

Relazione finale

PARTNER
FoodMicroTeam

PROGETTO Pane di Farro della Garfagnana IGP (PaFa)

BANDO DI ATTUAZIONE

Documento di economia e finanza regionale (DEFR) 2022 Progetto Regionale 8
"Sviluppo sostenibile in ambito rurale e agricoltura di qualità"

INTERVENTI A SOSTEGNO DEI PROCESSI DI INNOVAZIONE ORGANIZZATIVA
E DI PROCESSO PRODUTTIVO NEL SETTORE DELLA COOPERAZIONE
AGRICOLA E NEI CONSORZI FORESTALI DI CUI ALLA DELIBERAZIONE DELLA
GIUNTA REGIONALE TOSCANA N. 766 DEL 04/07/2022



Il ruolo di FoodMicroTeam all'interno del presente progetto è stato quello di mettere a punto un processo per la produzione di pane ottenuto con una percentuale elevata di farina di farro impiegando un lievito madre creato appositamente tramite selezione di ceppi microbici. Il raggiungimento di tale obiettivo ha previsto l'ottenimento di un lievito madre stabile, di un suo ottimale protocollo di impiego e di una ricetta adeguata. Successivamente alla verifica della stabilità del lievito madre mantenuto si è proceduto allo studio di fattibilità in condizioni reali di un possibile processo produttivo da poter trasferire in seguito ad una delle attività trasformatrici della cooperativa.

Per quanto riguarda il piano sperimentale del presente studio, il progetto è stato suddiviso in 3 parti riguardando nella prima parte la creazione, monitoraggio e mantenimento del lievito madre. Successivamente il lavoro si è incentrato sull'attuazione di prove di panificazione su piccola scala con analisi sensoriale annessa allo scopo di individuare significative differenze sensoriali tra le quattro tesi valutate. La terza parte ha riguardato il trasferimento tecnologico.

L'inizio delle attività ha previsto l'individuazione dei ceppi microbici presso la biobanca di FoodMicroTeam (FoodMicroBank) derivanti da un precedente studio su un lievito madre di farro stabile. Proprio per la loro capacità di adattamento alla matrice utilizzata e alle loro capacità metaboliche saggiate, quali potere acidificante e capacità lievitante, sono stati selezionati il ceppo *Fructilactobacillus sanfranciscensis* Fa1 e *Kazachstania humilis* Gar2. Presenti entrambi in crioconservazione (-80°C) sono stati riattivati tramite tecniche microbiologiche di laboratorio utilizzando nelle prime fasi un terreno sintetico agarizzato e successivamente si è proceduto tramite passaggi in condizioni sterili all'ottenimento di una sufficiente quantità di biomassa da inoculare nella miscela di acqua e farina.

Parallelamente sono state analizzate tecnologicamente presso laboratorio esterno le tre farine ottenute e conferite dal soggetto 2 del progetto, allo scopo di rilevare le caratteristiche panificatorie di esse in modo da stabilire quale fosse il metodo di mantenimento del lievito madre più idoneo. Le analisi richieste ed effettuate sono state svolte tramite Alveografo di Chopin e Farinografo di Brabender dalle quali è stato possibile definire alcuni parametri di interesse come la forza della farina (W), la percentuale massima di assorbimento di acqua e la stabilità espressa in minuti dell'impasto. Come riportato in tabella, per quanto riguarda la forza della farina (W), i due campioni ottenuti da mix di grano tenero hanno mostrato valori di forza comparabili: 96×10^{-4} J per il mix ad alto contenuto di azoto e 103×10^{-4} J per il mix a basso contenuto di azoto. Entrambi rientrano nella categoria delle farine deboli-medio deboli, con una capacità limitata di sostenere fermentazioni prolungate. Il farro tipo 1 ha presentato invece un valore di W pari a 26×10^{-4} J, indicativo di una farina molto debole, caratterizzata da una rete glutinica poco sviluppata e scarsa attitudine alla panificazione tradizionale. Per l'assorbimento di acqua è stato osservato per il campione "farro tipo 1" il valore più elevato (63,2%), superiore a quello dei due mix di grano tenero (circa 57%). L'elevato assorbimento del farro può essere attribuito alla maggiore presenza di componenti fibrose e alla diversa struttura proteica, che trattiene più acqua ma non contribuisce efficacemente alla formazione di una struttura glutinica stabile. Come dimostrato dal terzo parametro di interesse, infatti, la stabilità farinografica risulta

moderata ma simile nei due mix di grano (3,7 e 3,4 min), indicando impasti relativamente poco resistenti alla lavorazione ma comunque più stabili rispetto al farro. Il farro tipo 1 mostra una stabilità molto ridotta (1,3 min) e valori più elevati di rammollimento (E10 = 207 UF; EICC = 236 UF), segnale di un rapido decadimento della consistenza dell'impasto durante l'impastamento. Questo comportamento conferma la debolezza della struttura glutinica del farro e la sua limitata tolleranza alla lavorazione meccanica.

Figura 1. Parametri alveografici e farinografici dei tre campioni di farina (mix di farine di grano ad alto e basso contenuto di azoto e farina di farro tipo 1).

	Mix grano alto N		Mix grano basso N		Farro tipo 1	
	Risultato	Incertezza	Risultato	Incertezza	Risultato	Incertezza
P (mm)	46	±4	54	±5	37	±4
L (mm)	78	±13	72	±12	16	±6
P/L	0,59	±0,11	0,75	±0,15	2,31	±0,52
G	19,4	±1,6	18,6	±1,6	8,5	±1,3
W (10 ⁴ joules)	96	±15	103	±16	26	±7
Assorbimento acqua (%)	57,5	±0,7	56,9	±0,7	63,2	±0,7
Assorbimento acqua corretto al 14 % di umidità (%)	55,3	±0,7	55,6	±0,7	61,7	±0,7
Tempo d'impasto (min)	1,5	±0,7	2	±1	2,3	±1,1
Stabilità (min)	3,7	±2,7	3,4	±2,7	1,3	±2,7
E10 - Grado di rammollimento dopo 10 min (UF)	135		125		207	
E(ICC) - Grado di rammollimento 12 min dopo il max (UF)	154	±23	148	±23	236	±23
FQN - Numero di qualità farinografica	45		41		29	

