



Atti del 13° Convegno AISITEC

FILIERE CEREALICOLE RIGENERATIVE

Cambiamenti climatici e nuove esigenze
qualitative e nutrizionali



A cura di:

M. Blandino, M. Carcea, L. Gazza, E. Marconi, A. Marti,
M.C. Messia, R. Redaelli, F. Sciacca, V. Turfani

Atti del 13° CONVEGNO AISTEC

FILIERE CEREALICOLE RIGENERATIVE

Cambiamenti climatici e nuove esigenze

qualitative e nutrizionali

19-21 giugno 2024

Auditorium Complesso Aldo Moro, Torino

Università degli Studi di Torino

A cura di:

**M. Blandino, M. Carcea, L. Gazza, E. Marconi, A. Marti,
M.C. Messia, R. Redaelli, F. Sciacca, V. Turfani**

Volume interamente pubblicato dall'AISTEC

In copertina: Mole Antonelliana (Elaborazione AISTEC)

© 2024 Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia dei Cereali AISTEC

c/o Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria - Centro di ricerca
Alimenti e Nutrizione

Via Ardeatina 546 - 00178 Roma (RM)

ISBN: 978-88-906680-8-1

Approcci agronomici rigenerativi: caratterizzazione tecnologica di linee di frumento perenne coltivate in Italia

E. Galassi^{1*}, C. Natale^{1,2}, F. Nocente¹, F. Taddei¹, E. Gosparini¹, A. Arcangeli¹, V. Del Frate¹, C. Cecchini¹, G. Galaverna³, L. Gazza¹

¹Consiglio per la ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Via Manziana 30, 00189 Roma (RM).

²Università di Roma Campus Bio-Medico, Via Álvaro del Portillo 21, 00128 Roma (RM).

³Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco (S.A.F.), Università di Parma, Parco Area delle Scienze 17/a, Parma (PR).

*E-mail: elena.galassi@crea.gov.it

Abstract

Cereals are the basis of human nutrition and among these, after rice and corn, wheat is the most cultivated in the world with 219 million hectares, of which 24 million in the Mediterranean area and approximately 1.8 in Italy. Drought, conflicts and high prices are worsening food security in many countries. The CHANGE-UP project funded by PRIMA program, whose objectives include redesigning agricultural systems for the Mediterranean area in order to make them more resilient to climate change, concerns the cultivation and characterization of perennial wheat lines grown in Italy, Algeria, Tunisia and Morocco. In this study, four perennial genotypes (235a, 20238, Ok72 and 11955), grown at Montelibretti (Rome), were examined for their technological and rheological properties (1000 kernel weight, test weight, protein content, alveograph and SDS sedimentation tests, gluten content and gluten index, falling number and ash percentage). For all the analyses, an annual durum wheat and the perennial species *Thinopyrum intermedium* (Kernza®) were used as controls. On average, the perennial lines presented a 1000 kernel weight about half of the control durum wheat, but with a higher protein content, and good test weight values only for the genotypes Ok72 and 11955. The line 235a showed the best performance in terms of gluten quality.

Riassunto

I cereali sono la base dell'alimentazione umana e tra questi, dopo riso e mais, il grano è il più coltivato al mondo con 219 milioni di ettari, di cui 24 milioni nei paesi del bacino del Mediterraneo e circa 1,8 in Italia. Siccità, conflitti e prezzi elevati, stanno aggravando l'insicurezza alimentare in molti Paesi. Il progetto CHANGE-UP finanziato nell'ambito del Programma PRIMA, tra i cui obiettivi c'è quello di ridisegnare i sistemi agricoli per l'area del Mediterraneo allo scopo di renderli maggiormente resistenti ai cambiamenti climatici, riguarda lo sviluppo e la caratterizzazione di linee di grano perenne coltivate in Italia, Algeria, Tunisia e Marocco. Nel presente studio sono stati esaminati per le loro proprietà tecnologiche e reologiche (peso 1000 semi, peso ettolitrico, contenuto proteico, test alveografici e di sedimentazione SDS, contenuto in glutine ed indice di glutine, falling number e tenore in ceneri), quattro genotipi di grano perenne (235a, 20238, Ok72 e 11955), coltivati a Montelibretti (Roma). Per tutte le analisi sono stati usati come controllo un frumento duro annuale e la specie perenne *Thinopyrum intermedium* (Kernza®). In media, le linee perenni hanno presentato un peso 1000 semi pari a circa la metà di quello del frumento duro di controllo, ma con un contenuto proteico più elevato, e buoni valori di peso ettolitrico solo per i genotipi Ok72 e 11955. La linea 235a ha mostrato le migliori prestazioni in termini di qualità del glutine.

Introduzione

I sistemi agricoli intensivi basati sull'ottimizzazione della produttività delle colture annuali sono stati considerati tra le principali cause di degrado del suolo a livello mondiale (Glover 2005) e fonte di una quantità significativa di gas serra (Smith *et al.* 2014); inoltre, sono

minacciati dal cambiamento climatico che influenza fortemente le rese (Smith 2008). Pertanto, l'adozione di pratiche più sostenibili potrebbe ridurre l'impatto dell'agricoltura sul clima e migliorarne la resilienza. Il progetto di ricerca 'Innovative agro-ecological APProaches to achieving resilience to climate CHANGE in Mediterranean countries' (CHANGE-UP) coordinato dall'Università di Parma nell'ambito del programma 'Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area' (PRIMA), finanziato dall'Unione Europea (2021-2024), ha l'obiettivo di sviluppare approcci agroecologici innovativi con l'obiettivo di contrastare gli effetti avversi dei cambiamenti climatici nelle produzioni agricole dei paesi del bacino del Mediterraneo, garantendo al contempo sicurezza alimentare e redditi agricoli sostenibili. Le colture perenni stanno emergendo come una strategia efficace di adattamento ai cambiamenti climatici e di mitigazione delle emissioni nette di gas serra provenienti dall'agricoltura. Le nuove linee ottenute mediante ibridazione e/o addomesticamento da incroci tra *Triticum* spp e *Thinopyrum* spp hanno un grande potenziale nel migliorare le proprietà fisico-chimiche del suolo, la biodiversità e la composizione della rete alimentare. I loro sistemi radicali più estesi e la copertura permanente del suolo le rendono competitive contro le erbe infestanti e più efficaci nel catturare nutrienti ed acqua, inoltre, la ripresa della fase vegetativa dopo il raccolto riduce la necessità di lavorazione del terreno proteggendolo dall'erosione e aumentando il sequestro del carbonio attraverso la riduzione dell'ossidazione della sostanza organica (Glover *et al.* 2010). Lo sviluppo di linee di grano perenne che presentino buone caratteristiche agronomiche, nutrizionali e tecnologiche, è, quindi, una nuova strategia che può contribuire all'implementazione della produzione agricola sostenibile, della sicurezza alimentare e della qualità ambientale.

