



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

**POPOLAZIONI EVOLUTIVE DI FRUMENTO TENERO:
VALUTAZIONE QUALI-QUANTITATIVA IN DUE REGIONI DEL
CENTRO ITALIA**

*EVOLUTIONARY POPULATIONS OF BREAD WHEAT: QUALITATIVE AND QUANTITATIVE
EVALUATION PERFORMED IN TWO REGIONS OF CENTRAL ITALY*

TIPO TESI: SPERIMENTALE

**Studente:
DARIO PERFETTI**

**Relatore:
PROF. STEFANO TAVOLETTI**

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

Elenco delle tabelle.....	3
Introduzione	5
Capitolo 1 Il miglioramento genetico classico	7
Capitolo 2 Miglioramento genetico e variabilità genetica	9
Capitolo 3 Definizione di miscugli e popolazioni	13
3.1. Miscugli	14
3.2. Popolazioni.....	14
Capitolo 4 Il miglioramento genetico partecipativo.....	16
Capitolo 5 Il miglioramento genetico evolutivo.....	19
Capitolo 6 Selezione entro le popolazioni evolutive.....	23
Capitolo 7 Obiettivi della presente tesi.....	25
Capitolo 8 Materiali e Metodi	26
8.1 Prove Sperimentali.....	26
8.2 Caratteristiche del suolo nelle aree di studio	28
8.3 Popolazioni Evolutive utilizzate.....	29
Capitolo 9 Analisi dei dati	32
9.1 Produzione di granella	32
9.2 Analisi qualitative.....	33
Capitolo 10 Risultati e Discussione.....	34
10.1 Prova 2022 – UNIVPM: Produzione e contenuto proteico.....	34
10.2 Prova 2023 – UNIVPM: Produzione e contenuto proteico.....	36
10.3 Prova 2024 – UNIVPM-Abruzzo: produzione e contenuto proteico	37
10.4 Analisi Multivariata (Parametri qualitativi)	41
Capitolo 11 Prove di Panificazione	45
Conclusioni	49
Bibliografia	51

Elenco delle tabelle

Tabella 8-0-1 Analisi del suolo eseguite nelle località dove sono state effettuate le prove sperimentali	28
Tabella 10.1-1 Prova 2022 - UNIVPM. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA).	34
Tabella 10.1-2 Prova 2022 - UNIVPM. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey)...	34
Tabella 10.1-3 Prova 2022 - Regione Abruzzo. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA).	35
Tabella 10.1-4 Prova 2022 - Regione Abruzzo. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey)	35
Tabella 10.2-1 Prova 2023 – UNIVPM. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA).	37
Tabella 10.2-2 Prova 2023 - UNIVPM. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey)...	37
Tabella 10.3-1 Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA).....	38
Tabella 10.3-2 Prove 2024. Confronti tra le medie (test t di Student, $p < 0,05$) e confronti multipli (Test HSD) tra le medie delle 3 popolazioni evolutive relative.....	39
Tabella 10.4-1 Coefficienti di scoring relativi alle più importanti funzioni discriminanti (D.F. 1 e D.F. 2)	42
Tabella 10.4-2 Analisi discriminante: Numero di Campioni classificati erroneamente	43
Tabella 10.4-3 Valori medi relativi alle singole accessioni e registrati per i caratteri qualitativi identificati come più discriminanti dall'analisi discriminante	44

Elenco delle figure

Figura 1: Differenza tra miscugli e popolazioni.	13
Figura 2: Selezione entro le popolazioni evolutive.....	23
Figura 3: Campo sperimentale Abruzzo, Azienda Agricola Gaetano Carboni,13-3-2024	30
Figura 4: Campo sperimentale Abruzzo, Azienda Agricola Gaetano Carboni 26-4-2024	30
Figura 5: Floriddia - Campo Abruzzo, azienda Gaetano Carboni. 28-6-2024.....	31
Figura 6: Trebbiatura con trebbia fissa	31
Figura 7 Li Rosi, Mix Piceno, Floriddia. Univpm 29-05-23	37
Figura 8: Dati relativi alle produzioni e al contenuto proteico rilevati nel 2024 sulle 3 popolazioni evolutive nelle 2 località di prova.....	40
Figura 9 Li Rosi, Piceno, Floriddia. Univpm 27-05-2024	40
Figura 10 Li Rosi, Piceno, Floriddia. Azienda Gaetano Carboni, 27-5-2024.....	41
Figura 11 Analisi Discriminante	42
Figura 12 Popolazione Floriddia.....	45
Figura 13 Popolazione Mix Piceno	46
Figura 14 Popolazione Li Rosi	46
Figura 15 Pane prodotto con mix di farine moderne	47

