grain but the effect varied according to the variety. Antioxidant activity was increased (4.2-19%) in five varieties and decreased in two varieties (10-17%), whereas lipoic acid was increased (14-203%) in six varieties and decreased (28%) in one variety.

All these results are of great support for developing a production chain of bread enriched with health-promoting compounds and bioavailable minerals and with potential protective role against chronic diseases.

## BIBLIOGRAPHY

- ACIKSOZ S.B., YAZICI A., OZTURK L., CAKMAK I. (2011): *Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers*, «Plant Soil», 349, pp. 215-225.
- CAKMAK I., OZKAN H., BRAUN H.J., WELCH R.M., ROMHELD V. (2000): *Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive, and modern wheats*, «Food Nutr Bull», 21, pp. 401-403.
- CAKMAK I. (2008): *Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?*, «Plant Soil», 302, pp. 1-17.
- CICCOLINI V., PELLEGRINO E., COCCINA A., FIASCHI A.I., CERRETANI D., SGHERRI C., QUARTACCI M.F., ERCOLI L. (2017): *Biofortification with iron and zinc improves nutritional and nutraceutical properties of common wheat flour and bread*, «J Agric Food Chem», 65, pp. 5443-5452.
- ERCOLI L., SCHÜSSLER A., ARDUINI I., PELLEGRINO E. (2017): *Strong increase of durum*

- wheat iron and zinc content by field-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different soil nitrogen availabilities, «Plant Soil», 419, pp. 153-167.
- ERCOLI L., PIAZZA G., CICCOLINI V., BONARI E., PELLEGRINO E. (2016): *Increase of iron and zinc concentration in grain of bread wheat field-inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi*, Proc. XLV Congress of Italian Society of Agronomy, Sassari (Italy), 20-22 September 2016.
- FROSSARD E., BÜNEMANN E., JANSJON A., OBERSON A., FELLER C. (2009): *Concepts and practices of nutrient management in agro-ecosystems: Can we draw lessons from history to design future sustainable agricultural production systems?*, «Die Bodenkultur», 60, pp. 43-60.
- HUNT J.R. (2005): *Dietary and physiological factors that affect the absorption and bioavailability of iron*, «Int. J. Vitam. Nutr. Res.», 75, pp. 375-384.
- MONASTERIO I., GRAHAM R.D. (2000): *Breeding for trace minerals in wheat*, «Food Nutr. Bull.», 21, pp. 392-396.
- MYERS S.S., ZANOBBETTI A., KLOOG I., HUYBERS P., LEAKEY A.D.B., BLOOM A.J., CARLISLE E., DIETTERICH L.H., FITZGERALD G., HASEGAWA T., HOLBROOK N.M., NELSON R.L., OTTMAN M.J., RABOY V., SAKAI H., SARTOR K.A., SCHWARTZ J., SENEWEERA S., TAUSZ M., USUI Y. (2014): *Increasing CO<sub>2</sub> threatens human nutrition*, «Nature», 510, p. 139.
- PELLEGRINO E., ÖPIK M., BONARI E., ERCOLI L. (2015): *Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: A meta-analysis of field studies from 1975 to 2013*, «Soil Biol. Biochem.», 84, pp. 210-217.
- SMITH S.E., READ D.J. (1997): *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic Press, London.
- WHITE P.J. (2016): *Biofortification of edible crops*, eLS, 1-8.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. (2009): *Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets.- Iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine*, «New Phytol.», 182, pp. 49-84.
- WHO. Micronutrient Deficiencies. <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/> (accessed on November, 3, 2019).
- ZHANG Y., SHI R., REZAUL K.M., ZHANG F., ZOU C. (2010): *Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application*, «J. Agric. Food Chem.», 58, pp. 12268-12274.

LUANA PAULESU<sup>1</sup>, ROBERTA ROMAGNOLI<sup>2</sup>, FRANCESCA IETTA<sup>3</sup>

## Profilo infiammatorio in ratti alimentati con grani biofortificati

<sup>1, 2, 3</sup> Dipartimento di Scienze della Vita, Università degli Studi di Siena

### RISPOSTA INFIAMMATORIA AL DANNO CARDIACO DI TIPO ISCHEMICO

La malattia cardiovascolare è una delle maggiori cause di morte nel mondo (Mozzaffarian et al., 2016). Inoltre, l'incidenza di tale malattia si riscontra in età sempre più giovane compresa tra 30 e i 50 anni (Juonala et al., 2006). Risulta dunque di estrema importanza conoscere i meccanismi biologici alla base di questa malattia e individuarne possibili nuove strategie di terapia e prevenzione.

È generalmente riconosciuto che l'organismo reagisce a un eventuale alterazione o danno come, ad esempio, il danno cardiaco di tipo ischemico, innescando una risposta tesa a riportare la situazione alla normalità. Se la risposta è tale da compensare il danno ricevuto, si restaura lo stato di salute. Se invece il meccanismo compensatorio è inefficiente o inadeguato, la compensazione fallisce e la malattia prende il sopravvento. Nel caso di un danno miocardico di tipo ischemico, il successo della compensazione consiste nella riparazione e rigenerazione cardiaca e la risposta compensatoria è di tipo infiammatorio (Aoyagi e Mtsui, 2011) (vedi fig. 1).

In seguito al danno, il cuore reagisce producendo fattori solubili che si distribuiscono nell'ambiente liquido, tra una cellula e un'altra, nel tessuto cardiaco, o raggiungono altri organi, tramite la circolazione sanguigna (Gnecchi et al., 2008). Questi fattori solubili sono ritenuti i primi e i maggiori responsabili del processo di riparazione e rigenerazione del cuore (Gnecchi et al., 2005; 2006; Kinnaird et al., 2004). Essi infatti agiscono sui cardiomiociti determinandone la proliferazione. Esplicano inoltre un'azione fondamentale nella rigenerazione cardiaca, provvedendo ad attivare le cellule staminali residenti nel tessuto cardiaco stesso o a reclutarne altre da altri organi come il

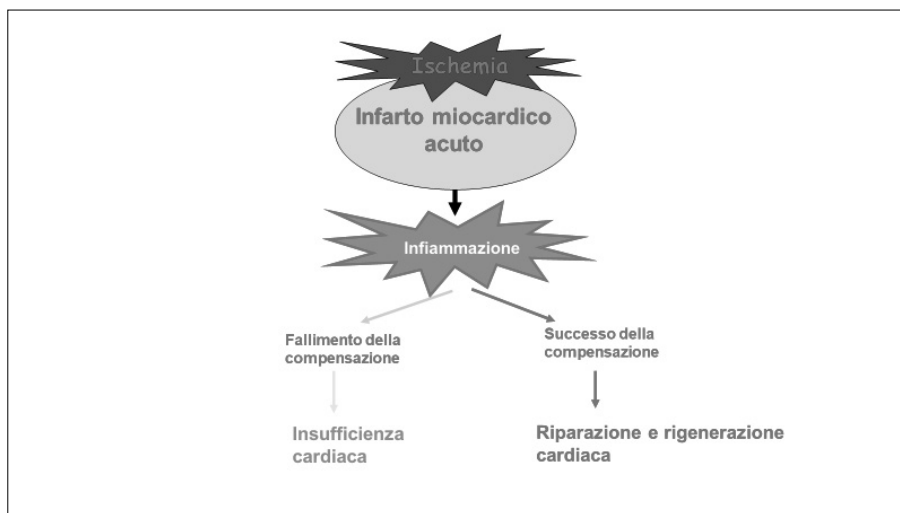


Fig. 1 *Una reazione infiammatoria iniziale costituisce la risposta protettiva al danno miocardico di tipo ischemico*

midollo osseo. Una volta nel cuore, queste cellule si differenziano verso cardiomiociti o cellule della linea vascolare (Migliang et al., 2011; Duran et al., 2013; Toma et al., 2002).