Materiali e metodi

Nel presente studio quattro genotipi di grano perenne (235a, 20238, Ok72 e 11955), ottenuti dall'incrocio di grano tenero (*T. aestivum*) e grano duro (*T. durum*) con varie specie di *Thinopyrum* (Tab.1), selezionati in studi precedenti per le buone performances agronomiche e la qualità nutrizionale (Gazza 2016), sono stati coltivati presso i campi sperimentali del CREA-IT di Montelibretti (Roma) secondo un disegno randomizzato a blocchi in tre repliche. Come controllo sono state utilizzate la specie perenne *Thinopyrum intermedium* (Kernza®) e il grano duro annuale cv Ardente.

Tabella 1. Origine e pedigree di genotipi di grano perenne

GENOTIPO	PEDIGREE	ORIGINE
20238	<i>T. turgidum</i> × <i>Ag. elongatum</i>	(CIMMYT)
235a	<i>T. aestivum</i> × <i>Th. ponticum</i> × <i>T. aestivum</i>	(WSU, USA)
Ok72	<i>T. aestivum</i> × <i>Th. ponticum</i>	(USA)
11955	<i>Triticum aestivum</i> × <i>Thinopyron ponticum</i>	(USA)
Kernza®	<i>Thinopyrum intermedium</i>	(TLI, USA)

Sui campioni raccolti sono stati determinati il peso mille semi (ISO 520:2010) ed il peso ettolitrico (ISO 7971-1:2009). La granella è stata macinata con il Cyclotech (mod. 1093-Tecator FOSS). I parametri alveografici (P, L e W) degli sfarinati integrali sono stati analizzati mediante l'Alveografo Chopin (AACC 54-30.02), il contenuto di glutine secco e l'indice di glutine sono stati determinati con l'apparecchio Glutomatic 2200 (Perten) secondo il metodo AACC 38-12. Il test di sedimentazione SDS è stato valutato mediante il metodo standard AACC 56-70.01. Per la determinazione del numero di caduta (falling number) è stato utilizzato il sistema Perten 1500 (metodo AACC 56-81B). Il contenuto delle proteine totali ed il contenuto in ceneri sono stati determinati rispettivamente mediante i metodi ufficiali ICC 105/2 e AACC 08-01.01. Tutti i dati sperimentali sono stati sottoposti all'analisi della varianza ANOVA seguita dal test di

Duncan ($p<0,05$) mediante il software MSTATC (Michigan State University, East Lansing, MI, USA).

Risultati e discussione

Le analisi relative alla dimensione della cariosside ed al peso ettolitrico, fattori importanti associati alla qualità molitoria, hanno evidenziato, in media, semi piuttosto piccoli nelle linee perenni, con un peso 1000 semi pari a circa la metà di quello del frumento duro di controllo (29,5 g vs 60,5 g), mentre i valori di peso ettolitrico più elevati tra i genotipi perenni (> 70 kg/hL) sono stati riscontrati nei campioni Ok72 e 11955 (Tab. 2).

Tabella 2. Caratteristiche tecnologiche delle cariossidi e degli sfarinati integrali di grani perenni coltivati a Montelibretti (Roma)

	Peso 1000 Semi (g)	Peso ettolitrico (kg/hL)	Proteine (g/100g))	Ceneri (g/100g)
20238	31,4 ^b	66,53 ^c	18,28 ^b	2,32 ^c
235a	27,8 ^c	61,38 ^d	18,70 ^b	2,41 ^b
Ok72	27,9 ^c	70,47 ^b	16,80 ^c	2,63 ^a
11955	30,8 ^b	70,67 ^b	16,50 ^c	2,13 ^d
<i>Thinopyrum intermedium</i>	5,5 ^d	n.d.	21,43 ^a	2,67 ^a
<i>Triticum durum</i>	60,5 ^a	76,14 ^a	15,20 ^d	1,69 ^e

Lettere differenti indicano differenze statisticamente significative (Test Duncan $p< 0,05$). n.d.= non determinato.

Il contenuto proteico delle linee perenni è risultato in media di 2 punti superiore rispetto al frumento duro (17,57 vs 15,20 g/100g), ma inferiore al *Thinopyrum* (21,43 g/100g). Il tenore in ceneri degli sfarinati integrali ha mostrato valori superiori al 2% in tutti i frumenti perenni, probabilmente in parte dovuto alle dimensioni ridotte delle cariossidi (Tab. 2).

Per quanto riguarda le analisi relative alla qualità del glutine (Tab.3), estremamente rilevanti nella determinazione della qualità panificatoria in quanto forniscono informazioni utili sulla capacità della farina di produrre impasti elasticci e forti necessari per la produzione di prodotti da forno lievitati, il campione 235a ha riportato le migliori prestazioni in termini di indice di glutine (Fig.1), test di SDS e valori alveografici (Fig.2). In particolare, i campioni 235a e 11955 hanno mostrato valori di indice di glutine che rientrano nel range che definisce la qualità del glutine media (GI = 40–80%), mentre è risultata debole (GI < 30%), nella linea 20238; quest'ultima, nonostante l'alto contenuto proteico ha riportato i valori peggiori tra tutti i genotipi perenni per l'attitudine alla panificazione. Inoltre, per il campione di *Thinopyrum* non è stato possibile determinare l'indice di glutine in quanto la maglia glutinica non si è formata.

Tabella 3. Parametri relativi alla qualità del glutine e Falling number di linee di grano perenne, *Thinopyrum intermedium* e di frumento duro.

	Indice di glutine (%)	Contenuto in glutine (% s.s.)	SDS (mL)	W (10^4 J)	Falling number (sec)
20238	3 ^c	14,02 ^b	33,5 ^d	29 ^c	329,0 ^d
235a	77 ^b	13,48 ^c	54,0 ^a	210 ^b	372,50 ^b
Ok72	37 ^d	11,41 ^d	n.d.	119 ^c	309,0 ^c
11955	55 ^c	16,84 ^a	50,0 ^b	75 ^d	340,0 ^c
<i>Thinopyrum intermedium</i>	n.d.	n.d.	35,0 ^d	39 ^{de}	230,0 ^f
<i>Triticum durum</i>	93 ^a	10,50 ^e	42,0 ^c	235 ^a	482,5 ^a

Lettere differenti indicano differenze statisticamente significative (Test Duncan $p < 0,05$); n.d. = non determinato.

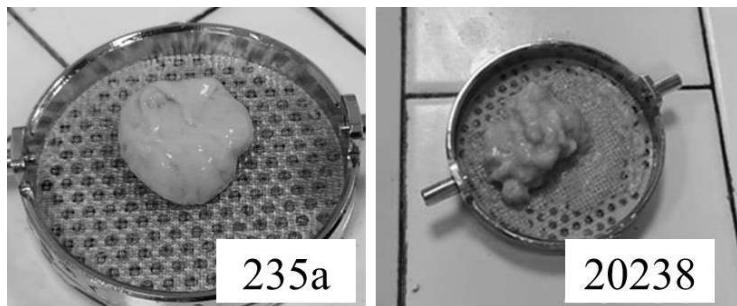


Figura 1. Determinazione dell'indice di glutine delle linee di grano perenne 235a e 20238.