Introduzione

L'agricoltura moderna ha subito una trasformazione radicale con la Rivoluzione Verde (*Green Revolution*), avviata a metà del XX secolo. Infatti, la riscoperta delle leggi di Mendel ha stimolato, a partire dalla fine del XIX secolo, lo sviluppo di programmi di miglioramento genetico basati sulla valutazione di fonti di germoplasma collezionate in tutto il mondo. Dapprima sono stati applicati schemi di selezione di genotipi superiori entro le popolazioni locali (*landraces*) collezionate, e successivamente si è fatto ricorso all'incrocio seguito da selezione entro le popolazioni segreganti. Inizialmente l'attenzione è stata rivolta su specie prevalentemente autogame di importanza fondamentale per l'alimentazione umana a livello mondiale: riso e frumento tenero. Da sottolineare il conferimento del Premio Nobel per la Pace a Norman Borlaug nel 1970 per la selezione di varietà di frumento. Successivamente, l'attenzione si è rivolta anche a specie allogame, tra cui soprattutto il mais, con lo sviluppo di programmi di miglioramento genetico mirati alla costituzione di varietà ibride.

La Rivoluzione Verde non ha comportato solo l'introduzione di varietà ad alta resa (Milach e Federizzi, 2001; Hedden, 2003; De Groote, 2023), ma ha determinato contemporaneamente l'adozione di nuove tecniche colturali basate su un maggior uso di fertilizzanti e agrofarmaci, che complessivamente hanno permesso un aumento consistente della produttività agricola. Infatti, obiettivo principale della Rivoluzione Verde è stato quello di garantire la sicurezza alimentare per una popolazione mondiale in rapida crescita, e questo modello ha contribuito in modo significativo alla riduzione della fame a livello mondiale, con particolare attenzione per i paesi in via di sviluppo (Liu, 2020). Infatti, nel periodo della Rivoluzione Verde le stime indicano che i guadagni di produttività derivanti dal miglioramento genetico siano stati dell'1% annuo per il frumento, dello 0,8% per il riso, dello 0,7% per il mais e dello 0,5-0,6% per sorgo e miglio. Nel 1998, il 63% delle terre coltivate nei paesi in via di sviluppo era dedicato a varietà moderne, ma con notevoli disparità geografiche: 82% in Asia e 27% in Africa (Pingali, 2012). Inoltre, la diffusione su larga scala delle varietà migliorate ha determinato un notevole incremento della produttività agricola: tra il 1960 e il 2000, le rese sono aumentate del 208% per il grano, del 109% per il riso e del 157% per il mais. Le innovazioni nelle tecniche agricole, come il miglioramento

delle varietà ad alta resa, hanno contribuito a una maggior distribuzione delle coltivazioni, particolarmente nel sistema riso-grano nelle pianure indo-gangetiche, dal Pakistan al Bangladesh (Pingali, 2012). Inoltre, l'adozione delle tecnologie della Rivoluzione Verde ha generato una diminuzione dei prezzi reali degli alimenti. Si stima che, senza questi interventi, i prezzi mondiali dei prodotti alimentari sarebbero stati dal 35% al 65% più alti.

Tuttavia, nonostante gli ottimi risultati in termini di produttività, sono emerse delle criticità (Evenson e Gollin, 2003; Pingali 2012):

- **Povertà:** la povertà e l'insicurezza alimentare continuano a rappresentare un problema, specialmente nelle aree marginali di Asia e Africa sub-sahariana, dove le tecnologie della Rivoluzione Verde non sono ancora state adottate efficacemente.
- **Nutrizione:** Sebbene ci sia stato un aumento della disponibilità calorica, l'assunzione di micronutrienti è rimasta carente. La produzione concentrata su poche varietà selezionate su larga scala di colture principali come il riso, il frumento e il mais, quindi una riduzione della diversità genetica in campo, ha portato a una diminuzione della diversità alimentare.
- **Impatto ambientale:** l'intensificazione agricola ha salvato nuove terre dalla conversione in terre agricole, ma ha anche causato degrado ambientale, come l'erosione del suolo e l'inquinamento da fertilizzanti nelle falde.

Capitolo 1

Il miglioramento genetico classico

I risultati positivi ottenuti dalla Rivoluzione Verde hanno quindi portato allo sviluppo dei metodi di miglioramento genetico classico, che successivamente sono stati potenziati dallo sviluppo della genetica molecolare, dall'identificazione e utilizzo dei marcatori molecolari, da tecniche di selezione basate sull'aumento delle conoscenze di genomica delle specie agronomicamente più rilevanti, ed infine dallo sviluppo dell'ingegneria genetica seguita di recente dalle applicazioni di Genome Editing.

Il miglioramento genetico classico è costituito da un insieme di tecniche che ha contribuito, sin dalle prime pratiche agricole, a migliorare le caratteristiche delle piante coltivate. L'obiettivo di un programma di miglioramento genetico è quello di ottenere varietà con caratteri desiderabili come resistenza alle malattie, tolleranza agli stress ambientali, e maggiore produttività, e caratteristiche qualitative migliorate, come la qualità nutrizionale e la conservabilità (Barcaccia e Falcinelli, 2012).