Questi fattori sono quindi da considerarsi molecole estremamente attive in quanto capaci di innescare processi importanti come la mobilitazione delle cellule, la loro attivazione e differenziazione verso diversi tipi cellulari. Sappiamo infatti che laddove sono prodotte, queste molecole provocano una reazione infiammatoria. In seguito al danno, il tessuto cardiaco si infila infatti di leucociti i quali interagiscono con le cellule cardiache attivandole. Sebbene i macrofagi siano la maggiore fonte di fattori pro-infiammatori, anche le cellule cardiache possono generare questo stesso tipo di molecole (Rock e Kono, 2008).

Una risposta iniziale di tipo infiammatorio è dunque essenziale per il riparo e la rigenerazione del tessuto (Medzhitov, 2008).

È tuttavia importante notare che tale stato infiammatorio, seppur essenziale per innescare la reazione, dovrà successivamente essere controllato. Se infatti, la reazione infiammatoria persiste e prende il sopravvento sui processi ricostruttivi, si libereranno fattori ossidanti come i ROS, fattori apoptotici e proteasi che porteranno a necrosi, apoptosi e morte delle cellule normali (Rock e Kono, 2008). Di conseguenza, una prolungata reazione infiammatoria è considerata parte della patogenesi di una varietà di malattie cardiache come

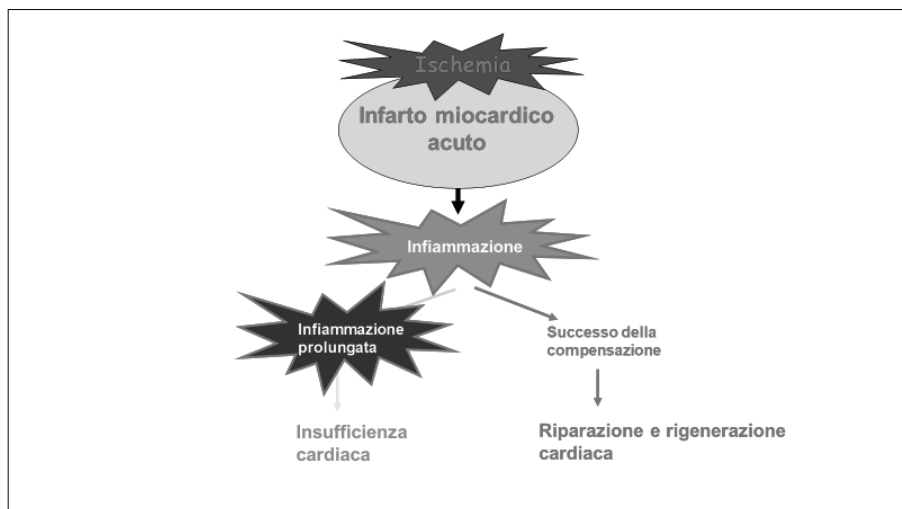


Fig. 2 Una prolungata risposta infiammatoria, dopo un danno cardiaco di tipo ischemico, può causare il fallimento della risposta compensatoria, portando a malattie cardiache croniche

l'insufficienza cardiaca cronica e un alterato rimodellamento ventricolare sinistro (Hohensinner et al., 2011) (vedi fig. 2).

#### PRINCIPALI MEDIATORI DELLA RISPOSTA INFIAMMATORIA

La reazione infiammatoria che avviene nel tessuto cardiaco, in seguito al danno ischemico, è mediata da numerosi fattori secreti sia dalle cellule del tessuto cardiaco, fibroblasti e cardiomiociti, che dai leucociti presenti nel tessuto stesso, inizialmente i neutrofili e successivamente i monociti e i macrofagi (Rock e Kono, 2008). L'interazione molecolare tra questi diversi tipi di cellule, miocardiche e immunitarie, risulta uno dei maggiori determinanti della risposta compensatoria all'ischemia cardiaca, risultante nel processo riparativo del danno (Jones, 2005).

I fattori molecolari che caratterizzano il processo infiammatorio in un tessuto fanno generalmente parte di un ampio complesso di molecole con attività differenti e che esercitano le loro azioni con meccanismi diversi. Queste molecole possono agire in maniera paracrina sulle cellule adiacenti o, in maniera autocrina, sulle cellule produttrici stesse, attivando o inibendo la loro attività. Le molte molecole prodotte fungono quindi da regolatori dell'attività del tessuto e delle cellule in esso contenute. Per quanto riguarda il cuore, in uno stato post-infartuale, gli effetti maggiormente conosciuti riguardano

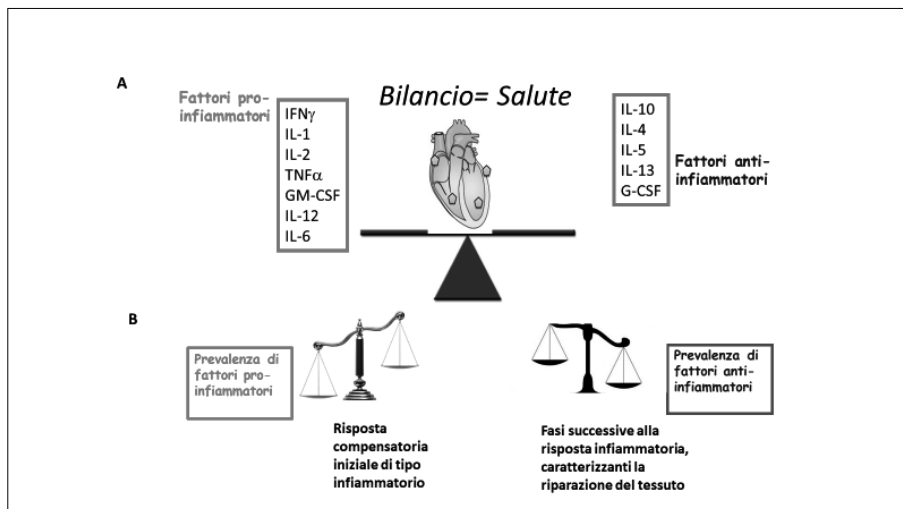


Fig. 3 Rapporto tra fattori pro- e anti-infiammatori nelle diverse condizioni caratterizzanti lo stato di salute (A) e nelle diverse fasi della risposta compensatoria al danno cardiaco di tipo ischemico (B)

il metabolismo cellulare, la contrattilità cardiaca e la neovascolarizzazione (Gnecchi et al., 2008).

Le molecole solubili attive, prodotte in un tessuto, posseggono proprietà che si possono definire di tipo pro- o anti-infiammatorio e sono generalmente denominate di tipo Th1 (le pro-infiammatorie) o di tipo Th2 (le anti-infiammatorie) (Moss et al., 2004). La definizione Th1 e Th2 deriva dal fatto che molti di questi tipi di molecole sono prodotte dai linfociti T helper tipo 1, come ad esempio l'Interleuchina 1 (IL-1), l'IL-2 e il Fattore di necrosi tumorale alfa (TNF $\alpha$ ), mentre altri sono prodotti dai linfociti T helper 2, come ad esempio l'IL-4, l'IL-5 e l'IL-10. Ci sono però altri fattori che non rientrano in queste due categorie, Th1 e Th2, in quanto prodotti da altri tipi cellulari ma sono ugualmente riconosciuti possedere attività pro- o anti-infiammatorie come ad esempio i fattori stimolanti le colonie (CSF), tra questi, il fattore derivante dai granulociti e i macrofagi (GM-CSF) riconosciuto come avente attività pro-infiammatoria e il G-CSF (derivato dai granulociti) riconosciuto come fattore anti-infiammatorio (Hamilton, 2020; Boneberg e Hartung, 2002). Questi due specifiche molecole sono di estrema rilevanza dopo un danno ischemico, in quanto potenzialmente abili al reclutamento delle cellule staminali dal midollo osseo.