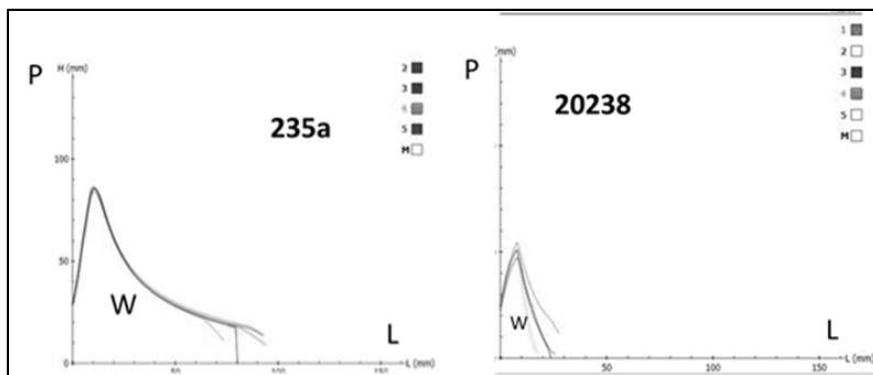


Figura 2. Diagrammi alveografici delle linee di grano perenne 235a e 20238.

Il falling number, utilizzato per valutare la qualità di panificazione della farina di frumento in relazione all'attività amilasica, ha riportato in tutti i campioni, ad eccezione del *Thinopyrum* (248 sec), valori superiori a 300 secondi (Tab. 3), indicando una bassa attività amilasica, che potrebbe determinare un ritardo nella fermentazione e prodotti con una crosta dura e poco elastica.

L'identificazione di genotipi perenni, più adatti alle mutevoli condizioni dell'area mediterranea, con caratteristiche nutrizionali e tecnologiche di buona qualità, consentirà quindi lo sviluppo di nuovi prodotti utili per aumentare la sicurezza e la biodiversità alimentare, attualmente

considerata uno degli indicatori principali negli Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite per il 2030.

Lo sviluppo di linee di grano perenne e la loro diffusa adozione da parte di mugnai, panettieri e consumatori sarà facilitato dal miglioramento dell'eliminazione delle glume dal chicco al momento della trebbiatura, della qualità della macinazione e della qualità panificatoria e delle caratteristiche nutrizionali, inclusa la digeribilità del glutine. Pertanto, oltre a far fronte alle principali caratteristiche agronomiche (resa in granella, percentuale di ricrescita dopo il taglio post raccolta e resistenza alle malattie), le superiori qualità nutrizionali e tecnologiche ed una migliore attitudine alla trasformazione sembrano essere i tratti chiave su cui puntare per il miglioramento genetico dei genotipi di frumento perenne.

Bibliografia

- AACC 1999. *American Association of Cereal Chemists, Approved Methods*, 11th ed. Methods 54-30.02, Alveograph method for soft and hard wheat flour. St. Paul, MN, USA.
- AACC 2010. *American Association of Cereal Chemists, Approved Methods*. 11th ed. Methods 38-12.02, Wet gluten, dry gluten, water-binding capacity, and gluten index. St. Paul, MN, USA.
- AACC 2010. *American Association of Cereal Chemists, Approved Methods*, 11th ed. Methods 56-70.01, Sodium dodecyl sulfate sedimentation test for durum wheat. St. Paul, MN, USA.
- AACC 2010. *American Association of Cereal Chemists, Approved Methods*, 11th ed. 56-81B Determination of falling number. St. Paul, MN, USA.
- AACC 2013. *American Association of Cereal Chemists, Approved Methods*, 11th ed. Methods 08-01.01 Ash. St. Paul, MN.
- Gazza L., Galassi E., Ciccoritti R., Cacciatori P., Pogna N. E. 2016. Qualitative traits of perennial wheat lines derived from different *Thinopyrum* species. *Genetic Resources And Crop Evolution*, 63: 209-219.
- Glover J.D. 2005. The necessity and possibility of perennial grain production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20: 1-4
- ICC 2003. *International Association for Cereal Science and Technology, Standard Methods* No. 105/2, Vienna, Austria.
- ISO 2009. *International Organization for Standardization*. Determination of Bulk Density, Called Mass per Hectolitre-Part 1: Reference Method; Method 7971-1:2009; ISO: Geneva, Switzerland.
- ISO 2010. *International Organization for Standardization*. Cereals and Pulses-Determination of the Mass of 1000 Grains; Method 520:2010; ISO: Geneva, Switzerland
- Smith P. 2008. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81:169-178.
- Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong H., Elsiddig E.A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N., Rice C.W., Robledo Abad C., Romanovskaya A., Sperling F., Tubiello F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer O et al., eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Popolazioni evolutive di frumento: un approccio di agricoltura rigenerativa per filiere sostenibili e di qualità

C. Natale^{1,2}, E. Galassi¹, F. Nocente¹, F. Taddei¹, M. Naso¹, P. Cacciatori¹, S. Folloni³, G. Visioli⁴, S. Ceccarelli, G. Galaverna⁴, L. Gazza¹*

¹Consiglio per la ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, Via Manziana 30, 00189 Roma (RM).

² Università di Roma Campus Bio-Medico, Via Álvaro del Portillo 21, 00128 Roma (RM).

³Open Fields S.r.L, Str. Madonna dell'Aiuto 7/a, 43126 Parma (PR).

⁴Università di Parma, Parco Area delle Scienze 11/a, 43124 Parma (PR).

*E-mail: chiara.natale@crea.gov.it

Abstract

Intensive agricultural systems based on optimizing productivity of monocultures are now widely criticized for their negative environmental impacts and for the loss of agricultural and food biodiversity. Conversely, highly diversified cropping systems based on agro-ecological principles have been shown to have potential benefits in terms of biodiversity conservation and ecological sustainability. In this context, the cultivation of evolutionary populations, mixtures of seeds of different varieties of the same cereal species, is establishing itself, relying on a spontaneous selection and evolution brought about by the environment. This strategy will be able to limit yield losses due to extreme climatic conditions and diseases and will guarantee farmers' income, as evolutionary populations can continuously adapt to the conditions in which they are growing. This study regards the integration of two common wheat evolutionary populations (EPs), in crop rotation with different species of leguminous plants. Field trials are carried out to evaluate the agronomic characteristics of the EPs. The nutritional and technological characterization of the grains and flours are carried out. The proposed strategy may have the potential for good agronomic performance even in more sustainable cultivation regimes and satisfy the technological and nutritional quality of flours.

Riassunto

I sistemi agricoli intensivi basati sull'ottimizzazione della produttività delle monoculture sono oggi ampiamente criticati per il loro impatto negativo sull'ambiente. Al contrario, sistemi agricoli altamente diversificati, basati su principi agro-ecologici hanno mostrato potenziali benefici in termini di conservazione della biodiversità e di sostenibilità ecologica. In questo contesto si sta affermando la coltivazione sperimentale di popolazioni evolutive, un insieme di genotipi diversi della stessa specie sottoposti a cicli di semina e raccolta, affidati alla selezione naturale per l'evoluzione. Questa strategia potrà contribuire a limitare le perdite di raccolto causate da condizioni climatiche estreme e da attacchi di patogeni, grazie alla capacità intrinseca delle popolazioni evolutive di adattarsi continuamente alle condizioni in cui crescono. Questo studio ha previsto l'impiego di due popolazioni evolutive (EP) di frumento tenero in rotazione colturale con diverse specie di leguminose in due areali italiani. Le EP sono state caratterizzate dal punto di vista agronomico, tecnologico e nutrizionale. La strategia agro-rigenerativa proposta può avere non solo il potenziale di buone performance agronomiche anche in regimi di coltivazione più sostenibili, ma anche di soddisfare i parametri di qualità tecnologica e nutrizionale delle farine.