Nel miglioramento genetico è importante conoscere il sistema riproduttivo delle diverse specie, in quanto questo aspetto determina la scelta dei metodi di selezione e delle tipologie varietali verso cui puntare. In base al sistema riproduttivo, le specie possono essere suddivise in:

- Specie autogame: queste specie si riproducono prevalentemente tramite autofecondazione. L'autofecondazione determina che queste specie sono caratterizzate da genotipi altamente omozigoti. Quindi, obiettivo degli schemi di miglioramento genetico classico è l'ottenimento di varietà basate sulla Linea Pura (Linea Omozigote) e quindi geneticamente omogenee. Ciò consente una fissazione dei caratteri selezionati in varietà che sono geneticamente uniformi, portando all'ottenimento di coltivazioni caratterizzate da uniformità genetica (Barcaccia e Falcinelli, 2012).
- Specie allogame: si riproducono principalmente per fecondazione incrociata. Le popolazioni sono caratterizzate da un alto grado di eterozigosi. Il miglioramento

genetico tende alla costituzione delle varietà ibride, ottenute mediante incrocio tra linee inbred caratterizzate da alta attitudine alla combinazione (Barcaccia e Falcinelli, 2012). La tipologia più diffusa è l'ibrido semplice, ossia una varietà monogenotipica ma caratterizzata da elevata eterozigosi. Per questo l'agricoltore deve acquistare il seme ogni anno sfruttando a pieno l'effetto dell'eterosi (vigore ibrido). Quindi, anche relativamente alle specie allogame le coltivazioni sono caratterizzate da colture geneticamente uniformi (variabilità genetica espressa = 0).

Capitolo 2

Miglioramento genetico e variabilità genetica

Attualmente, le varietà ottenute da programmi di miglioramento genetico sono prevalentemente caratterizzate da uniformità genetica (varietà monogenotipiche). Infatti, l'uniformità genetica è ritenuta un prerequisito fondamentale che le varietà devono possedere per motivi legati sia alla performance agronomica che alle caratteristiche qualitative del raccolto. Oggi questo concetto è stato rivisto in quanto la presenza di variabilità genetica potrebbe rappresentare un vantaggio, e non uno svantaggio, soprattutto per lo sviluppo di sistemi agrari più sostenibili.

Infatti, viste le condizioni agricole diverse e il cambiamento climatico in atto che rendono l'agricoltura sempre più complessa, l'utilizzo di varietà dotate di un'alta diversità genetica, come le popolazioni evolutive, può rappresentare una possibilità interessante per promuovere sistemi agricoli più resilienti e sostenibili (Döring, 2021). Le popolazioni evolutive, frutto di selezioni naturali e artificiali, sviluppandosi ed evolvendosi nel loro ambiente sono in grado di adattarsi progressivamente alle condizioni ambientali locali, offrendo un vantaggio in termini di diversità genetica e resistenza agli stress (Ceccarelli & Grando 2024).

La diversità genetica è una risorsa essenziale per la resilienza e la sostenibilità dei sistemi agricoli. Le colture con una maggiore variabilità genetica riescono a adattarsi meglio ai cambiamenti climatici, come l'aumento delle temperature e la variabilità delle precipitazioni, nonché a sviluppare resistenza agli attacchi di patogeni e insetti parassiti (Ceccarelli & Grando, 2024). Questo tipo di diversità svolge anche un ruolo critico per mantenere un'agricoltura produttiva e resistente in ambienti sfavorevoli e marginali, riducendo così il rischio di perdite di raccolto causate da fattori biotici e abiotici (Döring, 2021).

La diversità genetica, le varietà locali e i metodi di breeding partecipativo ed evolutivo possono quindi migliorare l'adattamento delle colture alle condizioni specifiche degli agricoltori e fornire una maggiore stabilità produttiva nel tempo. (Van Frank et al, 2020).

In particolare, l'agrobiodiversità, che comprende la diversità genetica delle piante coltivate, delle specie animali e dei microrganismi, è utile per assicurare una maggiore stabilità ecologica e un migliore rendimento delle colture nel lungo termine. La coltivazione di varietà dotate di una maggiore diversità genetica, come le popolazioni evolutive, permette un'evoluzione continua delle piante coltivate in risposta ai cambiamenti ambientali e alla pressione selettiva (Van Frank et al., 2020). Ciò significa che queste popolazioni si evolvono e si adattano continuamente all'ambiente locale, garantendo una forma di adattamento dinamico alle specifiche condizioni pedoclimatiche e alle esigenze degli agricoltori.

Inoltre, la diversità genetica ha un impatto diretto sulla sicurezza alimentare e sulla nutrizione. La coltivazione di varietà caratterizzate da variabilità genetica permette di ottenere una produzione più stabile e distribuita nel tempo, aumentando la disponibilità di alimenti anche in periodi di crisi climatica o di ampia diffusione di fitopatie (Pingali, 2012). Un sistema agricolo che incentiva l'agrobiodiversità promuove, inoltre, un'alimentazione più equilibrata e diversificata, poiché permette di coltivare e consumare una varietà più ampia di alimenti, ricchi di micronutrienti essenziali (Van Frank et al., 2020). Questo è particolarmente importante in contesti in cui la dieta è limitata a poche colture di base, come riso, mais e frumento, che spesso mancano di elementi nutrizionali importanti.