Molecole con attività pro- e anti-infiammatoria sono generalmente presenti in un tessuto sebbene il rapporto tra loro possa cambiare sulla base delle

condizioni dell'organismo e del microambiente. È probabile che questi fattori siano rilasciati in una maniera spazio- e tempo-dipendente formando un pool di molecole con caratteristiche prevalentemente di tipo pro- o anti-infiammatorio. Nello stato di salute, questi due tipi di molecole appaiono bilanciarsi in maniera equilibrata, senza alcuna prevalenza delle une sulle altre. In uno stato infiammatorio, come quello post-infartuale, le molecole con attività pro-infiammatoria prevalgono su quelle anti-infiammatorie spostando il peso della bilancia a proprio favore. Al contrario, in una situazione in cui la reazione infiammatoria deve attenuarsi o regredire come nel caso delle fasi successive alla risposta infiammatoria iniziale, durante le quali, hanno luogo i processi di riparazione tissutale, il peso della bilancia si sposta a favore delle molecole anti-infiammatorie. I diversi tipi di rapporti tra le molecole pro- e quelle anti-infiammatorie, nelle diverse condizioni dell'organismo e nelle fasi sequenziali di risposta al danno cardiaco ischemico, sono rappresentati in figura 3.

#### STUDIO SPERIMENTALE SUGLI EFFETTI DI UN GRANO ANTICO TOSCANO (PROGETTO F.A.T.E.PRE.SCO)

Sulla base dell'importanza dello stato infiammatorio nella riparazione e rigenerazione cardiaca successiva al danno tissutale ischemico, abbiamo condotto uno studio sugli effetti potenzialmente benefici di un'alimentazione a base di grano antico toscano (Gentilrosso) biofortificato (Bio) o non Biofortificato (Non-Bio) con ferro e zinco (Progetto F.A.T.E.Pre.Sco, finanziato dalla Regione Toscana e coordinato dall'Istituto di Scienze della Vita della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa).

Il profilo infiammatorio è stato valutato mediante analisi di molecole pro- e anti-infiammatorie, su campioni di siero di ratto raccolti dopo alcune settimane dal danno ischemico.

I dati ottenuti hanno mostrato che l'alimentazione con grano GentilRosso produce un cambiamento nel rapporto tra fattori pro- e anti-infiammatori e che il bilanciamento tra questi due tipi di fattori sia favorito dalla biofortificazione del grano. Gli studi appaiono inoltre indicare differenze sessuali, maschi e femmine, nella produzione di molecole di tipo pro- e anti-infiammatorio.

I dati ottenuti, seppur preliminari, ci incoraggiano ad approfondire le conoscenze sul ruolo degli elementi contenuti nel grano da noi esaminato e sugli effetti potenzialmente benefici della biofortificazione. Ulteriori analisi saranno inoltre utili a definire i fattori tissutali coinvolti nei processi di riparazione e rigenerazione del miocardio.

## CONCLUSIONI

La riparazione e rigenerazione cardiaca dopo un danno cardiaco di tipo ischemico coinvolge la produzione e l'azione di fattori solubili con attività pro- e anti-infiammatoria. Un corretto bilanciamento tra questi due tipi di fattori è fondamentale per definire le varie fasi della risposta infiammatoria al danno. Uno studio in corso nell'ambito del progetto F.A.T.E.Pre.Sco, ha messo in luce l'importanza di un'alimentazione con un grano antico toscano biofortificato con ferro e zinco. I cambiamenti apportati da questo tipo di alimentazione potrebbero contribuire a un corretto assestamento dello stato infiammatorio, essenziale per permettere i processi riparativi e rigenerativi del tessuto cardiaco stesso.

## RIASSUNTO

*Obiettivi:* analisi biochimica di campioni tissutali ed ematici di animali alimentati con pane fatto da farina di grano antico toscano (Gentilrosso) biofortificato (Bio) o non Biofortificato con ferro e zinco (Non-Bio).

*Hypothesis:* l'alimentazione con un grano biofortificato possa contribuire ad un assestamento del sistema infiammatorio utile a prevenire l'insufficienza del cuore dopo infarto miocardico acuto.

*Piano sperimentale:* il profilo infiammatorio è stato valutato mediante analisi di molecole pro- e anti-infiammatorie, con un dosaggio Multiplex ELISA, su campioni di siero raccolti dopo 6 settimane dal danno ischemico (numero di animali: n=15 Non Bio; n=17 Bio). Biopsie di tessuto cardiaco degli stessi animali sono stati esaminati per l'espressione di pathways intracellulari mediante analisi Western blot.

*Risultati:* una prima analisi effettuata sul totale dei campioni di siero da animali alimentati con grano Bio o Non-Bio, non rivelava sostanziali differenze tra i due gruppi, per quanto riguarda il quadro dei fattori pro- e anti-infiammatori. La stratificazione degli animali secondo il sesso (maschio, femmina) ha tuttavia rilevato differenze significative per quanto riguarda l'effetto dell'alimentazione con grano Bio rispetto a quello con grano Non-Bio. In particolare, nel maschio, si è evidenziata una diminuzione di alcuni dei fattori pro-infiammatori (IL-1a, IL-1b e IL-2) mentre nessuna variazione era osservata per i fattori anti-infiammatori (IL-4, IL-5, IL-10 e IL-13). Nel caso delle femmine, l'alimentazione con pane da grani Bio causava un generale aumento di fattori pro-infiammatori, che risultava significativo per l'IL-1, accompagnato anche da un aumento di fattori anti-infiammatori, significativo per l'IL-13 e l'IL-5. L'analisi proteica nel tessuto cardiaco mostrava un aumento di marcatori di proliferazione nel cuore di ratti alimentati con pane Bio senza differenze di rilievo tra i due sessi.

*Conclusioni:* il cambiamento del quadro pro- e anti-infiammatorio, causato dall'alimentazione con pane ottenuto da grani biofortificati in animali sottoposti a danno cardiaco, potrebbe contribuire al restauro del corretto equilibrio dello stato infiammatorio essenziale per la riparazione del tessuto miocardico. La rigenerazione del tessuto è anche sostenuta dall'aumento di fattori specifici della proliferazione.



## ABSTRACT

*Inflammatory profile in rats fed with biofortified wheat. Objectives:* biochemical analysis of tissue and blood samples from animals fed with bread made with a Tuscan ancient grain (Gentilrosso) biofortified (Bio) or not biofortified (Non-Bio) with iron- and zinc.

*Hypothesis:* feeding with a biofortified wheat can contribute to setting up the inflammatory system for preventing heart failure after acute myocardial infarction.

*Experimental plan:* the inflammatory profile was evaluated by analysis of pro- and anti-inflammatory molecules, using a Multiplex ELISA assay, in serum samples collected after 6 weeks from ischemic damage (number of animals: n = 15 Non-Bio; n = 17 Bio). Heart tissue biopsies from the same animals were examined for the expression of intracellular pathways by Western blot analysis.

*Results:* a first analysis carried out on the total number of serum samples from animals fed with Bio or Non-Bio wheat, did not reveal any substantial difference between the two groups, as regards the pro- and the anti-inflammatory factors. The stratification of animals according to sex (male, female) however revealed significant differences with regard to the effect of feeding with Bio wheat compared to that of Non-Bio wheat. In particular, in males, there was a decrease in some of the pro-inflammatory factors (IL-1a, IL-1b and IL-2) while no variation was observed for some of the anti-inflammatory ones (IL-4, IL-5, IL-10 and IL-13). In females, feeding with bread from Bio wheat caused a general increase in pro-inflammatory factors, which was statically significant for IL-1. These animals also showed a statistically significant increase of anti-inflammatory factors, IL-13 and IL-5. Protein analysis in cardiac tissue showed an increase in proliferation markers in the heart of rats fed with Bio bread without differences between the two sexes.