Introduzione

I cereali sono alla base dell'alimentazione umana e svolgono un ruolo molto importante per assicurare la disponibilità alimentare. Il cambiamento climatico ha già provocato una produzione altalenante dei cereali e una maggiore vulnerabilità della condizione generale delle popolazioni rurali. È quindi fondamentale migliorare la produzione e la resilienza dei cereali. Le popolazioni evolutive sono miscele formate da semi di diversi genotipi della stessa specie, diverse dalle varietà moderne, in quanto non sono geneticamente uniformi e non sono stabili nel tempo. Proprio grazie al fatto di essere costituite da migliaia di semi tutti diversi tra loro, le popolazioni hanno la capacità di modificarsi gradualmente adattandosi alle diverse condizioni climatiche, ai diversi terreni ma anche alle diverse tecniche culturali; forniscono anche produzioni stabili da un anno all'altro, sono in grado di resistere a malattie, insetti e infestanti più efficacemente delle colture monovarietali rendendo meno necessario l'uso di pesticidi, quindi riducendo i costi di produzione e diventando le colture ideali per un'agricoltura biologica e rigenerativa (Ceccarelli, 2020). Nell'ambito del progetto CHANGE-UP, due diverse popolazioni evolutive di grano tenero (Li Rosi e Floriddia) sono state seminate in rotazione culturale con diverse specie di leguminose, presso l'azienda sperimentale di Montelibretti (Roma) del CREA-IT e presso due aziende agricole di Parma. Insieme alle due popolazioni evolutive, come controlli sono state utilizzate la varietà moderna di frumento tenero Monnalisa in entrambe le località, la cultivar vestita di *Triticum monococcum* cv 'Norberto' a Montelibretti e la popolazione di grano tenero BIO2 presso le aziende di Parma. La scelta di inserire una varietà della specie *Triticum monococcum* nel disegno sperimentale è stata dettata anche dal fatto che, al contrario delle varietà comunemente utilizzate nelle monocolture di grano tenero e duro, il grano monococco è una specie 'rustica' possiede, cioè, una naturale adattabilità a diversi ambienti, anche marginali, caratterizzati da terreni a diversa struttura e composizione e una elevata tolleranza a numerosi patogeni e stress ambientali. Queste caratteristiche, lo rendono un cereale particolarmente adatto a un'agricoltura sostenibile e a basso impatto ambientale (Hidalgo *et al.*, 2008; Gazza *et al.*, 2023). Le leguminose utilizzate come precessione per la coltivazione dei cereali sono di fondamentale importanza in quanto sono in grado di fissare l'azoto atmosferico e trasformarlo in azoto organico, risparmiando così unità di azoto sintetico da somministrare durante la coltivazione. Pertanto, l'obiettivo è stato quello di indagare se le popolazioni evolutive risultino, rispetto alle coltivazioni monovarietali, più resilienti in termini di adattamento alle mutevoli condizioni climatiche, alle malattie e alle infestanti, garantendo al contempo alti standard di qualità tecnologica e nutrizionale.

Materiali e metodi

Le due popolazioni evolutive, Li Rosi e Floriddia, sono state seminate in plot di 1800 m² sulle precessioni cece e trifoglio presso l'azienda sperimentale di Montelibretti (Roma) del CREA-IT e su pisello, favino e frumento presso due aziende agricole di Parma. Come controllo sono state utilizzate una varietà moderna di frumento, cv Monnalisa in entrambe le località, la cultivar vestita di *T. monococcum* cv 'Norberto' a Montelibretti e la popolazione di grano tenero BIO2 presso le aziende di Parma. Le coltivazioni sono state effettuate senza l'utilizzo di concimi, diserbanti e antiparassitari e senza intervento irriguo in nessuna fase. I campioni sono stati valutati per le loro caratteristiche agronomiche (resa, numero di tillers, presenza di fitopatie), merceologiche e tecnologiche (peso 1000 semi, peso ettolitrico, analisi predittiva Infratec Analyzer, contenuto proteico, test alveografici e di sedimentazione SDS, indice di glutine) e nutrizionali (amido totale, amido resistente, fibra dietetica totale, capacità antiossidante).

Caratteristiche agronomiche

I dati agronomici rappresentano la media di 3 repliche di campo. Le fitopatie indagate sono state: ruggine nera, bruna, gialla.

Caratteristiche merceologiche e tecnologiche

Per la determinazione del peso 1000 semi è stato utilizzato il metodo UNI EN ISO 520. Per le misurazioni predittive di umidità, proteine e peso ettolitrico sul campione di granella intera è stato utilizzato il FOSS Infratec 1241 Grain Analyzer. Per la determinazione del contenuto proteico degli sfarinati di frumento è stato utilizzato il metodo Dumas seguendo la metodologia ufficiale AACC n. 46-30. Le prove alveografiche sono state realizzate utilizzando l’Alveografo di Chopin modello NG, secondo il metodo AACC 54-30.02. L’analisi del Gluten Index è stata condotta secondo il metodo AACC 38-12, mentre il test di sedimentazione SDS secondo il metodo AACC 56-70.0.

Caratteristiche nutrizionali

La determinazione del contenuto di amido totale è stata effettuata secondo il metodo proposto da McCleary *et al.* (1994) utilizzando il kit Megazyme Assay Kit. Il contenuto di amido resistente è stato determinato secondo il metodo ufficiale AOAC (2002) utilizzando il Megazyme Assay Kit. Per la determinazione del contenuto totale di fibra dietetica (TDF) è stato utilizzato il metodo enzimatico-gravimetrico AOAC 991.43, (1995). La capacità antiossidante totale (TAC) è stata determinata in accordo con il metodo diretto utilizzato da Martini *et al.* (2014).

Risultati e discussione

Le due popolazioni evolutive cresciute a Montelibretti hanno mostrato valori di peso 1000 semi superiori sulla precessione con cece (44,72g Li Rosi e 47,48g Floriddia) rispetto al trifoglio (38,78g Li Rosi e 43,94g Floriddia). Al contrario, nella precessione con trifoglio sono stati riscontrati i valori di resa più elevati (Li Rosi e Floriddia rispettivamente 30,39 q/ha e 24,03 q/ha, mentre su cece 25,53 q/ha e 18,50 q/ha). Il numero significativamente più elevato di tillers è stato riscontrato nel Monococco (39 su trifoglio e 24,7 su cece), seguito dalla popolazione evolutiva Floriddia (11,8 su trifoglio e 13,5 su cece); Li Rosi e Monnalisa hanno mostrato un numero di tillers inferiore (rispettivamente, 9 su trifoglio e 10,3 su cece per il primo e 8 su trifoglio e 10,5 su cece per il secondo) rispetto agli altri campioni. In generale, la precessione con cece ha portato ad un aumento del numero di tillers in tutti i campioni. Sia nelle popolazioni evolutive che nei controlli non sono state rilevate fitopatie, ad eccezione della popolazione evolutiva Li Rosi coltivata su precessione con cece e trifoglio a Montelibretti, sulla quale sono state riscontrate tracce di ruggine bruna.