Pertanto, la scelta di mantenere il lievito madre liquido con il mix di grano ad alto contenuto di azoto è stata motivata principalmente da considerazioni tecnologiche e microbiologiche emerse dalle analisi delle farine. Infatti dal punto di vista delle caratteristiche tecnologiche della suddetta farina favoriscono la formazione di un impasto sufficientemente elastico ed estensibile, in grado di sostenere l'attività fermentativa del lievito madre senza irrigidirsi eccessivamente durante i rinfreschi. Dal punto di vista microbiologico, una farina con maggiore contenuto proteico e una struttura glutinica più equilibrata fornisce un ambiente più stabile per lo sviluppo del microbiota del lievito madre, favorendo un corretto equilibrio tra batteri lattici e lieviti, con conseguente sviluppo di acidità e composti aromatici tipici della fermentazione naturale.

- Procedura di rinfresco del lievito madre liquido

Il lievito madre liquido è stato mantenuto mediante rinfreschi successivi utilizzando farina di mix di grano ad alto contenuto di azoto. La metodica ha previsto la miscelazione di lievito madre, farina e acqua secondo rapporti definiti, seguita da una fase di fermentazione controllata e da una conservazione a bassa temperatura. Nello specifico a fine impastamento, il lievito naturale è stato lasciato fermentare per 3 ore a 28°C per stimolare l'attività fermentativa dei microrganismi, quindi conservato per 21 ore a 4°C per rallentare il metabolismo microbico e stabilizzare la coltura. Il lievito madre viene considerato idoneo all'utilizzo dopo circa 40 rinfreschi consecutivi, tempo necessario per stabilizzare la comunità microbica. Tale processo è stato accompagnato da un monitoraggio periodico. Quotidianamente sono stati misurati pH e acidità e valutato lo sviluppo del volume del lievito, parametri utili a verificare l'attività fermentativa. Con frequenza bisettimanale è stato invece effettuato un controllo microbiologico tramite semina su piastra Petri, finalizzato alla quantificazione dei microrganismi e alla verifica dell'equilibrio tra batteri lattici e lieviti.

Tabella 1. Parametri della procedura di rinfresco e monitoraggio del lievito madre liquido.

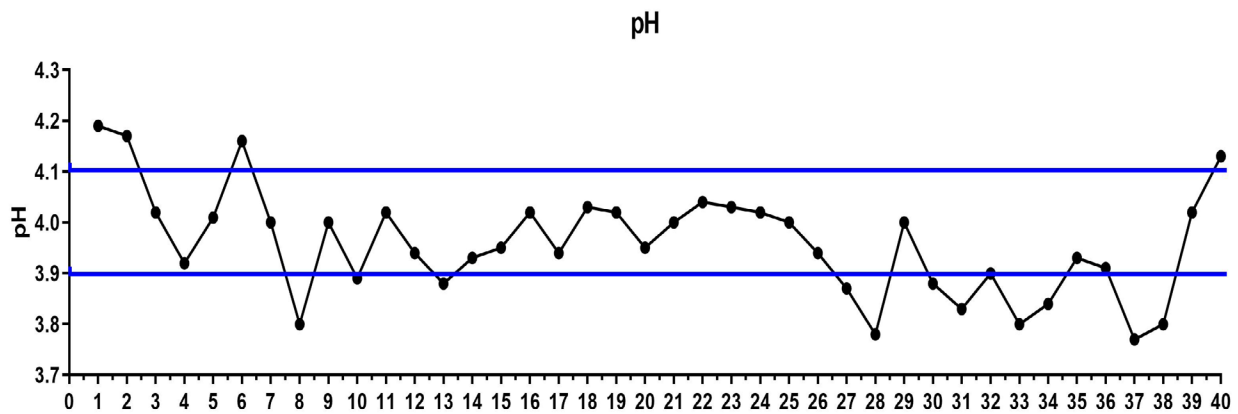
Parametro	Condizione adottata
Temperatura e tempi di fermentazione	3 h a 28°C + 21 h a 4°C
Rapporto farina : acqua	1 : 0,8
Rapporto lievito madre : farina	1 : 2
Lavorazione dell'impasto	impasto lavorato fino a incordatura
Monitoraggio giornaliero	misurazione pH e acidità, valutazione del volume
Monitoraggio bisettimanale	analisi microbiologica

Il grafico riportato rappresenta l'andamento del valore di pH dell'impasto durante l'intero arco temporale di tutti i rinfreschi effettuati, corrispondenti ai punti riportati sull'asse delle ascisse.

In occasione del primo rinfresco, è stato osservato un abbassamento del pH fino a valori prossimi a 4,2. Questo calo è tipico della fase iniziale di adattamento microbico, durante la quale *F. sanfranciscensis* inizia a metabolizzare i carboidrati disponibili nel substrato, producendo acidi organici come acido lattico e acido acetico. Tale produzione determina una progressiva acidificazione dell'ambiente, con effetti diretti sulla riduzione del pH.

Nelle fasi successive, a partire approssimativamente dal terzo rinfresco, il valore del pH come si evince dal grafico ha evidenziato una certa stabilizzazione, oscillando in un intervallo compreso tra 3,9 e 4,1. Infatti, come si può notare dal grafico, la maggior parte dei valori misurati rientra all'interno di questo range, indicando una regolare attività acidificante e una buona stabilità del sistema microbico. La costanza del pH rappresenta un parametro indicativo di un ambiente fermentativo sano e controllato, idoneo a sostenere il corretto sviluppo microbico e la qualità tecnologica dell'impasto.

Figura 2. Andamento valori di pH a fine fermentazione nei primi 40 giorni di mantenimento del lievito madre.