*Conclusions:* the change of the pro- and anti-inflammatory framework, caused by feeding with bread obtained from biofortified grains, in animals after acute myocardial infarction, could contribute to the restoration of the correct balance of the inflammatory state, essential for the repair of myocardial tissue. Tissue regeneration is also supported by the increase in specific proliferation factors.

## BIBLIOGRAFIA

- AOYAGI T., MATSUI T. (2011): *The Cardiomyocyte as a Source of Cytokines in Cardiac Injury*, «J Cell Sci Ther.», 1, 2012 (S5).
- BONEBERG E.M., HARTUNG T. (2002): *Molecular aspects of anti-inflammatory action of G-CSF*, «Inflamm Res.», 51 (3), pp. 119-128.
- DURAN J.M., MAKAREWICH C.A., SHARP T.E., STAROSTA T., ZHU F., HOFFMAN N.E., CHIBA Y., MADESH M., BERRETTA R.M., KUBO H., HOUSER S.R. (2013): *Bone-derived stem cells repair the heart after myocardial infarction through transdifferentiation and paracrine signaling mechanisms*, «Circ Res.», 16, 113 (5), pp. 39-552.
- GNECCHI M., HE H., LIANG O.D., MELO L.G., MORELLO F., MU H., NOISEUX N., ZHANG L., PRATT R.E., INGWALL J.S., DZAU V.J. (2005): *Paracrine action accounts for marked protection of ischemic heart by Akt-modified mesenchymal stem cells*, «Nat Med.», 11 (4), pp. 367-368.
- GNECCHI M., HE H., NOISEUX N., LIANG O.D., ZHANG L., MORELLO F., MU H., MELO

- L.G., PRATT R.E., ING WALL J.S., DZAU V.J. (2006): *Evidence supporting paracrine hypothesis for Akt-modified mesenchymal stem cell-mediated cardiac protection and functional improvement*, «FASEB J.», 20 (6), pp. 661-669.
- GNECCHI M., ZHANG Z., NI A., DZAU V.J. (2008): *Paracrine mechanisms in adult stem cell signaling and therapy*, «Circ Res.», 21, 103 (11), pp. 1204-1219.
- HAMILTON J.A. (2020): *GM-CSF in inflammation*, «J Exp Med.», 6, 217 (1).
- HOHENSINER P.J., NIESSNER A., HUBER K., WEYAND C.M., WOITA J. (2011): *Inflammation and cardiac outcome*, «Curr. Opin. Infect Dis.», 24 (3), pp. 259-264.
- JONES S.A. (2005): *Directing transition from innate to acquired immunity: defining a role for IL-6*, «J Immunol.», 15, 175 (6), pp. 3463-3468.
- JUONALA M., VIKARI J.S., RASANEN L., HELENIUS H., PIETIKAINEN M., RAITAKARI O.T. (2006): *Young adults with family history of coronary heart disease have increased arterial vulnerability to metabolic risk factors: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study*, «Arterioscler Thromb Vasc Biol.», 26 (6), pp. 1376-1382.
- KINNAIRD T., STABILE E., BURNETT M.S., SHOU M., LEE C.W., BARR S., FUCHS S., EPSTEIN S.E. (2004): *Local delivery of marrow-derived stromal cells augments collateral perfusion through paracrine mechanisms*, «Circulation», 30, 109 (12), pp. 1543-1549.
- MEDZHITOV R. (2008): *Origin and physiological roles of inflammation*, «Nature», 24, 454 (7203), pp. 428-435.
- MINGLIANG R., BO Z., ZHENG GUO W. (2011): *Stem cells for cardiac repair: status, mechanisms, and new strategies*, «Stem Cells Int.», 310928.
- MOSS R.B., MOLL T., EL-KALAY M., KOHNE C., SOO HOO W., ENCINAS J., CARLO D.J. (2004): *Th1/Th2 cells in inflammatory disease states: therapeutic implications*, «Expert Opin Biol Ther.», 4 (12), pp. 1887-1896.
- ROCK K.L., KONO H. (2008): *The inflammatory response to cell death*, «Annu Rev Pathol.», 3, pp. 99-126.
- MOZAFFARIAN D., BENJAMIN E.J., GO A.S., ARNETT D.K., BLAHA M.J., CUSHMAN M., DAS S.R., DE FERRANTI S., DESPRES J.P., FULLERTON H.J., HOWARD V.J., HUFFMAN M.D., ISASI C.R., JIMENEZ M.C., JUDD S.E., KISSELA B.M., LICHTAMN J.H., ISABETH L-D., LIU S., MACKAY R.H., MAGID D.J., MCGUIRE D.K., MOHLER E.R. 3RD, MOY C.S., MUNTNER P., MUSSOLINO M.E., NASIR K., NEUMAR R.W., NICHOL G., PALANIAPPAN L., PANDEY D.K., REEVES M.J., RODRIGUEZ C.J., ROSAMOND W., SORLIE P.D., STEIN J., TOWFIGHI A., TURAN T.N., VIRANI S.S., WOO D., YEH R.W., TURNER M.B. (2016): *Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update: A Report From the American Heart Association*, «Circulation», 26, 133 (4): e38-360.
- TOMA C., PITTENGER M.F., CAHILL K.S., BYRNE B.J., KESSLER P.D. (2002): *Human mesenchymal stem cells differentiate to a cardiomyocyte phenotype in the adult murine heart*, «Circulation», 1, 105 (1), pp. 93-98.

MARIA CRISTINA MESSIA<sup>1</sup>, ELISA DE ARCANGELIS<sup>2</sup>

## Aspetti tecnologici e regolatori per lo sviluppo di alimenti funzionali a base di cereali

<sup>1,2</sup> Dipartimento Agricoltura, Ambiente e Alimenti (DiAAA), Università degli Studi del Molise

### INTRODUZIONE

Numerose ricerche scientifiche hanno evidenziato, l'esistenza di uno stretto legame tra alimentazione e salute. Gli alimenti, ma anche ingredienti alimentari, che oltre a veicolare nutrienti possono espletare, grazie al caratteristico contenuto in sostanze bioattive, un'azione benefica sulla salute dell'uomo (biomodulazione) vengono definiti *alimenti funzionali* (Diplock et al., 1999). Tali alimenti, sono inquadrati come prodotti che sappiano coniugare al meglio il concetto di "buono" con il concetto di "sano", per cui è necessario che siano gradevoli al palato, di elevato valore nutrizionale e in grado di contribuire al benessere fisico e psichico del consumatore.

L'approccio tecnologico più attuale per la produzione di alimenti funzionali, è quello di sviluppare prodotti naturali/integrali che rispettino le materie prime, l'alimento e le esigenze del consumatore.

La *cariosside dei cereali*, è un sistema complesso e versatile che ben si adatta alle innovazioni tecnologiche volte a soddisfare nuove esigenze o mode alimentari e salutistiche. Al suo interno, infatti, localizzati in diverse sezioni, si riscontrano numerosi composti bioattivi ( $\beta$ -glucani, tocoli, folati, fitosteroli, polifenoli, ecc.) che svolgono numerose attività biologiche (tab. 1) riconosciute dalla comunità scientifica internazionale.

La composizione chimica e la distribuzione dei diversi costituenti la cariosside è di fondamentale importanza per comprendere i fenomeni e le modificazioni che avvengono durante i differenti processi tecnologici di trasformazione dei cereali come ad esempio la macinazione.