Dal punto di vista ecologico, la diversità genetica contribuisce anche alla salute del suolo e alla gestione sostenibile delle risorse. Le colture geneticamente diversificate possono aiutare a migliorare la struttura e la fertilità del suolo, nonché a ridurre la necessità di input come fertilizzanti e agrofarmaci, che in alcuni casi possono causare degrado del suolo e inquinamento delle falde acquifere (Döring, 2021; Ceccarelli & Grando, 2024). In questo senso, l'uso delle popolazioni evolutive rappresenta una strategia promettente per la transizione verso un'agricoltura più ecologica, capace di ridurre i costi di produzione e i rischi ambientali (Pingali, 2012).

L'approccio del breeding partecipativo ed evolutivo, che permette agli agricoltori di selezionare le varietà più adatte alle loro specifiche esigenze, può essere utile nello sviluppo di varietà con maggiore adattabilità e diversità genetica. Il coinvolgimento attivo degli agricoltori nel processo di selezione favorisce la creazione di varietà che rispondono meglio alle condizioni locali e alle necessità agronomiche specifiche, migliorando quindi la resilienza e la sostenibilità del sistema agricolo (Ceccarelli & Grando, 2024).

Va sottolineato inoltre anche il potenziale impatto economico e di sostenibilità delle popolazioni evolutive. Grazie alla loro adattabilità e alla minore necessità di input esterni (come agrofarmaci e fertilizzanti), queste popolazioni possono ridurre i costi di produzione per gli agricoltori, migliorando al contempo la sostenibilità ambientale. L'utilizzo di popolazioni evolutive può contribuire a migliorare la fertilità del suolo, la gestione delle risorse idriche e la salute degli ecosistemi agricoli, rappresentando una delle possibili soluzioni per affrontare le future criticità dell'agricoltura. (Ceccarelli & Grando, 2019).

Uno studio di Bertholdsson e Finckh (2016) che ha confrontato tre popolazioni di frumento tenero gestite in biologico e convenzionale, seguite per cinque generazioni da F6 a F11, offre risultati interessanti sull'adattamento e sulle prestazioni delle popolazioni evolutive di frumento in contesti biologici e convenzionali.

Uno dei principali risultati emersi è che le popolazioni evolutive di frumento in sistemi di agricoltura biologica, hanno mostrato un incremento del vigore iniziale rispetto alle popolazioni convenzionali. Le caratteristiche misurate, come la lunghezza e il peso delle radici e dei germogli, erano significativamente superiori nelle popolazioni biologiche alla generazione F11 rispetto alla generazione F6. Questa differenza evidenzia come, attraverso la selezione naturale, il frumento coltivato in condizioni biologiche sviluppi un apparato radicale e un accrescimento iniziale maggiore, adattandosi meglio a contesti a basso input di fertilizzanti e con una disponibilità limitata di azoto.

L'aumento del vigore iniziale nelle popolazioni coltivate in agricoltura biologica sembra essere strettamente connesso all'efficienza nell'uso dell'azoto. Nei contesti biologici, l'azoto è meno disponibile rispetto ai campi convenzionali, poiché deriva dalla mineralizzazione della materia organica, processo lento che dipende inoltre dalle temperature primaverili. Questo tipo di adattamento aumenta la competitività della pianta verso le infestanti, dato che un sistema radicale più sviluppato permette al frumento di assorbire più nutrienti e di svilupparsi più rapidamente, riducendo lo spazio e le risorse a disposizione delle piante infestanti.

Nel corso delle generazioni, le popolazioni coltivate in regime di agricoltura biologica hanno mostrato un incremento del peso dei mille semi. Questo aumento di dimensioni della cariosside è correlato positivamente con la lunghezza del fusto, suggerendo che le piante più alte, tipicamente presenti nei sistemi biologici, tendono anche a produrre semi più grandi. La maggiore dimensione della cariosside potrebbe favorire il vigore iniziale. Tuttavia, gli autori notano che il peso dei mille

semi elevato nei sistemi biologici potrebbe riflettere non solo la genetica, ma anche le migliori condizioni del suolo nei campi biologici rispetto a quelli convenzionali.

Uno degli obiettivi delle popolazioni evolutive è mantenere un'elevata variabilità genetica, che garantisca adattabilità a lungo termine e resistenza agli stress ambientali. I risultati dello studio dimostrano che la diversità genetica, misurata tramite l'indice di Shannon-Weaver, è rimasta pressoché stabile tra le generazioni F6 e F11 (H lunghezza dei culmi compreso tra 2,34 e 2,52), senza differenze significative tra sistemi biologici e convenzionali. Ciò indica che il sistema di selezione naturale preserva la variabilità genetica nelle popolazioni evolutive, mantenendo il potenziale adattativo di lungo periodo.