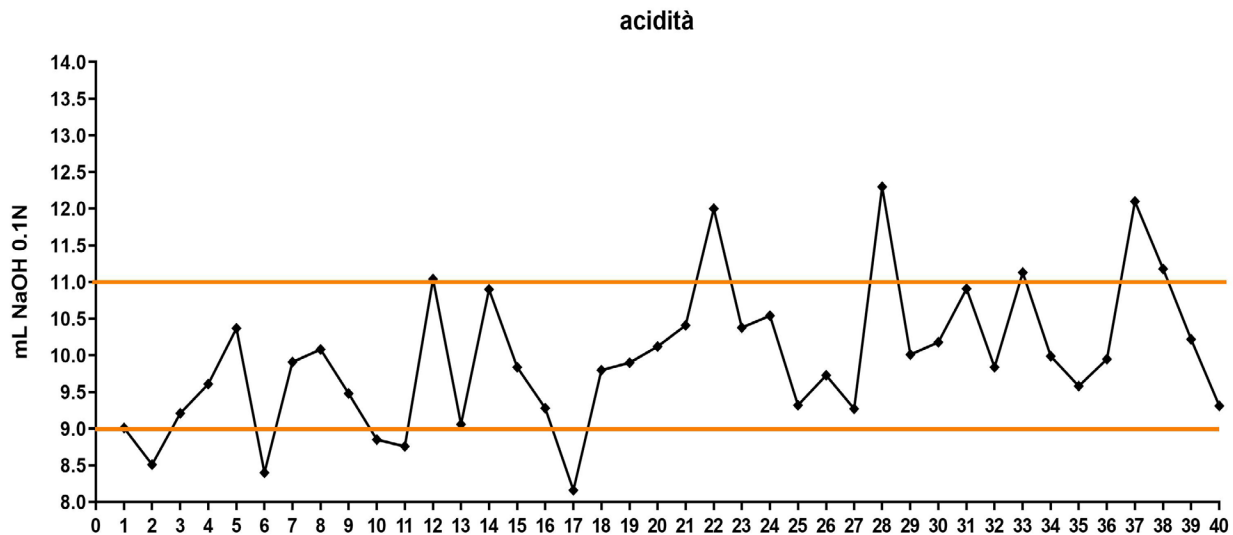
L'acidità, espressa in mL di NaOH 0,1N utilizzati per la titolazione (rappresentata graficamente con i rinfreschi riportati sull'asse x), è un altro indicatore fondamentale dell'attività metabolica di *F. sanfranciscensis*. I valori elevati nei primi rinfreschi sono coerenti con un'intensa produzione di acidi organici, che si riflette parallelamente nella diminuzione del pH precedentemente descritta.

Nel corso dei rinfreschi, come si può notare dal grafico, la maggior parte dei valori di acidità si è mantenuta entro un intervallo compreso tra 9 e 11 mL, una fascia coerente con quella comunemente riscontrata nei lieviti madre maturi e funzionalmente stabili.

Parallelamente al monitoraggio dell'attività acidificante, è stata valutata anche l'efficienza lievitante del lievito madre, attribuita a *Kazachstania humilis*. A tal fine, si è osservato l'incremento volumetrico dell'impasto a seguito di ciascun rinfresco, prima della fase di refrigerazione. Questo parametro è stato adottato come indicatore indiretto ma affidabile dell'attività fermentativa del lievito, in quanto rappresentativo della produzione di CO₂ durante la fermentazione degli zuccheri disponibili.

La regolarità con cui tale incremento veniva raggiunto, in modo pressoché costante lungo tutto l'arco dei 40 rinfreschi, costituisce una conferma della vitalità e della stabilità del ceppo selezionato.

Figura 3. Andamento valori di acidità a fine fermentazione nei primi 40 giorni di mantenimento del lievito madre.

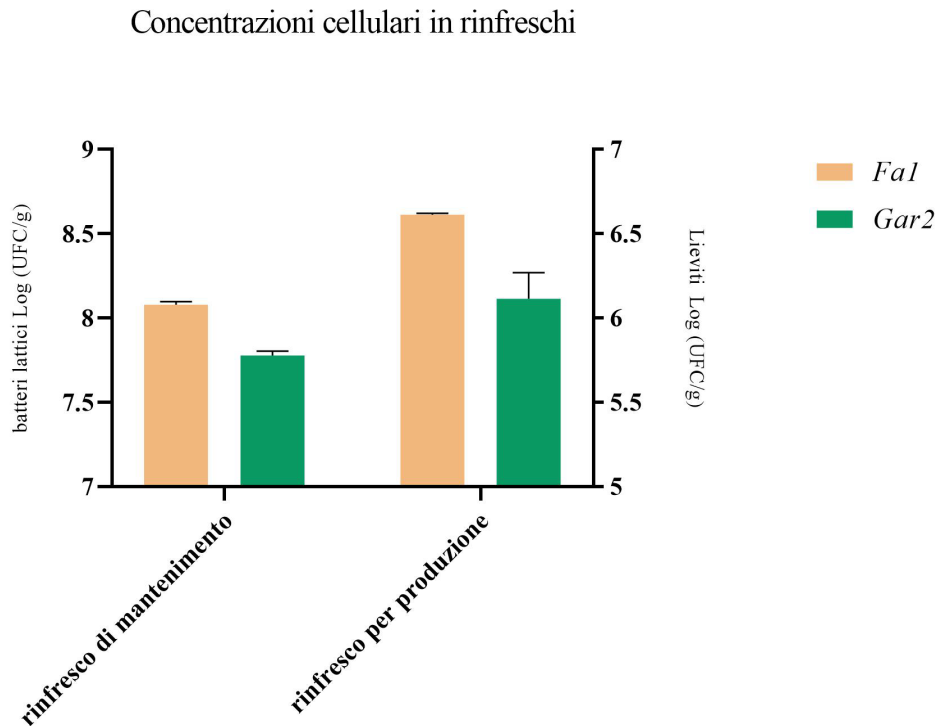


L'efficienza lievitante di *K. humilis*, in sinergia con l'attività acidificante di *F. sanfranciscensis*, ha garantito un profilo fermentativo equilibrato, confermando la validità del consorzio microbico impiegato.