Per quanto riguarda le analisi tecnologiche (Fig.1), le popolazioni evolutive cresciute su precessione con leguminose hanno mostrato valori di W alveografico più alti rispetto a quelli cresciuti su precessione con grano. Inoltre, nelle popolazioni evolutive e in Monnalisa cresciute a Montelibretti è stato rilevato un W più alto rispetto agli stessi campioni cresciuti a Parma. In generale, l’impasto con la forza (W) più elevata è risultato quello ottenuto dalla cv. Monnalisa su trifoglio a Montelibretti; la popolazione Li Rosi sulla stessa precessione e località ha mostrato un valore di W che rientra nella stessa classe ($120 < W < 240$) del controllo monovarietale (Fig. 1). Come per il W alveografico, anche il test SDS e il contenuto in glutine risultano più elevati nelle popolazioni evolutive cresciute su precessione di leguminose rispetto a quelle cresciute su precessione grano, nonostante entrambe le popolazioni coltivate nelle tre diverse località siano caratterizzate da uno scarso indice di glutine (< 50) (Fig. 1). Il numero di qualità farinografica fornisce informazioni dettagliate sul comportamento dell’impasto durante la miscelazione, consentendo di valutare la qualità e le prestazioni della farina stessa. Per quanto

riguarda le popolazioni evolutive, dai grafici si evince che sia a Parma che a Montelibretti, Li Rosi coltivata su precessione di legumi è quella con un numero di qualità farinografica più elevato rispetto a Floriddia e, in particolare a Montelibretti, questo valore supera significativamente anche il grano tenero di controllo.

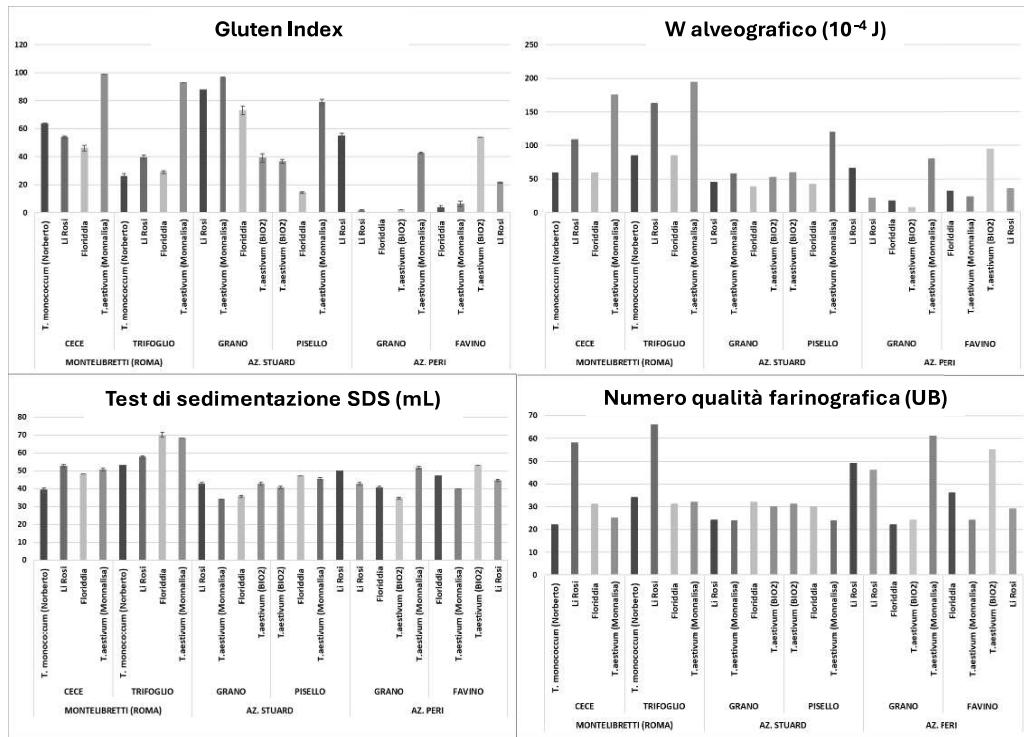


Figura 1. Caratteristiche tecnologiche delle popolazioni evolutive, del monococco cv Norberto, della popolazione BIO2, e del grano tenero cv Monnalisa, a Montelibretti e nelle due aziende Stuard e Peri a Parma, sulle precessioni cece, trifoglio, pisello, favino o grano.

In Figura 2 sono riportati i risultati delle analisi nutrizionali. Per quanto riguarda le popolazioni evolutive raccolte a Montelibretti, il contenuto proteico era significativamente più alto (+4% in Floriddia e +3% in Li Rosi) sul trifoglio rispetto al cece. A Parma, presso l'azienda Stuard, è stato invece osservato un incremento significativo del contenuto proteico per entrambe le popolazioni evolutive precedute da pisello; nell'azienda agricola Peri, con la precessione favino, Li Rosi ha guadagnato quasi il 3,5% di contenuto proteico, mentre Floriddia ha mostrato risultati non in linea con gli altri campioni (Fig. 2). Entrambe le popolazioni hanno mostrato valori più alti di amido totale e resistente e di TDF sulla precessione del cece rispetto al trifoglio. Al contrario, la TAC è risultata più alta sul trifoglio rispetto al cece (Fig. 2). Le due PE coltivate presso le aziende agricole di Parma si sono rivelate più ricche in amido resistente, TAC e TDF quando coltivate dopo le leguminose (pisello o favino); come previsto, dato il minor contenuto proteico, l'amido totale è risultato maggiore nelle popolazioni coltivate su precessione frumento. Tutti i campioni hanno rivelato una percentuale di ceneri superiore a 1,8% che è il valore limite di legge per la farina integrale.