I risultati di Bertholdsson e Finckh confermano che le popolazioni evolutive di frumento possono costituire una strategia efficace per l'agricoltura biologica e a basso impatto ambientale. Queste popolazioni, grazie al miglioramento del vigore iniziale e all'efficienza nell'uso dei nutrienti, possono essere un'alternativa interessante alle varietà tradizionali, particolarmente in contesti dove l'uso di fertilizzanti e di altri input chimici è limitato. La loro capacità di adattamento le rende adatte a sistemi agricoli sostenibili, dove la diversità genetica è un requisito fondamentale.

Capitolo 3

Definizione di miscugli e popolazioni

Per comprendere i principi e le modalità che sono alla base della costituzione di varietà caratterizzate da una larga base genetica, in alternativa alle varietà mono-genotipiche, è necessario evidenziare le differenze che sussistono tra “Miscugli” e “Popolazioni”.

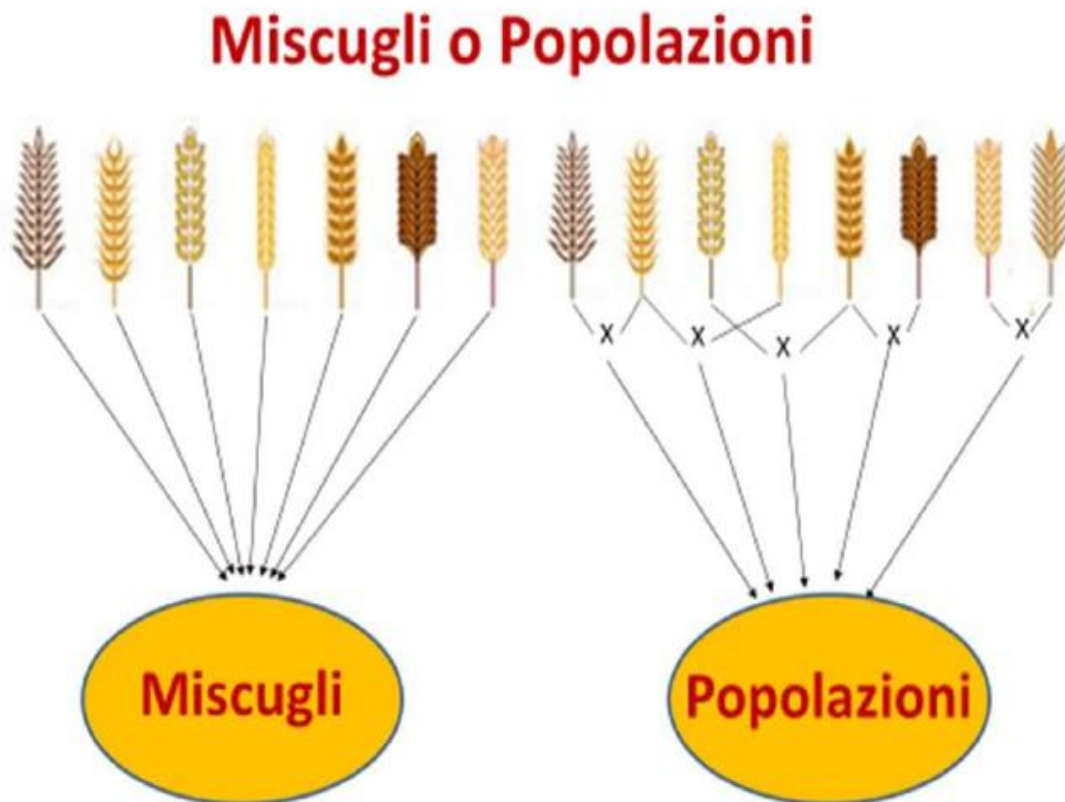


Figura 1: Differenza tra miscugli e popolazioni. Linee guide per il mantenimento delle popolazioni evolutive da parte degli agricoltori. Ceccarelli, 2013

3.1. Miscugli

Un miscuglio si ottiene mescolando una certa quantità (in genere lo stesso numero) di semi di diverse varietà della coltura considerata.

Un miscuglio può essere statico o dinamico.

- **Miscuglio statico:** si costituisce mescolando un numero fisso di semi di ciascun componente all'inizio di ogni stagione in modo che la composizione del miscuglio non cambi nel tempo. Sono statici perché, anche se tali miscugli sono geneticamente più complessi delle monoculture e possano quindi essere soggetti a selezione naturale, non catturano gli effetti della selezione naturale che si verificano nel campo favorendo alcuni componenti e sfavorendone altri; quindi la composizione del miscuglio non cambia negli anni successivi.
- **Miscuglio dinamico:** è un miscuglio in cui parte del seme prodotto in un determinato anno viene utilizzato come seme per la coltura successiva; quindi il miscuglio incorpora sia gli effetti della selezione naturale che quelli degli incroci spontanei.