Con *la macinazione* si ha l'allontanamento degli strati periferici della cariosside (tegumenti, strato aleuronico e germe) e di conseguenza una significa

BIOACTIVE COMPOUND	KERNEL LOCALIZATION	BIOLOGICAL EFFECTS
β-glucan (barley and oat)	Starch endosperm, aleurone layer	Hypocholesterolemic, hypoglycemic
Tocols (Vitamin E) tocopherols tocotrienols	Germ, aleurone layer	Antioxidant, hypocholesterolemic
Folate	Germ, aleurone layer	Prevention of neural tube defects, reduction of cardiovascular disease and colon cancer
Fructo-oligosaccharides	Immature grain at the milky phase stage	Prebiotic
Phytosterols	Germ, aleurone layer	Hypocholesterolemic
(Poli)phenols	Pericarp/aleurone layer	Antioxidant
Phytate	Pericarp	Prevention of colon cancer
Policosanol	Pericarp	Hypocholesterolemic
Pentosan arabinoxylans	Pericarp	Hypocholesterolemic
Lignan	Pericarp/aleurone layer	Reduction of cardiovascular disease, reduction in cancer occurrence
Alkylresorcinols	Pericarp	Antioxidant, anticancer
Fonte: Marconi e Messia, 2012.		

Tab. 1 *Composti con attività biologica presenti nella cariosside dei cereali*

tiva riduzione del valore nutritivo degli sfarinati raffinati rispetto alla granelle integrale.

Le farine con più alto tasso di abburattamento (farine 00) saranno pertanto le più povere in fibra alimentare, sali minerali e vitamine (fig. 1). D'altro canto, con l'aumentare del grado di raffinazione si consegue un miglioramento dell'attitudine alla trasformazione e della sicurezza d'uso dello sfarinato. L'allontanamento degli strati periferici della cariosside contribuisce, infatti, alla riduzione di contaminanti quali micotossine, metalli pesanti e pesticidi generalmente localizzati nelle parti corticali del seme.

#### TECNOLOGIE DI FRAZIONAMENTO E RICOMBINAZIONE

Il modello di lavorazione di *frazionamento e ricombinazione*, adottato fin dall'antichità per i cereali, è ancora alla base dello sviluppo delle moderne tecnologie di produzione degli ingredienti alimentari e di innumerevoli prodotti finiti. Il sistema di frazionamento e ricombinazione consiste nel suddividere il processo produttivo in un primo stadio in cui le materie prime naturali

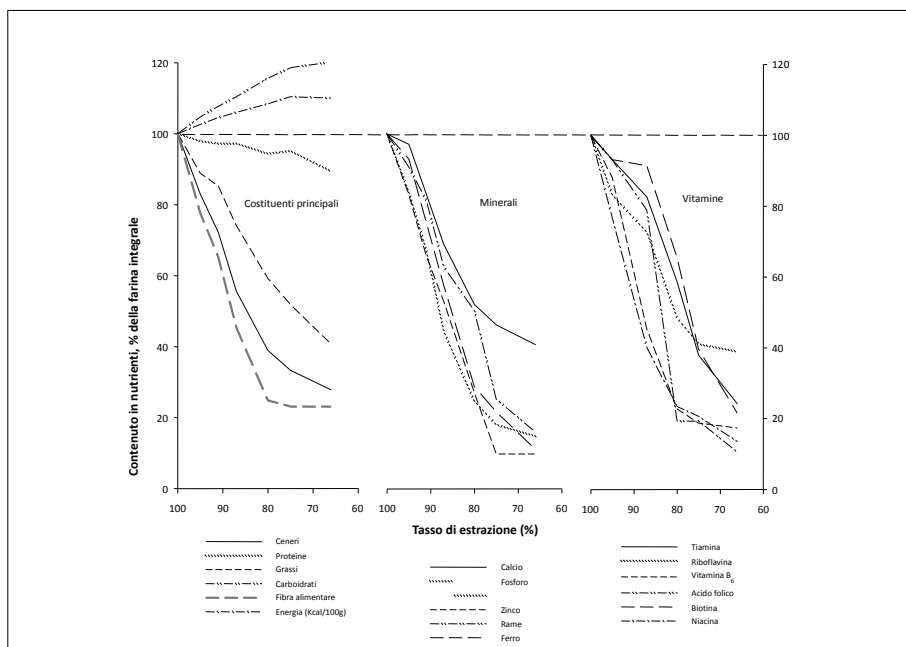


Fig. 1 *Composizione in nutrienti di farine a diverso tasso di estrazione a confronto con la composizione dello sfarinato integrale*

vengono frazionate in ingredienti e in un secondo stadio in cui gli ingredienti vengono miscelati (formulazioni) e strutturati opportunamente per dar luogo a svariati prodotti di seconda trasformazione (pane, paste, prodotti da forno, cereali da colazione, snack, birra ecc).

Le tecnologie di frazionamento hanno, quindi, lo scopo di isolare/arricchire/concentrare, da materie prime complesse (granella), gruppi di costituenti omogenei (fibra, proteine, amido, sostanze bioattive) per composizione e caratteristiche funzionali in modo da avere migliore conservabilità, esaltazione delle proprietà dietetico-funzionali e valorizzazione dei sottoprodotti/scarti.

Le materie prime/ingredienti che si ottengono con queste tecniche sono, dal punto di vista della sicurezza d'uso e della qualità percepita dal consumatore, superiori a quelle ottenute con metodi/ mezzi/ processi chimici. Inoltre, dai prodotti/ingredienti ottenuti da suddette tecnologie, mediante l'utilizzo di formulazioni e tecnologie appropriate è possibile ottenere prodotti mono e polifunzionali, caratterizzati da accertata valenza funzionale ed elevata qualità sensoriale.

Tra le tecnologie di frazionamento troviamo la setacciatura, la perlatura e la classificazione ad aria (turboseparazione).

La *setacciatura* è un metodo di separazione fisica con cui le particelle di uno sfarinato vengono separate in base alla loro granulometria. Utilizzando setacci con luci di maglia di diverse dimensioni e vari passaggi di setacciatura, in cui la frazione *grossa*, cioè quella che non passa attraverso il setaccio, ottenuta dal passaggio precedente viene nuovamente macinata e ri-setacciata, si possono ottenere sfarinati diversamente arricchiti in composti bioattivi in tempi relativamente brevi.

La *perlatura* è una tecnica fisica di separazione su base localizzativa ed è un processo ampiamente utilizzato per la produzione di cereali perlati da destinare all'alimentazione umana. Con la perlatura, si rimuovono gradualmente le glume, il pericarpo e il germe del cereale mediante l'azione abrasiva di rulli. La rimozione delle glume è il primo passaggio della perlatura, che comporta la perdita del 7-14% del peso della cariosside intera. Un'ulteriore abrasione comporta la rimozione degli strati più esterni della cariosside (testa e pericarpo), aleurone, strato sub-aleurone e germe, lasciando integro l'endosperma amilifero ricco in carboidrati e proteine. Gli scarti della perlatura, ricchi in fibra, composti vitaminici e minerali possono essere recuperati ed integrati in formulazioni adatte alla produzione di alimenti funzionali (Marconi et al., 2000; Panfili et al., 2008).

La *classificazione ad aria* è una tecnica fisica di separazione basata sulla differenza di peso delle particelle di uno sfarinato. La classificazione ad aria di uno sfarinato è condotta sotto l'influenza di due forze opposte: la prima, una forza di trazione, tende a trascinare le particelle più piccole verso il centro del rotore; la seconda, una forza centrifuga, tende a spingere le particelle verso la superficie esterna del cilindro classificatore. Le particelle fini della farina tendono, perciò, ad essere trasportate insieme con la corrente d'aria, mentre le particelle più grandi tendono a raccogliersi lungo le pareti del cilindro. Dalla separazione vengono ottenute due frazioni (una frazione grossa e una frazione fine) che presenteranno una diversa distribuzione percentuale dei componenti. L'applicazione della classificazione ad aria a sfarinati d'orzo micronizzati si è dimostrata utile all'ottenimento di frazioni grosse ricche in  $\beta$ -glucani che hanno trovato applicazione nella preparazione di diversi prodotti funzionali (Verardo et al., 2011; Messia et al. 2019).