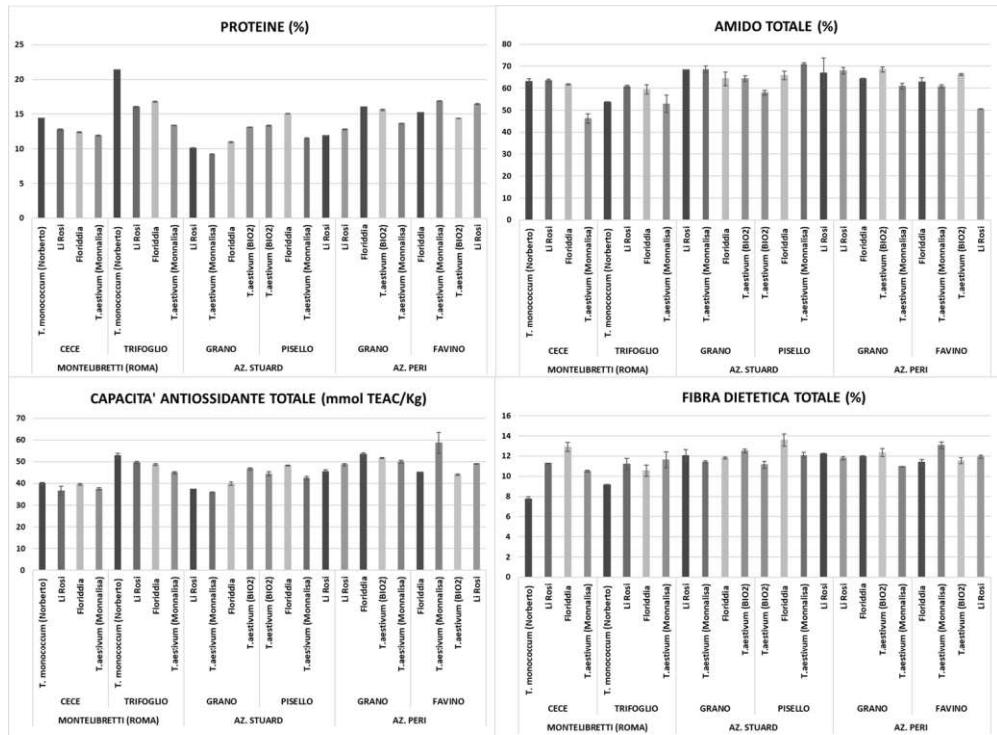


Figura 2. Caratteristiche nutrizionali delle popolazioni evolutive, del monococco cv Norberto, della popolazione BIO2, e del grano tenero cv Monnalisa, a Montelibretti e nelle due aziende Stuard e Peri a Parma, sulle precessioni cece, trifoglio, pisello, favino o grano.

In conclusione, i risultati ottenuti mostrano che le popolazioni evolutive hanno buone caratteristiche sia tecnologiche che nutrizionali, evidenziandone, quindi, la potenzialità come materia prima per lo sviluppo di filiere cerealicole rigenerative.

Bibliografia

- Ceccarelli S. 2020. *Le Popolazioni Evolutive ICARDA*. Tratto da Wordpress: <https://salvatorececcarelli.wordpress.com/2020/04/03/le-popolazionievolutive-icarda/>

Gazza L., Hidalgo A., Brandolini A. 2023. A high protein ancient wheat species: Einkorn. *Journal of Cereal Science*, 114: 103790.

Hidalgo A., Brandolini A., Gazza L. 2008. Influence of steaming treatment on chemical and technological characteristics of einkorn (*Triticum monococcum* L.spp *monococcum*) wholemeal flour. *Food Chemistry*, 549-555.

ISO 2010. *International Organization for Standardization*. Cereals and Pulses-Determination of the Mass of 1000 Grains; Method 520:2010; ISO: Geneva, Switzerland

AACC 2010. *American Association of Cereal Chemists*. 46-30; 54-30.02; 38-12; 56-70.01. In Approved Methods of Analysis, 11th ed.; AACC International: St. Paul, MN, USA.

Martini, D., Taddei, F., Nicoletti, I., Ciccioritti, R., Corradini, D., D'Egidio, M. G. 2014. Effects of genotype and environment on phenolic acids content and total antioxidant capacity in durum wheat. *Cereal Chemistry*, 91(4): 310-317.

McCleary B. V., Solah V., Gibson T. S. 1994. Quantitative measurement of total starch in cereal flours and products. *Journal of Cereal Science*, 20: 51-58.

AOAC 2002. *Association of Official Analytical Chemists*. Official Methods of Analysis; Gaithersburg, MD, USA.

Popolazioni evolutive di frumento coltivato su diverse precessioni in regime biologico stimolano processi del suolo e biodiversità microbica

G. Giannelli^{1*}, C. Védère², C. Rumpel², L. Gazza³, S. Folloni⁴, G. Galaverna¹, G. Visioli⁵

¹Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco (S.A.F.), Università di Parma, Parco Area delle Scienze 11/A, 43124 Parma (PR).

²C.N.R.S., UMR Sorbonne U, CNRS, IRD, INRA, UPEC, Paris, Francia.

³Consiglio per la ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari, Via Manziana 30, 00189 Roma (RM).

⁴Open Fields s.r.l., Str. Madonna dell'Aiuto 7/A, 43126 Parma (PR).

⁵Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale (S.C.V.S.A.), Università di Parma, Parco Area delle Scienze 27/A, 43124 Parma (PR).

*E-mail: gianluigi.giannelli@unipr.it

Abstract

Evolutionary populations (EPs) present an excellent alternative to monoculture due to their high genetic diversity, which allows for better adaptability to various stresses. An interesting aspect is the interaction between the root systems of EPs and soil microorganisms, essential for soil health and plant well-being. This study aimed to investigate how different organic cultivation practices of EPs of wheat could influence soil and rhizosphere processes, improving soil quality within a regenerative agriculture framework. We analysed the chemical and microbial characteristics of the soils and rhizospheres of two EPs of wheat (Furat Li Rosi and Furat Floriddia) cultivated in two Italian sites (Parma and Rome) under different preceding crops (legumes and wheat). A spectral fingerprint of the organic matter quality in the soil and rhizosphere across various cropping systems, enzymatic activities microbial biomass, soil EL-FAME (methyl esters and fatty acids), and nitrogen concentrations were analysed to correlate microbial activities with organic matter quality and soil chemical characteristics. The results demonstrate that EPs can influence the composition of soil organic matter by altering microbial functioning, depending on the site and cultivation system.

Riassunto

Le popolazioni evolutive (EPs) rappresentano un'eccellente alternativa alla monocoltura grazie alla loro elevata diversità genetica, che consente una migliore adattabilità a vari stress. Un aspetto interessante è l'interazione tra le radici delle EP e i microrganismi del suolo, essenziali per la salute del suolo e il benessere delle piante. Questo studio ha voluto indagare come diverse pratiche di coltivazione biologica delle EP di grano possano influenzare i processi del suolo e della rizosfera, migliorandone la qualità nell'ambito di un'agricoltura rigenerativa. Abbiamo analizzato le caratteristiche chimiche e microbiche dei suoli e delle rizosfere di due EP di grano (Furat Li Rosi e Furat Floriddia) coltivate in due siti italiani (Parma e Roma) con diverse precessioni (legumi e grano). Per correlare le attività microbiche con la qualità della sostanza organica nel suolo e nella rizosfera, sono state analizzate le attività enzimatiche, la biomassa microbica, gli EL-FAME (esteri metilici e acidi grassi) e le concentrazioni di azoto nel suolo. I risultati dimostrano che le EP possono influenzare la composizione della sostanza organica del suolo alterando il funzionamento microbico, a seconda del sito e del sistema di coltivazione.