L'evoluzione dei miscugli dinamici dipende molto dal sistema riproduttivo della specie. Nelle specie autogame, se il miscuglio iniziale è composto da varietà ciascuna delle quali geneticamente uniforme, il potenziale evolutivo dipenderà esclusivamente dalla percentuale (generalmente modesta) di incrocio naturale e conseguente segregazione e ricombinazione. Nel caso del frumento, se si mescolano varietà locali (landraces) che probabilmente non sono geneticamente tanto uniformi quanto le varietà moderne, la velocità di evoluzione potrebbe essere maggiore.

La differenza diventa molto grande se si mescolano varietà di specie a impollinazione incrociata come il mais, e ancora più consistente se il miscuglio viene costituito partendo da ibridi F1. In questi casi, il seme raccolto alla fine del primo anno proviene già da una popolazione eterogenea, a causa della forte incidenza di incroci, specie in quelle che presentano auto-sterilità. Se si utilizzano ibridi F1, oltre all'effetto degli incroci, si aggiungono segregazione e ricombinazione, creando una popolazione con un elevato potenziale evolutivo.

3.2. Popolazioni

Una popolazione si forma mescolando semi ottenuti incrociando tra loro, in tutte le combinazioni possibili, un certo numero di varietà. Ogni anno, la popolazione viene propagata

utilizzando i semi prodotti l'anno precedente. Tali popolazioni sono note come bulk, composite cross, composites o popolazioni evolutive.

Grazie agli incroci naturali, alla segregazione, alla ricombinazione e alla selezione naturale, queste popolazioni si evolvono e si adattano progressivamente all'ambiente in cui sono coltivate.

La distinzione tra miscugli e popolazioni è cruciale per i seguenti motivi:

- I miscugli statici non si evolvono;
- I miscugli dinamici si evolvono, ma più lentamente rispetto alle popolazioni a causa della loro composizione genetica iniziale (miscugli di varietà relativamente uniformi) e del sistema riproduttivo della specie;
- Le popolazioni evolvono più velocemente dei miscugli dinamici poiché derivano da materiale altamente eterogeneo (popolazioni segreganti derivate da incroci).

Capitolo 4

Il miglioramento genetico partecipativo

Il miglioramento genetico partecipativo è un tipo di miglioramento genetico capace di aumentare le produzioni agricole a livello delle singole aziende, spesso aumentando l'agrobiodiversità.

Questo approccio sfrutta i vantaggi della selezione diretta nello stesso ambiente in cui la varietà verrà coltivata, insieme alla partecipazione degli agricoltori in tutte le decisioni critiche (Ceccarelli 2013). Ciò consente di selezionare varietà con una maggiore adattabilità ai cambiamenti climatici e alle specifiche condizioni locali.

Dove è stato praticato, il miglioramento genetico partecipativo ha avuto successo nell'aumentare le rese agricole e nel rispondere alle esigenze degli agricoltori in contesti marginali.

Un programma di miglioramento genetico si definisce partecipativo quando la selezione viene condotta nei campi degli agricoltori, con la loro partecipazione. Questo comprende la selezione partecipativa delle varietà, che consiste nella valutazione di un numero limitato di varietà (di solito meno di 10) nei campi degli agricoltori e con la loro partecipazione. (Ceccarelli & Grando, 2022)

La differenza sostanziale tra miglioramento genetico partecipativo e convenzionale sta nel fatto che quest'ultimo è un processo in cui le metodologie e gli obiettivi sono decisi esclusivamente dai ricercatori, senza la partecipazione diretta degli agricoltori, mentre nel primo le opinioni e le scelte di agricoltori e ricercatori hanno lo stesso peso (Ceccarelli & Grando, 2019).

Gli agricoltori, quindi, possono prendere decisioni chiave su diversi aspetti del programma, come identificare quali sono i caratteri importanti o che germoplasma usare.

Nella fase preparatoria del programma partecipativo è importante assicurarsi che la partecipazione sia la più inclusiva possibile, in modo che anche chi è tradizionalmente escluso, come donne e anziani, possa esprimere il suo parere.

Una volta decisa la struttura degli esperimenti (numero varietà, numero e grandezza parcelle), e fatta la semina, gli agricoltori fanno una prima selezione visiva, che consiste nell'esprimere in forma numerica, un parere su ogni varietà nell'esperimento.

Negli stessi campi i ricercatori misurano una serie di caratteri (es. altezza delle piante, lunghezza della spiga, dimensioni del seme) che sono considerati importanti dagli agricoltori. Infatti, a seconda del paese gli agricoltori possono dare diversa importanza a determinati caratteri.

Ad esempio, in Etiopia, gli agricoltori hanno dato priorità alla resistenza alla siccità e alle malattie fungine, mentre in Siria, è stata privilegiata la qualità del frumento per la produzione di pane.