#### ASPETTI REGOLATORI

Con l'affermazione degli alimenti funzionali è emersa la necessità di regolamentarne la produzione e la commercializzazione, mediante la definizione di

standard e linee guida. In Europa, i testi legislativi, relativi alle indicazioni nutrizionali e sulla salute fornite sui prodotti alimentari, sono il *Regolamento (CE) N. 1924/2006* del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'Unione Europea del 20 dicembre 2006 e il *Regolamento (UE) N. 432 del 2012*. Si tratta di Regolamenti devoluti a tutelare il consumatore e a facilitare le sue scelte sui prodotti alimentari, promuovendo l'immissione sul mercato di alimenti sicuri e adeguatamente etichettati.

La comunicazione del valore nutrizionale e degli effetti sulla salute dei prodotti alimentari o ingredienti (o di un nutriente in esso contenuto), i cosiddetti *claims nutrizionali* e *claims salutistici*, sono ammessi dall'Unione Europea soltanto se si è in grado di dimostrare, con dati quantitativi ed evidenze scientifiche, che il nutriente o il componente bioattivo di interesse è presente nel prodotto in quantità uguali o superiori a un certo livello utile all'ottenimento dell'effetto fisiologico desiderato. Tra i *claims* salutistici approvati dall'EFSA e riportati nel Regolamento UE 432/2012 figurano quelli relativi ai  $\beta$ -glucani da avena e orzo, agli arabinoxilani da frumento e alla fibra di crusca di frumento.

Con l'aumento della considerazione della diffusione dei cereali e dei prodotti integrali è cresciuta l'evidenza di come il concetto di integrale sia differente nei diversi Paesi.

Se, da una parte, a livello mondiale, è consolidata e accettata la loro importanza nutrizionale, paradossalmente al momento manca una definizione chiara e condivisa di cosa esattamente si intende per cereale o prodotto finito integrale.

La definizione di integrale dovrebbe armonizzarsi con le moderne tecniche industriali di macinazione, con gli aspetti di *food safety* e di salubrità, salvaguardando la sua utilità e coerenza nelle linee guida e nei modelli alimentari, nelle dichiarazioni nutrizionali e nell'informazione.

La definizione più recente di *whole grain* (cereale integrale) rilasciata dal WGI Global Working Group on Whole Grain Definitions (Versione 2019-05-01C) afferma che: «*Whole grains shall consist of the intact, ground, cracked, flaked or otherwise processed kernel after the removal of inedible parts such as the hull and husk. All anatomical components, including the endosperm, germ and bran must be present in the same relative proportions as the intact kernel*».

Anche l'Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia dei Cereali (AISTEC) si è fatta promotrice di modifiche al DPR 9 febbraio 2001 n. 187 relativo alla produzione e commercializzazione degli sfarinati integrali di frumento e dei prodotti derivati. Il testo con le modifiche al DPR, è stato presentato a una audizione presso la XIII Commissione Agricoltura, con l'intenzione di defi-

nire meglio gli sfarinati integrali sia di frumento tenero sia di frumento duro anche sulla base delle definizioni di *whole grain* e prevedere ulteriori tipologie di sfarinati integrali, anche senza germe, che possano soddisfare al meglio le esigenze nutrizionali, tecnologiche, sensoriali e di sicurezza d'uso di sfarinati e prodotti finiti (Tecnica Molitoria, 2017).

#### RIASSUNTO

Il forte interesse dei consumatori per il rapporto tra alimentazione e salute ha favorito la comparsa dei cosiddetti alimenti funzionali. Gli alimenti funzionali sono alimenti caratterizzati da effetti addizionali dovuti alla presenza di componenti (generalmente non nutrienti) che interagiscono più o meno selettivamente con una o più funzioni fisiologiche dell'organismo (bio-modulazione) utili a promuovere uno stato di benessere fisico e mentale del consumatore e a prevenire malattie. Per il raggiungimento di effetti benefici per la salute, gli alimenti funzionali devono essere regolarmente consumati come parte della dieta.

La cariosside dei cereali, sistema complesso e versatile, ben si adatta alle innovazioni tecnologiche (tecniche di frazionamento e di ricombinazione) indirizzate alle nuove esigenze nutrizionali e salutistiche (sfarinati poco raffinati e/o ricchi in composti bioattivi, differente composizione in amido) e i prodotti a base di cereali sono appropriati per veicolare sostanze bioattive (phytochemicals) dal momento che è possibile ottenere, mediante utilizzo di formulazioni e tecnologie appropriate, prodotti (mono e polifunzionali) caratterizzati da accertata valenza funzionale ed elevata qualità sensoriale.

Con l'affermazione degli alimenti funzionali è emersa la necessità di regolamentarne la produzione e commercializzazione mediante la definizione di standard e linee guida. A tal fine, il Regolamento CE n. 1924/2006 e il Regolamento UE n. 432/2012 sono stati redatti per disciplinare l'utilizzo in etichetta delle indicazioni salutistiche e nutrizionali approvate, previa evidenze scientifiche, dall'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA).

#### ABSTRACT

*Technological and regulatory aspects for the development of cereal functional foods.* The strong consumers' interest in relationship between nutrition and health promoted the emergence of functional foods. Functional foods are foods with additional beneficial effects due to the presence of components (generally non-nutrients) that modulate one or more body's physiological functions (biomodulation) useful to promote physical and mental health and to prevent disease. To achieve health benefits functional foods should be consumed regularly in the diet.

Cereals kernel is a complex and versatile raw material that is well suited for technological innovations (fractionation and recombination technologies) addressed towards new nutritional and health needs (less refined flours and/or enriched in bioactive compounds, or with different starch composition). Cereal based foods are appropriate to convey bioactive compounds (phytochemicals) since it is possible to obtain, through appropriate



formulations and technology, products (mono or polyfunctional) characterised by proved functional value and high sensorial quality.

The affirmation of functional foods showed the need to regulate the production and marketing of functional foods through the establishment of standards and guidelines. For this purpose, Regulation (EC) No. 1924/2006 and Regulation (EU) No. 432/2012 were drafted to rule the use of health and nutritional claims on labels, approved, upon scientific evidences, by the European Food Safety Authority (EFSA).

## BIBLIOGRAFIA

- DIPLOCK A., AGGETT P., ASHWELL M., BORNET F., FREN E., ROBERFROID M. (1999): *Scientific concepts of functional foods in Europe – Consensus Document*, «British Journal of Nutrition», 81 (1), pp. 1-2.
- MARCONI E., GRAZIANO M., CUBADDA R. (2000): *Composition and utilization of barley pearling by-products for making functional pastas rich in dietary fiber and beta-glucans*, «Cereal Chemistry», 77, pp. 133-139.
- MARCONI E., MESSIA M.C. (2012): *Pasta made from non traditional raw materials: technological and nutritional aspects*, in *Durum wheat chemistry and technology*, Ch. 11, J. Abecassis, M. Carcea and M. Sissons Eds. AACC St Paul, MN (USA), pp. 201-211, ISBN: 978-1-891127-65-6.
- MESSIA M.C., ORIENTE M., ANGELICOLA M., DE ARCANGELIS E., MARCONI E. (2019): *Development of functional couscous enriched in barley  $\beta$ -glucans*, «Journal of Cereal Science», 85, pp. 137-142.
- PANFILI, G., FRATIANNI, A., DI CRISCIO T., MARCONI, E. (2008): *Tocol and  $\beta$ -glucan levels in barley varieties and in pearling by-products*, «Food Chemistry», 107, pp. 84-91.
- REGULATION (EC) NO 1924/2006 of The European Parliament and of The Council of 20 December 2006 *on nutrition and health claims made on foods*, «Official Journal of the European Union», L 404, 30/12/2006.
- REGULATION (EU) NO 432/2012 of The European Parliament and of The Council of 16 May 2012 *establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health*, «Official Journal of the European Union», L 136, 25/05/2012.
- TECNICA MOLITORIA (2017): *AISTEC audita sulle proposte di legge: etichettatura delle farine di grano duro non raffinate o integre e produzione e vendita di pane*, «Tecnica Molitoria», 68 (4), pp. 296-306.
- VERARDO V., GOMEZ-CARAVACA A.M., MESSIA M.C., MARCONI E., CABONI M.F. (2011): *Development of functional spaghetti enriched in bioactive compounds using barley coarse fraction obtained by air classification*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 59, pp. 9127-9134.