Introduzione

La coltivazione di varietà ad alta resa, l'uso massiccio di fertilizzanti e i prodotti agrochimici hanno causato il degrado del suolo, portando alla perdita di carbonio organico e al deterioramento delle funzioni biologiche del suolo (Kopittke *et al.*, 2019). Ripristinare il

contenuto di SOM rafforzando le interazioni pianta-suolo risulta cruciale per incrementare la sostenibilità dei sistemi agricoli (Janzen *et al.*, 2022). Per ottimizzare le interazioni pianta-suolo, è stato suggerito di sfruttare le interazioni ecologiche di piante diverse in sistemi di coltivazione basati sulle rotazioni (Gaba *et al.*, 2014). In questo studio ci siamo concentrati su un sistema costituito da coltivazioni di popolazioni evolutive (EPs) di frumento in rotazione con leguminose. Le EPs sono costituite da piante che presentano un elevato grado di diversità genetica intraspecifica (Ceccarelli *et al.*, 2022) e possono rispondere in modo più efficiente adattandosi ai cambiamenti climatici (Reiss *et al.*, 2011). Le EPs sono solitamente ottenute mescolando semi F1 o F2 ottenuti dall'incrocio di varietà di frumento, lasciando che si evolvano in un sito specifico al fine di migliorare il loro adattamento alle condizioni pedoclimatiche del sito (Döring *et al.*, 2011). Un aspetto importante ma poco esplorato dell'adattamento delle EPs ad ambienti ostili è il cross-talk tra radici e microrganismi, che può influire sulla quantità e la composizione della SOM. Lo studio ha valutato l'effetto delle rotazioni EPs/leguminose sulla SOM e sui processi microbici del suolo in due siti italiani (Parma e Roma). Confrontando due EPs evolute in due pedoclimi mediterranei e una varietà convenzionale, sono stati analizzati la composizione microbica e SOM nella rizosfera, in rotazione e in monocoltura, per capire l'impatto della diversità genetica delle EPs e della coltura precedente.

Materiali e metodi

Frumento convenzionale, popolazioni evolutive (EPs) e campi sperimentali

È stata scelta la varietà moderna di grano tenero Monnalisa (*Triticum aestivum* L.), commercializzata da CGS sementi-Semìa (Monnalisa, CGS sementi, Acquasparta, TR, Italia). Le due EPs (Furat Li Rosi e Furat Floriddia) sono popolazioni di frumento (*Triticum aestivum* L.) evolute da una stessa EP che è stata assemblata nel 2009 da Salvatore Ceccarelli e Stefania Grando con la collaborazione dei breeders del Centre for Agriculture Research in Dry Areas (ICARDA, Beirut, Libano). L'EP Furat Floriddia si è sviluppata a Peccioli, in Toscana (43,29 N 10,47 E; 124 m s.l.m.). L'EP Furat Li Rosi si è sviluppata a Raddusa, in Sicilia (37,29 N 14,29 E; 315 m s.l.m.). L'esperimento è stato condotto per 20 mesi secondo lo schema rappresentato in Figura 1. In nessuno dei siti sono stati utilizzati trattamenti di fertilizzazione, controllo dei parassiti o erbicidi. Il primo campo sperimentale era situato presso l'Azienda Agraria Sperimentale Stuard di Parma (44,79 N 10,27 E; 50 m s.l.m.). Nel sito di Parma sono state utilizzate colture di pisello e frumento tenero come precessione. Il secondo campo è stato allestito in Roma presso l'azienda sperimentale del CREA-IT (Montelibretti Roma; 42,08 N 12,44 E; 24 m s.l.m.). Nel sito di Roma sono state utilizzate colture di alfalfa e cece come precessione.

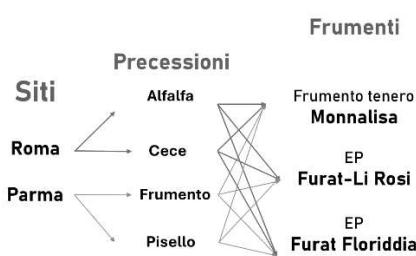


Figura 1. Disegno sperimentale dei campi di Parma e Roma

Mid Infrared analysis (MIRS) e contenuto d'azoto

Le analisi MIRS sono state eseguite su terreni essiccati e macinati (200 μm) utilizzando una spettroscopia FTIR (Tensor 27, Bruker, Fällanden, Svizzera) operante in modalità di riflettanza totale attenuata (ATR). Le misure sono state effettuate a intervalli di 2 cm^{-1} nell'intervallo MIR (da 4000 a 600 cm^{-1}) e convertite in assorbanza. Sono state effettuate correzioni della linea di

base e delle interferenze di CO₂ e H₂O e le assorbanze sono state riportate come A/1000 S.I. L'intensità dell'assorbanza è stata normalizzata con la somma dell'assorbanza totale (4000-600 cm⁻¹) ed è stato utilizzato un filtro Savitzky-Golay per rimuovere il rumore (ordine del filtro = 3 e lunghezza del filtro = 15). I picchi sono stati rilevati utilizzando il software OriginPro e il metodo "local maximum" (Bottinelli *et al.*, 2021) ed estratti per l'analisi statistica multivariata. Il rapporto tra composti alifatici e aromatici è stato calcolato utilizzando il rapporto tra l'intensità del C-H alifatico a 3010-2810 cm⁻¹ e l'intensità del C=C aromatico a 1660-1580 cm⁻¹ (Tinti *et al.*, 2015). Il contenuto di azoto è stato misurato su terreni essiccati e macinati (200 µm) utilizzando un analizzatore elementare (FlashEA 1112 Series, Thermo Electron).

Attività enzimatiche

Sono stati analizzati diciannove enzimi idrolitici coinvolti nei principali cicli nutritivi, ovvero: arilsolfatasi (Aryl-s), α-glucosidasi (Alpha-g), β-glucosidasi (Beta-g), α-galattosidasi (α-gal), β-galattosidasi (β-gal), cellulasi (Cell), β-1,4-xilanasi (Xil), β-D-glucuronidasi (Uroni), chitinasi/N-acetil-β-D-glucosaminidasi (Chit), arginasi (Arg), leucina amino-peptidasi (Leu), proteasi aspecifica (A-prot), fosfomonoesterasi acida (Ac-phos) e alcalina (Alk-phos), inositolo-fosfatasi (Inosit-phos), perossidasi (Peroxidase), ossidasi (Oxidase), Fluoresceina diacetato (Fda), Serin-like-proteasi (Cbz) e nonanoato-esterasi (Nona). Le attività enzimatiche sono state misurate in triplicato utilizzando suolo rizosferico mediante la procedura descritta in Cowie *et al.*, 2013.

Composizione microbica

Per caratterizzare la composizione della comunità dei microrganismi viventi più probabilmente influenzati dalla coltivazione di diverse colture, abbiamo caratterizzato gli "Ester-Linked Fatty Acid Methyl Ester" (EL-FAME) secondo la procedura descritta in Li *et al.*, 2020 e utilizzando 3 g di suolo liofilizzato. Sono stati inoltre calcolati i rapporti tra batteri gram-positivi e gram-negativi.