I dati vengono analizzati con metodi statistici ed i risultati vengono tabulati in forme accessibili agli agricoltori. Successivamente si fanno delle riunioni in cui gli agricoltori consultano questi dati, e sulla base sia di ciò che hanno visto in campo, sia dei dati statistici, decidono in autonomia quali varietà scegliere e quali scartare.

Le varietà scelte vengono seminate l'anno successivo e il processo si ripete per quattro anni alla fine dei quali in ogni località rimangono da due a cinque varietà.

Ogni ciclo di selezione dura 4 anni per essere certi di trovare varietà capaci di soddisfare tutti gli anni: molti degli ambienti dove si fa questo lavoro sono caratterizzati da notevole variabilità climatica di anno in anno e se si facesse più rapidamente si rischierebbe di selezionare varietà che producono bene un anno, ma male l'anno seguente (Ceccarelli & Grandi, 2019).

Dal punto di vista scientifico le differenze tra miglioramento genetico partecipativo e convenzionale sono:

- Gli esperimenti vengono condotti in campo dagli agricoltori
- Le decisioni sono prese insieme da agricoltori e ricercatori
- Il processo può essere replicato ogni anno, in base alle risorse disponibili

Dove il miglioramento genetico partecipativo è stato praticato, vi è stato un grande impatto in termini di aumento della agrobiodiversità perché, anche quando nello stesso paese si seminano le stesse varietà di frumento, in località diverse verranno selezionate varietà diverse a causa delle differenze di clima, di terreno, di pratiche agronomiche e delle preferenze degli agricoltori. In questo modo si crea biodiversità nello spazio. Ma poiché il processo di selezione partecipativo è continuo, gli agricoltori hanno la possibilità in tempo relativamente breve, di individuare nuove

varietà, migliori di quelle selezionate qualche anno prima, e dunque si crea una notevole biodiversità nel tempo.

C'è quindi un ricambio varietale molto dinamico, che crea un ambiente ostile per malattie e insetti, e che proiettato nel tempo, consente di trovare varietà adattate al clima del futuro.

Questo tipo di biodiversità permette anche una maggiore resistenza alle malattie e alle infestazioni di parassiti, riducendo così l'uso di agrofarmaci e contribuendo alla sostenibilità del sistema agricolo (Ceccarelli & Grando, 2019).

Capitolo 5

Il miglioramento genetico evolutivo

La limitazione del miglioramento genetico partecipativo è che presuppone la presenza di un Istituto di Ricerca che accetti questa filosofia di ricerca e fornisca con continuità i materiali genetici da cui partire.

Inoltre, è fondamentale che tali Istituti possano collaborare attivamente con le comunità agricole per garantire che le varietà sviluppate siano realmente in linea con le necessità locali.

Il bisogno di superare questo limite e la necessità di trovare soluzioni rapide ed economiche al problema dell'adattamento delle colture ai cambiamenti climatici ha portato all'idea di creare dei grandi miscugli, sia mescolando incroci o vecchie varietà, oppure mescolando vecchie e nuove varietà e lasciando questi miscugli evolversi nelle condizioni del campo e con la tecnica agricola di riferimento: agricoltura biologica, convenzionale, ambienti aridi, terreni più o meno fertili. Questa strategia non solo promuove la biodiversità, ma permette anche di aumentare la resilienza delle coltivazioni in un contesto di crescente variabilità climatica (Ceccarelli, 2013).

Anche in questo caso la partecipazione degli agricoltori è centrale, infatti la composizione dei miscugli di partenza viene sempre stabilita insieme a loro. Il coinvolgimento degli agricoltori è cruciale per raccogliere conoscenze tradizionali e locali che possono essere fondamentali per il successo dei programmi di miglioramento.

A titolo di esempio nel 2008 è stata costituita una popolazione mescolando 1600 incroci diversi di orzo.

La popolazione è stata seminata in 20 campi in 5 paesi (Algeria, Siria, Giordania, Eritrea e Iran) ed ora è coltivata anche in diverse regioni italiane, a dimostrazione che le pratiche di miglioramento genetico evolutivo possano essere applicate in diversi contesti agricoli, portando a risultati interessanti (Ceccarelli & Grando, 2019).

La selezione naturale agisce su questa popolazione modificandola gradualmente e continuamente, facendone così fonte di nuovi tipi progressivamente meglio adattati.

Nel 2009 è stata costituita una popolazione di frumento duro e nel 2010 una di frumento tenero. Tutte queste popolazioni sono oggi coltivate in quasi tutte le regioni italiane (Ceccarelli & Grando, 2019).

I risultati di diverse prove hanno dimostrato che alcune caratteristiche, come produzione di granella, numero di semi per pianta e peso delle spighe, aumentano nel corso del tempo a causa della selezione naturale. Questi miglioramenti sono spesso associati a una maggiore efficienza nell'uso delle risorse, come acqua e nutrienti.

Tuttavia, la selezione naturale non migliora la qualità industriale (panificatoria o del malto). Quindi se questi caratteri sono considerati importanti, la popolazione di partenza li deve già possedere.