MARCO MANCINI<sup>1</sup>, SIMONE ORLANDINI<sup>2</sup>

## Esperienze di gestione agronomica nelle filiere frumenticole toscane

<sup>1,2</sup> DAGRI - Università degli Studi di Firenze

### INTRODUZIONE

La coltivazione del frumento in Toscana si svolge prevalentemente in un ambiente pedoclimatico con produttività limitata. Dalla metà del secolo passato la scelta delle varietà è stata indirizzata principalmente verso risposte produttive alle fertilizzazioni azotate, taglia ridotta per evitare l'allettamento, alto contenuto nella frazione glutinica delle proteine e maturazione anticipata per sfuggire all'avvento delle alte temperature estive che sono spesso causa della stretta. Nel contempo le operazioni colturali hanno mirato soprattutto al soddisfacimento delle esigenze della pianta attraverso il sovradosaggio di input chimici quali fosforo e azoto e lavorazioni del suolo molto spinte, a discapito della efficienza d'uso degli input e nella sola ottica di massimizzare le rese. Attualmente l'evoluzione della tecnica agronomica, legata soprattutto dalla necessità di ridurre i costi di produzione, indirizza tutti gli input verso una maggiore efficienza d'utilizzo attraverso operazioni sito-specifiche legate all'agricoltura di precisione. Tale rivoluzione ha preso avvio proprio dai territori con minore marginalità economica e si è sposata con pratiche agronomiche volte a condizionare nuovi aspetti qualitativi delle produzioni. Questi ultimi non riguardano più solamente i parametri che hanno un riscontro per le esigenze tecniche dell'industria di trasformazione ma interessano anche nuovi aspetti quali quelli salutistici divenuti ormai un elemento di scelta per il consumatore. In tal senso sono state indirizzate prove agronomiche atte a trasferire tecniche di agricoltura di precisione per la coltivazione di frumenti teneri. In particolare sono in corso di svolgimento sperimentazioni atte a definire l'incidenza di differenti combinazioni di concimazioni azotate e fosfatice sul rapporto fra amilosio e amilopectina dell'amido della cariosside e sul conte-

nuto in elementi minerali, prove di concimazione solfatica volte a valutare l'incidenza sulla panificabilità di farine di frumenti di vecchie varietà.

#### LA GESTIONE AGRONOMICA CON L'AVVENTO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Gran parte delle aree coltivate a frumento in Italia sono dislocate in ambienti caratterizzati da elevata disomogeneità dal punto di vista pedologico, orografico e climatico.

La variabilità dell'ambiente fisico si riscontra anche nella crescita e nella produzione del frumento che mostrano una differenziazione elevata anche in aree di coltivazione con limitate estensioni. In tale contesto la possibilità di applicare input di coltivazione in maniera sitospecifica, a seconda delle esigenze, ha risvolti positivi sulla sostenibilità sia economica sia ambientale (Casa, 2016).

Molte operazioni colturali basate sulla somministrazione differenziata degli input di coltivazione si basano su informazioni derivanti da monitoraggio remoto delle colture. Questo consente di individuare con buona attendibilità molteplici indicatori del loro stato vegetazionale e produttivo, quali il LAI, la sostanza secca della biomassa aerea, la quantità di azoto presente nella vegetazione, la produttività primaria lorda e netta, alcuni parametri qualitativi, ecc.

Molti sono gli indici basati sulla risposta radiometrica della coltura e su quella di altri elementi ambientali quali il suolo o la trasparenza dell'atmosfera, proposti negli anni. Le bande spettrali utilizzate per calcolare questi indici sono generalmente comprese nel visibile e nel vicino infrarosso e sfruttano le differenze di riflettanza legate soprattutto all'assorbimento dei pigmenti fotosintetici (Basso et al., 2004; Spisni et al., 2012).

Le relazioni fra indici telerilevati e indicatori vegetazionali e produttivi sono state molto studiate nel frumento in particolare ai fini di valutare la variabilità spaziale della coltura (Orlandini et al., 2011; Orlando et al., 2015; Dalla Marta et al., 2015) e l'efficacia dell'applicazione di particolari tecniche agronomiche, prima fra tutte la fertilizzazione azotata (Stone et al., 1996; Yao et al., 2013).

Le prime applicazioni sito specifiche nel frumento hanno riguardato le fertilizzazioni classiche indirizzandole verso l'obiettivo di incremento dell'efficienza d'uso dell'input erogato, verso l'incremento della produttività e/o verso le caratteristiche qualitative quali peso specifico e contenuto proteico.

Molti passi avanti sono stati fatti anche nell'analisi delle caratteristiche chimico/fisiche dei suoli. Le analisi del suolo, nel contesto operativo, sono

sempre state eseguite su criteri di campionamento volti a rilevare le caratteristiche medie delle unità produttive. Allo stato attuale alcune metodologie di monitoraggio del suolo, quali quelle basate sui georadar, unite alle tecniche di geostatistica e alle analisi chimico/fisiche puntuali consentono di rilevare sottozone degli appezzamenti con particolari carenze o difetti che inficiano, con maggiore probabilità statistica, i risultati produttivi delle coltivazioni. Tali informazioni cartografiche possono così divenire la base per la produzione di mappe di prescrizione utili alla differenziazione nelle operazioni colturali, siano esse le tipologie di lavorazione siano la distribuzione di fertilizzanti condizionata dalla legge Liebig.

Il monitoraggio della coltura attraverso la caratterizzazione della variabilità produttiva dei campi è stato il primo passo in cui sensori prossimali di misurazione e sistemi di georeferenziazione dei dati si sono sposati. Attualmente i sistemi per la produzione delle mappe di produzione sono facilmente a disposizione degli agricoltori e la loro affidabilità è elevata. Queste mappe costituiscono un prezioso elemento sia per definire le potenzialità produttive dei campi sia per definire la vocazionalità delle sottozone. L'analisi geostatistica della variabilità vocazionale degli appezzamenti fornisce, soprattutto se supportata da più anni di dati, un prezioso elemento d'indagine per analizzare i fattori limitanti presenti in specifiche e delimitate aree e se possibile per rimuoverli al fine di ottenere unità produttive uniformi e capaci di esprimersi secondo le loro migliori potenzialità.

Non va infine dimenticata la possibilità di tracciare le produzioni, con estrema precisione e facilità, offerto dai sistemi di misurazione e geolocalizzazione, che agevolano gli adempimenti necessari nelle filiere quali quelle del pane a marchio DOP e in generale in quelle ove la l'area di produzione deve essere nota.

#### LA TECNICA AGRONOMICA E GLI ASPETTI QUALITATIVI

I trattamenti agronomici influenzano, oltre la resa, il peso specifico, il contenuto proteico, la composizione del grano più in generale, la reologia dell'impasto e la qualità del pane.