Le analisi microbiologiche svolte bisettimanalmente hanno evidenziato una media di concentrazioni cellulari di $1,20 \cdot 10^8$ (UFC/g) di *Fructilactobacillus sanfranciscensis* e di $6,00 \cdot 10^5$ (UFC/g) di *Kazachstania humilis* ponendo così una riflessione sul potere fermentativo del lievito in fase di produzione, in quanto tali concentrazioni sono risultate inferiori alla media riscontrata nei lieviti madre a fine fermentazione da impiegare nell'impasto finale. Pertanto, al fine di ottenere una maggior concentrazione cellulare soprattutto del lievito in modo da garantire una buona attività fermentativa in fase di produzione, è stata applicata una modifica alla procedura di rinfresco descritta in precedenza. Nello specifico al momento del nuovo rinfresco giornaliero del lievito madre la massa appena impastata è stata suddivisa in due parti una delle quali posta a 28°C per 5 ore e le restanti 19 a 4°C . L'altra parte di impasto ha previsto il medesimo ciclo di fermentazione già descritto. Al termine delle 24 ore di fermentazione sono state effettuate analisi microbiologiche in modo da quantificare l'eventuale aumento di concentrazioni.

Come riportato dal grafico sottostante, l'effetto ottenuto dal maggior tempo di fermentazione a 28°C ha consentito il raggiungimento di $1,30 \cdot 10^6$ (UFC/g) ovvero di un incremento del 50% rispetto a quelle riscontrate nel rinfresco di mantenimento. Tali concentrazioni sono state giudicate ottimali per un possibile impiego nella produzione di pane.

Figura 4: confronto di concentrazioni cellulari dei due ceppi microbici tra le due diverse tipologie di rinfresco.



- Fase di messa a punto del protocollo di produzione

Il protocollo sperimentale per la messa a punto del processo di produzione del pane a base di farina di farro è stato strutturato considerando due variabili tecnologiche principali ritenute determinanti per la qualità dell'impasto e del prodotto finito: la percentuale di farina di farro presente nella miscela e la tipologia di fermentazione adottata. La prima variabile presa in considerazione riguarda la percentuale di farina di farro impiegata nella formulazione. Sono state selezionate due condizioni sperimentali, corrispondenti al 50% e al 75% di farina di farro sul totale. Questa scelta è stata effettuata per valutare l'influenza della quantità di farro sulle proprietà tecnologiche dell'impasto. La farina di farro è infatti caratterizzata da una rete glutinica generalmente più debole e meno stabile rispetto a quella del frumento tenero; all'aumentare della sua percentuale nella miscela è quindi possibile osservare variazioni nella lavorabilità dell'impasto, nella capacità di trattenere i gas di fermentazione e nello sviluppo volumetrico del prodotto. Un contenuto pari al 50% rappresenta una formulazione intermedia, nella quale la presenza della farina di frumento può contribuire a migliorare la struttura dell'impasto, mentre una percentuale del 75% consente di valutare il comportamento tecnologico di un sistema più ricco in farro e quindi più critico dal punto di vista reologico.

Come anticipato in precedenza, la seconda variabile ha riguardato invece il sistema di fermentazione utilizzato. Sono state considerate due modalità: una fermentazione condotta esclusivamente con lievito madre e una fermentazione condotta con lievito madre integrato con lievito di birra. Questa scelta ha consentito di confrontare due dinamiche fermentative differenti. L'impiego del solo lievito madre comporta generalmente una fermentazione più graduale, associata alla presenza di un microbiota mista composta da lieviti e batteri lattici, con produzione di acidi organici e sviluppo di un profilo aromatico più complesso. Al contrario, l'aggiunta di lievito di birra determina una fermentazione più rapida e una maggiore produzione di anidride carbonica, fattori che possono favorire lo sviluppo volumetrico del pane ma che potrebbero anche sollecitare maggiormente la struttura glutinica dell'impasto. La combinazione delle due variabili ha portato alla definizione di quattro diverse prove di panificazione, ciascuna rappresentativa di una specifica condizione tecnologica. Le prove hanno previsto: una formulazione con il 50% di farina di farro fermentata con solo lievito madre; una formulazione con il 50% di farina di farro fermentata con lievito madre e lievito di birra; una formulazione con il 75% di farina di farro fermentata con solo lievito madre; e infine una formulazione con il 75% di farina di farro fermentata con lievito madre e lievito di birra. Questa impostazione sperimentale ha consentito di valutare non solo l'effetto delle singole variabili, ma anche l'eventuale interazione tra percentuale di farina di farro e tipologia di fermentazione. In particolare, è stato possibile osservare come la risposta dell'impasto alla fermentazione possa variare in funzione della quantità di farro presente, fornendo indicazioni utili per individuare la combinazione più adatta alla produzione di pane con caratteristiche tecnologiche e sensoriali soddisfacenti. Di seguito si riportano le ricette definite per singola prova descritte dalle percentuali dei singoli ingredienti riferiti alla massa totale dell'impasto e alla percentuale di farina totale utilizzata.

Figura 5. Ricette utilizzate per le quattro tesi di panificazione.