Risultati e discussione

Dalle analisi MIRS è emerso che le precessioni hanno indotto cambiamenti nella composizione della SOM nei suoli rizosferici ma non nei suoli bulk di coltivazioni di EPs e Monnalisa. I dati complessivi della rizosfera campionati in entrambi i siti dopo la raccolta delle EPs e di Monnalisa hanno mostrato contenuti di N simili. Tuttavia, i dati hanno mostrato differenze specifiche per il sito. Mentre a Parma il contenuto di N nel suolo è simile indipendentemente dalla precessione o dalla varietà, abbiamo osservato differenze significative a Roma (Fig. 2), dove la precessione con alfalfa sembra aver aumentato il contenuto di N nel suolo più della precessione col cece, indipendentemente dalla varietà di frumento. Inoltre, le EPs successive al cece hanno mostrato contenuti di N nel suolo più elevati rispetto a Monnalisa (Fig. 2). Al contrario, mentre il rapporto tra composti aromatici e alifatici è simile a Roma indipendentemente dalla varietà o dalla precessione, l'uso del pisello a Parma ha indotto una tendenza alla diminuzione del rapporto tra composti alifatici e aromatici rispetto al grano come coltura precedente (Fig. 2). La SOM della rizosfera è influenzata dalle precessioni nel primo anno di coltivazione delle EPs.

L'analisi EL-FAME non ha evidenziato differenze significative tra EPs e Monnalisa (Fig. 3), mentre la precessione sembra indurre cambiamenti nella comunità microbica. Infatti il GMP:GMN è risultato essere più alto in piante coltivate con precessione alfalfa rispetto a quelle con precessione frumento. Il rapporto GMP:GMN viene utilizzato come indicatore della disponibilità relativa di C. Pertanto, il leggero aumento del rapporto in seguito alla precessione con leguminose potrebbe indicare la presenza di forme più recalcitranti di C nel suolo.

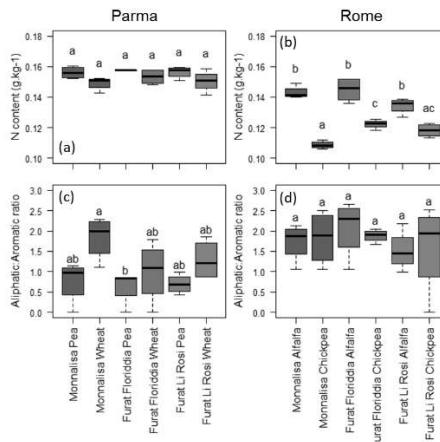


Figura 2. Contenuto d'azoto (a,b) e rapporto tra alifatici e aromatici (c,d) delle EPs e Monnalisa usando diverse rotazioni in Parma (a,c) e Roma (b,d). Lettere rappresentano i risultati del test di Dunn ($n=4$) (a) o del test di Tukey ($n=4$) (b,c,d).

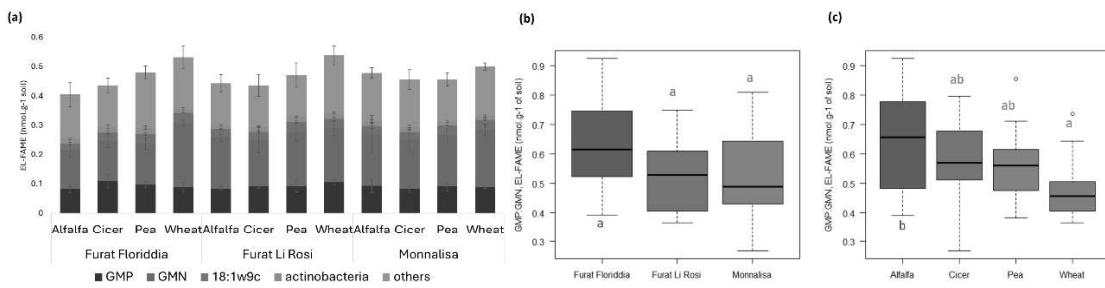


Figura 3. EL-FAME totale (a), rapporto Gram-positivi/Gram-negativi (GMP:GMN) (b) delle EPs e Monnalisa e delle diverse rotazioni usate a Parma e Roma (c). Lettere rappresentano i risultati del test di Tukey ($n=4$).

L'effetto sinergico tra la precessione e le EPs ha determinato cambiamenti nell'attività di alcuni enzimi (Fig. 4). A seguito della precessione con cece, sono stati riscontrati aumenti nell'attività di β -glucosidasi, cellobioidrolasi, xilosidasi, glucuronidasi, arginin amino peptidasi in Furat Li Rosi. Un aumento dell'attività degli enzimi α -galattosidasi, β -galattosidasi, cellobioidrolasi, chitinasi, ossidasi, perossidasi è stata osservata in Furat Floriddia a seguito della precessione con pisello. L'attività di cellobioidrolasi e fluoresceina diacetato idrolasi è stata invece riscontrata in Furat Li Rosi a seguito della precessione con alfalfa.

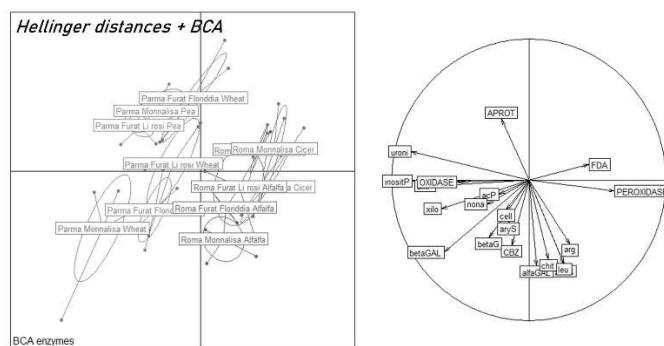


Figura 4. BCA delle attività enzimatiche osservate per le tre varietà di frumento con le rispettive rotazioni in Parma e Roma.

Le analisi che verranno condotte nei successivi anni di sperimentazione permetteranno di chiarire il possibile effetto sinergico tra leguminose ed EPs sulle caratteristiche del suolo e sui processi biologici associati ad esso.

Bibliografia

- Bottinelli N., *et al.* 2021. Mid-infrared spectroscopy to trace biogeochemical changes of earthworm casts during ageing under field conditions. *Geoderma*, 383: 114811.
- Ceccarelli S., Grando S. 2022. *Evolutionary Plant Breeding with an introduction to Participatory Plant Breeding* pp. 170 MIMESIS Edizioni (MI).
- Cowie A.L., *et al.* 2013. Impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales. *Soil Research*, 51: 707.
- Döring T. F. *et al.* 2011. Evolutionary Plant Breeding in Cereals-Into a New Era. *Sustainability*, 3: 1944-1971.
- Gaba S., *et al.* 2014. Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystems. *Frontiers in Ecology and Evolution*: 2.
- Janzen H. H., *et al.* 2022. Photosynthetic limits on carbon sequestration in croplands. *Geoderma*, 416: 115810.
- Kopittke P.M., *et al.* 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132: 105078.
- Li C., *et al.* 2020. A comparison between fatty acid methyl ester profiling methods PLFA and EL-FAME. *Soil Science Society of America Journal*, 84: 1153-1169.
- Reiss E.R., Drinkwater L.E. 2018. Cultivar mixtures: a meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. *Ecological Applications*, 28: 62-77.
- Tinti A., *et al.* 2015. Recent applications of vibrational mid-Infrared (IR) spectroscopy for studying soil components: a review. *Journal of Central European Agriculture*, 16: 1-22.