Prove di confronto della dose di fertilizzante azotato e solfatico e di densità di semina hanno evidenziato come le scelte agronomiche si ripercuotano, oltre che sulla resa, sulla concentrazione di molecole salutistiche all'interno della granella, sulla composizione proteica e sulla qualità della panificazione (Salvagiotti et al., 2009; Zhang et al., 2016; Hidalgo e Brandolini, 2017; Tao et al., 2018).

Prove recenti sono state condotte su vecchie varietà toscane di frumento tenero, Verna, Sieve e Andriolo, confrontando l'effetto di tre differenti livelli di fertilizzazione azotata, due dosi di seme e due diverse concimazioni solfatiche effettuate in botticella. I risultati hanno evidenziato che la fertilizzazione con zolfo influenza la composizione proteica e, in particolare, aumenta il contenuto di glutine. La concimazione solfatica ha influenzato positivamente anche valori di W. Tale tecnica può quindi essere impiegata nelle vecchie varietà di frumento, spesso caratterizzate da una maggiore quantità di componenti salutistiche (Ghiselli et al., 2016), per migliorare le prestazioni reologiche che ne limitano l'impiego per una più facile panificazione.

## CONCLUSIONI

Nel contesto sopra descritto la nuova sfida dell'agricoltura è rappresentata dallo sviluppo di sistemi informativi aziendali capaci di archiviare ed elaborare la grande mole di informazioni messe a disposizione dalle moderne tecniche di monitoraggio. Le attuali conoscenze su aspetti che legano tecniche agronomiche e parametri qualitativi non convenzionali forniscono nuovi modelli di gestione agronomica del frumento, volte a produrre frumenti con caratteristiche specifiche, spesso legate a nuovi target di consumatori.

L'obiettivo dell'agronomo sta ora anche nella capacità di analizzare informazioni complesse, elaborare mappe di prescrizione volte a ottenere risultati mirati, partecipare alla realizzazione di filiere specifiche sfuggendo così alla sola produzione di frumento da destinare a un mercato legato ai pericolosi meccanismi delle borse merci.

## RIASSUNTO

La coltivazione del frumento in Toscana si svolge prevalentemente in un ambiente pedoclimatico con vocazionalità limitata dal punto di vista quantitativo. La scelta delle varietà è stata indirizzata principalmente, da metà del secolo passato, verso quelle con maturazione anticipata, risposta produttiva alle fertilizzazioni azotate, taglia ridotta ed alto contenuto nella frazione glutinica delle proteine. La tecnica agronomica ha mirato soprattutto al soddisfacimento delle esigenze nutrizionali attraverso il sovradosaggio di input quali fosforo e azoto, a discapito della loro efficienza d'uso. L'evoluzione della tecnica agronomica, spinta soprattutto dalla necessità di ridurre i costi di produzione, indirizza tutti gli input verso una maggiore efficienza d'utilizzo attraverso operazioni sitospecifiche legate all'agricoltura di precisione. Tale rivoluzione ha preso avvio proprio dai territori con minore marginalità economica e si è sposata con pratiche agronomiche volte a condizionare

nuovi aspetti qualitativi delle produzioni, che possano avere un riscontro per l'industria di trasformazione o per gli aspetti salutistici dei prodotti alimentari derivanti. In tal senso sono indirizzate prove agronomiche su frumenti teneri per definire l'incidenza di differenti combinazioni di concimazioni azotate e fosfatice sul rapporto fra amilosio ed amilopectina dell'amido della cariosside e sul contenuto in elementi minerali.

#### ABSTRACT

*Experiences of agricultural management in wheat chains in Tuscany.* The cultivation of wheat in Tuscany takes place mainly in a pedo-climatic environment with limited vocationality from a quantitative perspective. From the middle of the past century, breeding selection has targeted early maturing varieties, production response to nitrogen fertilization, reduce plant size and the high gluten content in the protein fraction. The agronomic techniques aim to satisfy nutritional needs through the over dosage of phosphorus and nitrogen inputs, just like diminishing their efficient use. The progress on agricultural techniques has been driven mainly by the need to reduce production costs and by identifying those techniques that have a greater efficient-use. This has been done through site-specific operations related to precision agriculture. This revolution has taken place in those territories with a lower economic margin and has come together with agronomic practices aimed at conditioning new qualitative aspects of production. The previous may have had an impact on manufacturing industries or on health aspects deriving from food products. In this respect, agronomic tests will be carried out on soft wheat in order to determine the interaction effect of multiple nitrogen and phosphate fertilizers on the relationship between amylose and amylopectin of caryopsis starch, and on the mineral content.

#### BIBLIOGRAFIA

- BASSO B., CAMMARANO D., DE VITA P. (2004): *Remotely sensed vegetation indices: theory and applications*, «Italian Journal of Agrometeorology», 1, pp. 36-53.
- CASA R. (2016): *Agricoltura di precisione*, Edagricole, Bologna.
- DALLA MARTA A., GRIFONI D., MANCINI M., ORLANDO F., GUASCONI F., ORLANDINI S. (2015): *Durum wheat in-field monitoring and early-yield prediction: assessment of potential use of high-resolution satellite imagery in a hilly area of Tuscany, Central Italy*, «Journal of Agricultural Science», 153, pp. 68-77.
- Ghiselli L., Rossi E., Whittaker A., Dinelli G., Baglio A.P., Andrenelli L., Benedettelli S. (2016): *Nutritional characteristics of ancient Tuscan varieties of Triticum aestivum L.*, «Ital. J. Agron.», 11, pp. 237-245.
- HIDALGO A., BRANDOLINI A. (2017): *Nitrogen fertilisation effects on technological parameters and carotenoid, tocol and phenolic acid content of einkorn (Triticum monococcum L. subsp. monococcum): A two-year evaluation*, «J. Cereal Sci.», 73, pp. 18-24.
- ORLANDINI S., MANCINI M., GRIFONI D., ORLANDO F., DALLA MARTA A., CAPECCHI V. (2011): *Integration of meteo-climatic and remote sensing information for the analysis of durum wheat quality in Val d'Orcia (Tuscany, Italy)*, «Idojaras», 115, pp. 233-245.

- ORLANDO F., DALLA MARTA A., MANCINI M., MOTHAR R., QU J., ORLANDINI S. (2015): *Integration of remote sensing and crop modeling for the early assessment of durum wheat harvest at the field scale*, «Crop Science», 55 (3), p. 1280
- SALVAGIOTTI F., CASTELLARÍN J.M., MIRALLES D.J., PEDROL H.M. (2009): *Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake*, «F Crop Res.», 113 (2), pp. 170-7.
- SPISNI A., MARLETTO V., BOTARELLI L. (2012): *Indici vegetazionali da satellite per il monitoraggio in continuo del territorio*, «Italian Journal of Agrometeorology», 3, pp. 49-55.
- STONE M., SOLIE J., RAUN, W., WHITNEY R., TAYLOR S., RINGER J. (1996): *Use of spectral radiance for correcting in- season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat*, «T. ASAE», 39, pp. 1623-1631.
- TAO Z., CHANG X., WANG D., WANG Y., MA S., YANG Y., ZHAO G. (2018): *Effects of sulfur fertilization and short-term high temperature on wheat grain production and wheat flour proteins*, «The Crop Journal», Volume 6 (4), pp. 413-425.
- YAO X., YAO X., JIA W., TIAN Y., NI J., CAO W., ZHU Y. (2013): *Comparison and Intercalibration of Vegetation Indices from Different Sensors for Monitoring Above- Ground Plant Nitrogen Uptake in Winter Wheat*, «Sensors», 13, pp. 3109-3130.
- ZHANG Y., DAI X., JIA D., LI H., WANG Y., LI C. ET AL. (2016): *Effects of plant density on grain yield, protein size distribution, and breadmaking quality of winter wheat grown under two nitrogen fertilisation rates*, «Eur J Agron», 73, pp. 1-10.