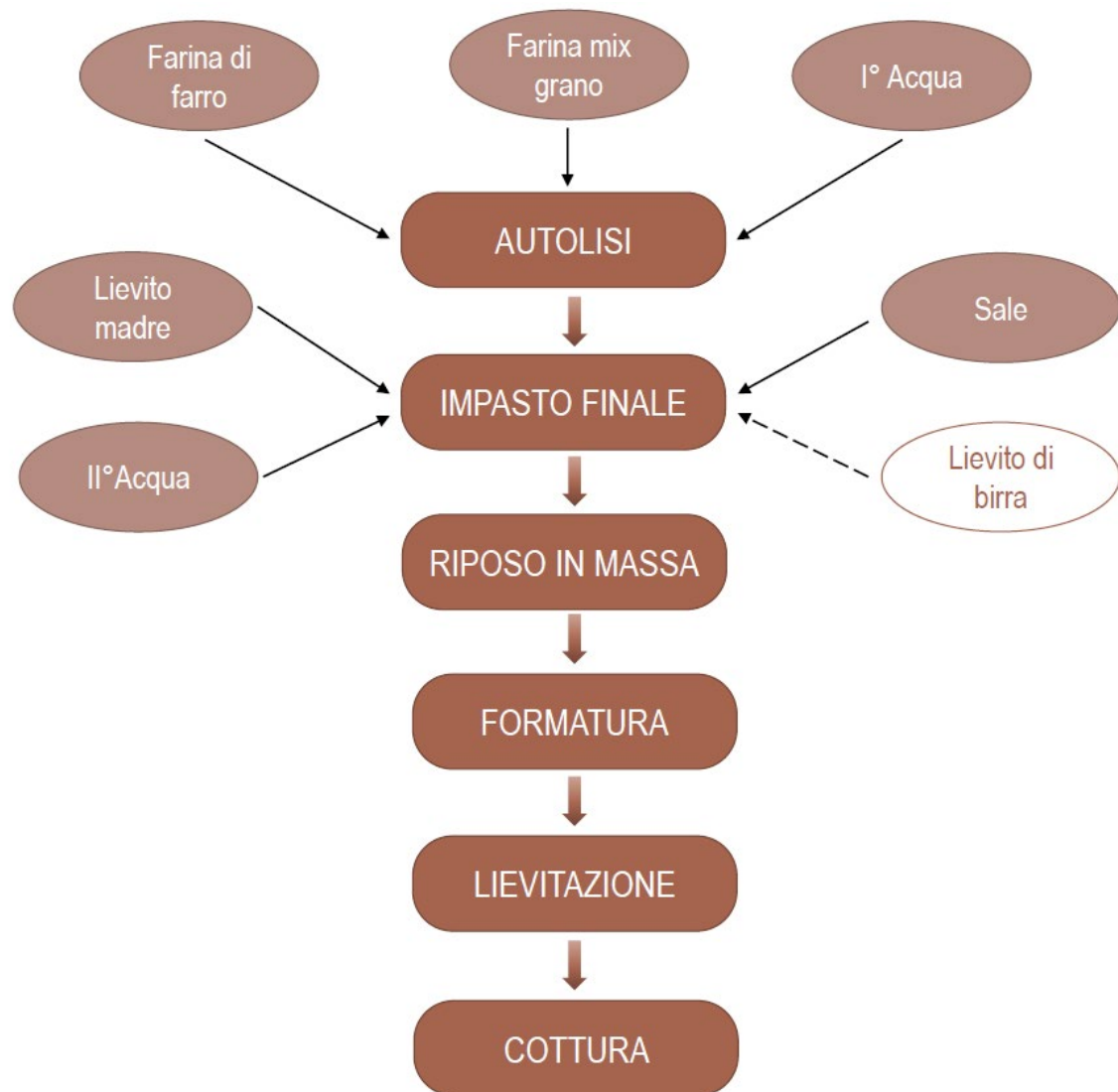
50% farina di farro

	lievito madre		lievito madre + lievito di birra		
	% su tot	% su farina tot	% su tot	% su farina tot	
farina mix	26,60	50,00	farina mix	25,48	50,00
farina di farro	26,60	50,00	farina di farro	25,48	50,00
acqua	32,30	60,71	acqua	32,30	60,71
lievito madre	15,30	30,00	lievito madre	12,74	25,00
sale	0,64	1,25	lievito di birra	0,80	1,50
			sale	0,64	1,25

75% farina di farro

	lievito madre		lievito madre + lievito di birra		
	% su tot	% su farina tot	% su tot	% su farina tot	
farina mix	12,74	25,00	farina mix	12,97	25,00
farina di farro	38,22	75,00	farina di farro	38,91	75,00
acqua	33,12	60,71	acqua	32,30	60,71
lievito madre	15,30	30,00	lievito madre	12,74	25,00
sale	0,64	1,25	lievito di birra	0,80	1,50
			sale	0,64	1,25

Figura 6. Diagramma di flusso del processo di produzione adottato per la prova di panificazione.



Le prove di panificazione effettuate con diverse percentuali di farina di farro e differenti sistemi di fermentazione hanno evidenziato un comportamento tecnologico distinto in funzione sia della composizione della miscela di farina sia del tipo di agente lievitante impiegato. Nel caso degli impasti contenenti una percentuale elevata di farina di farro (75%), i risultati hanno mostrato che l'impiego esclusivo di lievito madre risulta più idoneo rispetto alla combinazione con lievito di birra. La minore intensità della spinta fermentativa tipica del lievito madre consente infatti di preservare meglio la struttura dell'impasto. La farina di farro è caratterizzata da una rete glutinica più debole e meno tenace rispetto al frumento tenero, come evidenziato anche dai parametri tecnologici analizzati in precedenza; una fermentazione troppo rapida o intensa può quindi portare a un indebolimento della struttura e a una minore capacità dell'impasto di trattenere i gas di fermentazione. In queste condizioni, una fermentazione più graduale contribuisce a mantenere una maggiore stabilità della

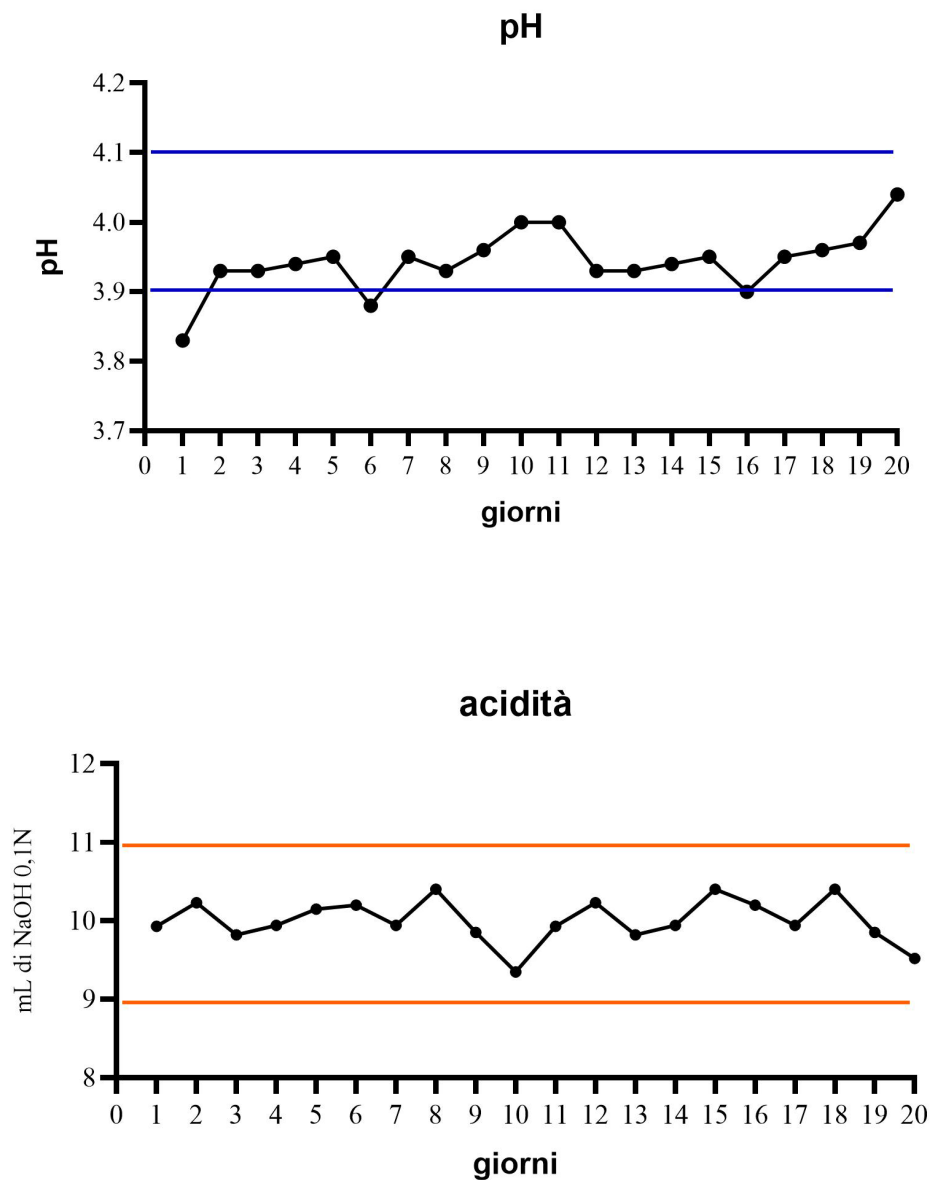
matrice. Dal punto di vista sensoriale, negli impasti ad alto contenuto di farro l'utilizzo del solo lievito madre ha inoltre determinato un profilo aromatico più equilibrato. La maggiore acidità prodotta dalla fermentazione lattica tende infatti a mitigare le note erbacee tipiche della farina di farro, rendendo il profilo sensoriale complessivamente più armonico. Quando invece la percentuale di farina di farro viene ridotta al 50% e quindi aumenta la quota di frumento tenero nella miscela, l'impiego combinato di lievito madre e lievito di birra ha mostrato risultati tecnologici più favorevoli. In questi impasti la rete glutinica risulta più strutturata e capace di sostenere una fermentazione più vigorosa; di conseguenza, la maggiore produzione di gas associata al lievito di birra determina un incremento dello sviluppo volumetrico del prodotto finale. Nel complesso, le prove indicano che all'aumentare della percentuale di farina di farro risulta preferibile un sistema di fermentazione più moderato basato esclusivamente su lievito madre, mentre con percentuali inferiori di farro la combinazione con lievito di birra consente di ottenere prodotti con maggiore volume e sviluppo della struttura alveolare.

Figura 7. Immagini dei prodotti ottenuti dalle quattro prove di panificazione.



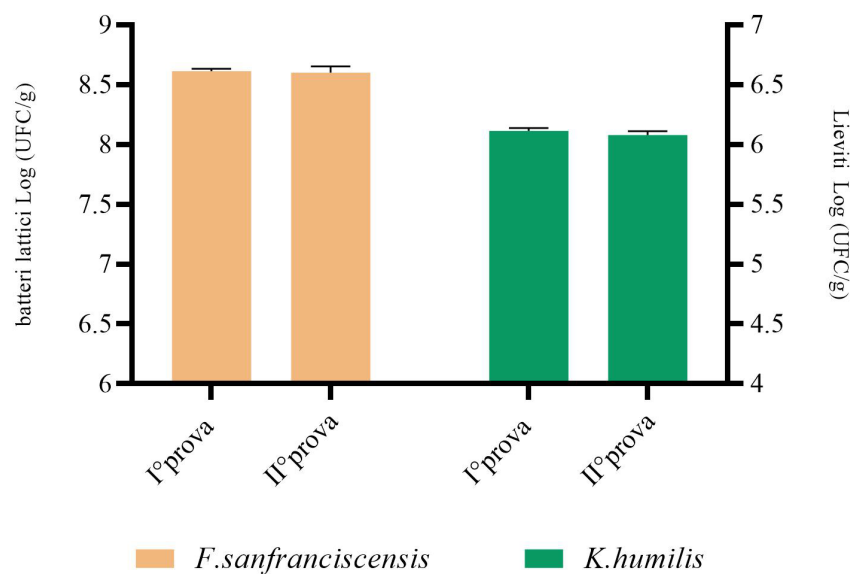
Tenendo conto dei risultati emersi dalla prima prova di panificazione da cui è risultato la validità del processo attuato e della fattibilità delle quattro tesi valutate, si è proceduto ad una seconda prova di panificazione i cui prodotti sono stati sottoposti ad una valutazione sensoriale organizzata per l'occasione in sede aziendale della cooperativa. Tra la prima e la seconda prova di panificazione il continuo mantenimento giornaliero del lievito madre ha portato ad una maggiore stabilità di esso rispetto a quanto riportato in precedenza. Infatti come è possibile osservare dai seguenti grafici, i valori di pH e di acidità risultano tutti dentro l'intervallo di valori ritenuti accettabili e tipici di un lievito madre con tali caratteristiche. I grafici riportano i valori delle due misurazioni nei venti giorni precedenti alla seconda prova di panificazione.

Figura 8. Andamenti dei valori di pH e acidità nei giorni precedenti alla seconda prova di panificazione.



Oltre alle analisi chimico –fisiche riportate, al momento dell’utilizzo del lievito madre sono state effettuate analisi di tipo microbiologico per stabilire le concentrazioni cellulari presenti. Come riportato nel grafico seguente, dal confronto dei due momenti di utilizzo, prima e seconda prova di panificazione, non risultano differenze significative in termini numerici per le due specie presenti.

Figura 9. Confronto di concentrazioni cellulari delle due specie microbiche tra prima e seconda prova di panificazione.



Sulla base dei risultati chimico-fisici e microbiologici è stato possibile procedere alla produzione delle quattro tipologie di pane e far svolgere l’analisi sensoriale ai soggetti presenti. Tale analisi è stata svolta da soggetti non addestrati di età compresa tra i 30 e i 70 anni di entrambi i sessi ai quali è stata proposta una scheda di valutazione appositamente redatta. Ai soggetti è stato chiesto di valutare i prodotti su scala di punteggio da 1 a 9 per quanto riguarda colore, aroma, consistenza e giudizio finale. Inoltre è stato chiesto di indicare uno o più attributi da noi generati per quanto riguarda il gusto. Di seguito si riporta la scheda di valutazione presentata ai soggetti.

Figura 10. Scheda di valutazione.

Età	Campione				Data				
Sesso M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>									
Colore	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estremamente sgradevole	Molto sgradevole	Moderatamente sgradevole	Leggermente sgradevole	Nè sgradevole nè gradevole	Leggermente gradevole	Moderatamente gradevole	Molto gradevole	Estremamente gradevole
Aroma	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estremamente sgradevole	Molto sgradevole	Moderatamente sgradevole	Leggermente sgradevole	Nè sgradevole nè gradevole	Leggermente gradevole	Moderatamente gradevole	Molto gradevole	Estremamente gradevole
Consistenza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estremamente sgradevole	Molto sgradevole	Moderatamente sgradevole	Leggermente sgradevole	Nè sgradevole nè gradevole	Leggermente gradevole	Moderatamente gradevole	Molto gradevole	Estremamente gradevole
Gusto	<input type="checkbox"/> Interessante		<input type="checkbox"/> Gustoso		<input type="checkbox"/> Amaro		<input type="checkbox"/> Non mangiabile		
	<input type="checkbox"/> Dolce		<input type="checkbox"/> Terroso		<input type="checkbox"/> Erbaceo		<input type="checkbox"/> Salato		
	<input type="checkbox"/> Insipido		<input type="checkbox"/> Acido		<input type="checkbox"/> Gommoso		<input type="checkbox"/> Delicato		
Giudizio complessivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Estremamente sgradevole	Molto sgradevole	Moderatamente sgradevole	Leggermente sgradevole	Nè sgradevole nè gradevole	Leggermente gradevole	Moderatamente gradevole	Molto gradevole	Estremamente gradevole

L'analisi sensoriale condotta sulle quattro tipologie di pane ha consentito di evidenziare differenze e similitudini tra i campioni in termini sia di descrittori sensoriali percepiti sia di valutazioni complessive espresse dal panel. I risultati mostrano come le formulazioni differiscano principalmente per intensità aromatica, percezione di acidità e caratteristiche di consistenza, aspetti fortemente influenzati sia dalla percentuale di farina di farro sia dal sistema di fermentazione adottato. Per quanto riguarda i descrittori sensoriali, i campioni fermentati esclusivamente con lievito madre presentano generalmente una maggiore percezione della nota acida, fenomeno riconducibile alla produzione di acidi organici da parte dei batteri lattici presenti nel lievito naturale. Questo comportamento è particolarmente evidente nel campione contenente il 75% di farina di farro fermentato con solo lievito madre, nel quale la frequenza di citazione del descrittore acido risulta tra le più elevate. Parallelamente, nei campioni in cui è stato impiegato anche il lievito di birra emerge una maggiore presenza del descrittore gustoso e una riduzione della percezione di acidità, segnale di una fermentazione più rapida e meno caratterizzata dal contributo della componente lattica. Dal punto di vista delle caratteristiche sensoriali globali, il diagramma radar evidenzia differenze relativamente contenute tra i campioni per quanto riguarda il colore, che si mantiene su valori simili in tutte le formulazioni. Le variazioni più evidenti riguardano invece aroma, consistenza e giudizio complessivo. In particolare, il campione con 50% di farina di farro fermentato con lievito madre e lievito di birra mostra una consistenza più elevata e uno dei giudizi complessivi più alti,

verosimilmente grazie alla maggiore produzione di gas e allo sviluppo volumetrico favorito dal lievito di birra. Un elemento rilevante emerso dall'analisi è la sostanziale vicinanza dei profili sensoriali dei campioni "75% farina di farro con solo lievito madre" e "50% farina di farro con lievito madre e lievito di birra". I due prodotti presentano infatti valori simili in termini di aroma, colore e giudizio complessivo, collocandosi entrambi su livelli medio-alti di gradimento. Sebbene differiscano per sistema di fermentazione e composizione della miscela farinosa, i due campioni raggiungono un equilibrio sensoriale comparabile: nel primo caso l'aroma e la complessità derivano prevalentemente dalla fermentazione naturale, mentre nel secondo la presenza del lievito di birra compensa la minore percentuale di farro garantendo una buona struttura e una percezione gustativa equilibrata. Questa convergenza nei risultati sensoriali suggerisce che le due formulazioni rappresentino due strategie tecnologiche differenti ma ugualmente efficaci per ottenere un prodotto sensorialmente apprezzato: da un lato un pane con elevato contenuto di farro valorizzato dalla fermentazione naturale, dall'altro una formulazione con percentuale inferiore di farro ma supportata da una fermentazione mista capace di migliorare le caratteristiche strutturali. Alla luce di tali risultati, la prosecuzione della sperimentazione è stata quindi focalizzata su queste due tipologie di prodotto, in quanto rappresentano le soluzioni che hanno mostrato il miglior compromesso tra caratteristiche sensoriali e potenziale tecnologico, consentendo al contempo di mantenere due approcci produttivi distinti: uno basato su un'elevata valorizzazione del farro e della fermentazione naturale e uno orientato a una maggiore struttura e sviluppo del prodotto.

- Trasferimento tecnologico: dal laboratorio al panificio

L'immagine rappresenta la fase di trasferimento tecnologico delle conoscenze sviluppate in laboratorio verso l'applicazione in ambito produttivo presso l'attività commerciale. In questa fase i risultati ottenuti durante la sperimentazione sono stati tradotti in indicazioni operative destinate al panificio, con l'obiettivo di verificare la riproducibilità del processo in un contesto reale di produzione. In particolare, all'attività commerciale sono state fornite le farine selezionate durante la fase sperimentale, definite sulla base delle precedenti analisi tecnologiche e delle prove di panificazione. Contestualmente è stata trasferita la procedura di gestione del lievito madre, comprensiva delle modalità di rinfresco, dei rapporti tra farina, acqua e lievito e delle condizioni di fermentazione necessarie per mantenere stabile l'attività microbica e le caratteristiche fermentative della coltura. Oltre alla gestione del lievito madre è stata condivisa anche la procedura di produzione del pane, nella quale sono state riportate le fasi operative del processo di panificazione, incluse le modalità di impasto, i tempi di fermentazione, le operazioni di formatura e le condizioni di cottura. L'insieme di queste indicazioni ha costituito il protocollo produttivo trasferito al panificio, permettendo di replicare su scala artigianale le condizioni definite durante la sperimentazione. Sulla base di tali indicazioni, l'attività commerciale ha quindi provveduto alla produzione delle due tipologie di pane individuate come più promettenti nelle prove precedenti, ovvero il pane contenente il 75% di farina di farro fermentato con solo lievito madre e il pane contenente il 50% di farina di farro ottenuto mediante fermentazione con lievito madre e lievito di birra. Questa fase ha consentito di verificare l'applicabilità pratica delle formulazioni e del processo produttivo in un contesto operativo reale, rappresentando il passaggio finale del percorso di sviluppo e validazione del prodotto.

Successivamente alla fase di trasferimento tecnologico, la produzione è stata realizzata in coordinazione tra il panificio e i soggetti coinvolti nel progetto, con l'obiettivo di verificare il comportamento delle due formulazioni selezionate in un contesto produttivo reale e raccogliere una valutazione diretta da parte dei consumatori. In particolare, sono state prodotte le due tipologie di pane individuate nelle fasi precedenti della sperimentazione: il pane contenente il 50% di farina di farro ottenuto mediante fermentazione con lievito madre e lievito di birra e il pane contenente il 75% di farina di farro fermentato esclusivamente con lievito madre. Le produzioni sono state effettuate seguendo le procedure operative definite durante la fase di sviluppo, al fine di garantire la coerenza con il protocollo sperimentale e la comparabilità tra i prodotti ottenuti. Al termine della produzione è stato organizzato un evento presso la cooperativa Garfagnana durante il quale è stata condotta una valutazione di preferenza tra i due pani realizzati. L'attività ha previsto la presentazione dei prodotti ai partecipanti e la raccolta delle loro preferenze attraverso un semplice questionario, finalizzato a individuare quale delle due tipologie risultasse maggiormente apprezzata. Dallo spoglio dei risultati raccolti è emersa una chiara preferenza per il prodotto identificato come prodotto B, corrispondente al pane contenente il 75% di farina di farro fermentato esclusivamente con lievito madre. Questo campione ha ottenuto il 91% delle preferenze espresse dai partecipanti, evidenziando un elevato gradimento rispetto all'altra tipologia testata. Il risultato conferma quindi l'interesse verso un prodotto caratterizzato da un'elevata presenza di farro e da un processo di fermentazione naturale, elementi che contribuiscono sia al profilo sensoriale sia alla percezione di qualità da parte dei consumatori.

Figura 11. Le due tipologie di pane prodotto con scheda di valutazione annessa.



A. 50% farro con Lievito madre e lievito di birra

B. 75% farro con solo Lievito madre

Nel corso del progetto è stato possibile sviluppare e stabilizzare un lievito madre liquido idoneo alla produzione di pane a base di farina di farro. Grazie all'impiego di ceppi microbici selezionati e alla gestione del lievito attraverso rinfreschi continui e controllati, è stata ottenuta una coltura stabile nel tempo, caratterizzata da un comportamento fermentativo regolare e riproducibile. Il monitoraggio giornaliero effettuato durante la fase di mantenimento del lievito madre, mediante la misurazione dei principali parametri chimici e fermentativi, ha consentito di confermare la stabilità della coltura e di verificare l'efficacia della procedura di rinfresco adottata. I risultati ottenuti hanno dimostrato come il protocollo di gestione definito sia in grado di garantire condizioni favorevoli allo sviluppo e al mantenimento del microbiota caratteristica del lievito madre. Le successive prove di panificazione hanno permesso di verificare la fattibilità del processo produttivo sviluppato, inizialmente in scala sperimentale e successivamente nel contesto reale di un panificio. Questo passaggio ha consentito di valutare la riproducibilità del protocollo e di confermare la sua applicabilità in ambito artigianale, nell'ottica del trasferimento tecnologico verso l'attività produttiva. Le analisi sensoriali condotte nel corso della seconda e della terza prova di panificazione hanno inoltre permesso di confrontare le diverse formulazioni e i sistemi di fermentazione testati, rendendo possibile l'individuazione della combinazione più efficace in termini di caratteristiche sensoriali e gradimento complessivo del prodotto.

Alla luce dei risultati ottenuti, il progetto ha quindi consentito di definire un protocollo produttivo specifico per la realizzazione del Pane di Farro della Garfagnana IGP. Tale protocollo integra le modalità di gestione del lievito madre, la formulazione dell'impasto e le condizioni operative del processo di panificazione, fornendo indicazioni tecniche utili per la produzione di un prodotto coerente con le caratteristiche qualitative e identitarie del territorio.