Le popolazioni evolutive non seguono un percorso evolutivo fisso, ma tendono a svilupparsi in modi diversi a seconda dell'ambiente e delle pressioni selettive a cui sono sottoposte.

È stato riscontrato che le popolazioni evolutive si evolvono in diversi modi:

- 1) Adattano la fioritura alle condizioni in cui vengono coltivate, quindi cambiano il momento di maturazione a seconda del clima dell'area di riferimento (Ceccarelli et al, 2010).
- 2) Aumentano la produzione nel corso delle generazioni successive, permettendo lo sviluppo di piante più resistenti a fattori di stress come siccità, parassiti e malattie (Bocci et al, 2020).
- 3) Aumentano la stabilità di produzione nel tempo, perché si adattano sempre meglio, anno dopo anno, al luogo in cui esse vengono coltivate (Murphy et al, 2005).
- 4) Diventano più resistenti alle malattie grazie alla loro diversità di composizione, rendendo meno necessario l'utilizzo di agrofarmaci. (Finckh et al, 2015)
- 5) Diventano più alte: in alcuni contesti agricoli può essere considerato un difetto, in quanto causa di maggior allettamento, ma in agricoltura biologica è spesso un vantaggio perché le piante alte controllano meglio le infestanti. (Ceccarelli & Grandi, 2019)

Le popolazioni evolutive sono arrivate in Italia grazie alle attività dell'Associazione italiana per l'agricoltura biologica (AIAB) e a Rete Semi Rurali all'interno del progetto SOLIBAM (Strategies for Organic and Low Input Integrated Breeding and Management), svoltosi tra il 2010 e il 2014.

Il processo di espansione di questo frumento è stato monitorato da Rete Semi Rurali, che ne continua a facilitare la diffusione e ad un altro progetto europeo chiamato DIVERSIFOOD,

iniziato nel 2015 e terminato nel 2019, che poneva l'accento sulle relazioni tra diversità in campo e qualità del cibo.

Nell'ambito del progetto DIVERSIFOOD, è stata avviata la trasformazione delle popolazioni evolutive in pane e pasta.

Dopo essere stata introdotta dalla Siria, le due principali aree italiane in cui la popolazione di frumento tenero si è diffusa inizialmente sono state la Sicilia e la Toscana, dove hanno proseguito separatamente il loro processo di evoluzione.

Le due aziende della Sicilia e della Toscana hanno distribuito il loro seme ad altre aziende permettendo poi la diffusione in tutte le regioni italiane.

In Sicilia, la popolazione evolutiva è commercializzata oggi come Furat Li Rosi, dal nome del fiume Eufrate e dal produttore Giuseppe Li Rosi che, nel 2010, ha seminato per primo questa popolazione. Dal 2018, è disponibile come semente certificata dal CREA-DC.

In Sicilia, tra il 2021 e il 2024, l'università di Catania, insieme ad alcuni agricoltori, ha condotto un progetto sulla popolazione evolutiva siciliana chiamato Mixwheat, che ha studiato in maniera più approfondita le capacità di adattamento del Furat in quattro aree della Sicilia (pianura, collina, montagna e costa) e ha favorito la creazione di piccole filiere locali per la trasformazione del frumento.

La popolazione toscana è commercializzata invece come Furat Floriddia, dal nome del produttore che l'ha coltivata per primo.

Negli anni si è visto che la popolazione Floriddia ha avuto performance migliori nel suo ambiente di selezione, la Toscana, mentre li Rosi ha dato migliori risultati in Sicilia e nelle zone mediterranee caldo - aride (Bussi, 2017).

Infatti, la popolazione evolutasi in Sicilia, dopo cinque anni dalla sua introduzione era molto diversa da quella evolutasi in Toscana.

In prove effettuate coltivando le due popolazioni una accanto all'altra in Sicilia, il risultato è stato quello che quella evoluta nella regione produceva di più di quella evoluta in Toscana, e viceversa in prove effettuate in Toscana, quella evoluta in regione produceva di più di quella coltivata in Sicilia (Ceccarelli & Grando, 2019).

Inoltre, nella coltivazione effettuata in Toscana, l'agricoltore oltre a far evolvere la popolazione mediante la selezione naturale, aveva in una parte dei campi anche selezionato delle

spighe scegliendo quelle che considerava migliori, e le aveva trebbiate a parte. Questa granella era stata poi riseminata negli stessi campi in Toscana ed è sempre stata quella più produttiva. L'agricoltore aveva quindi accelerato ed indirizzato il processo di evoluzione grazie alle scelte effettuate durante la selezione in campo.

Le farine prodotte da questo frumento vengono in alcuni casi vendute con il nome commerciale di "miscuglio di Aleppo" per richiamare l'origine siriana della popolazione evolutiva e sono utilizzate per la panificazione in molti forni italiani.

Capitolo 6

Selezione entro le popolazioni evolutive

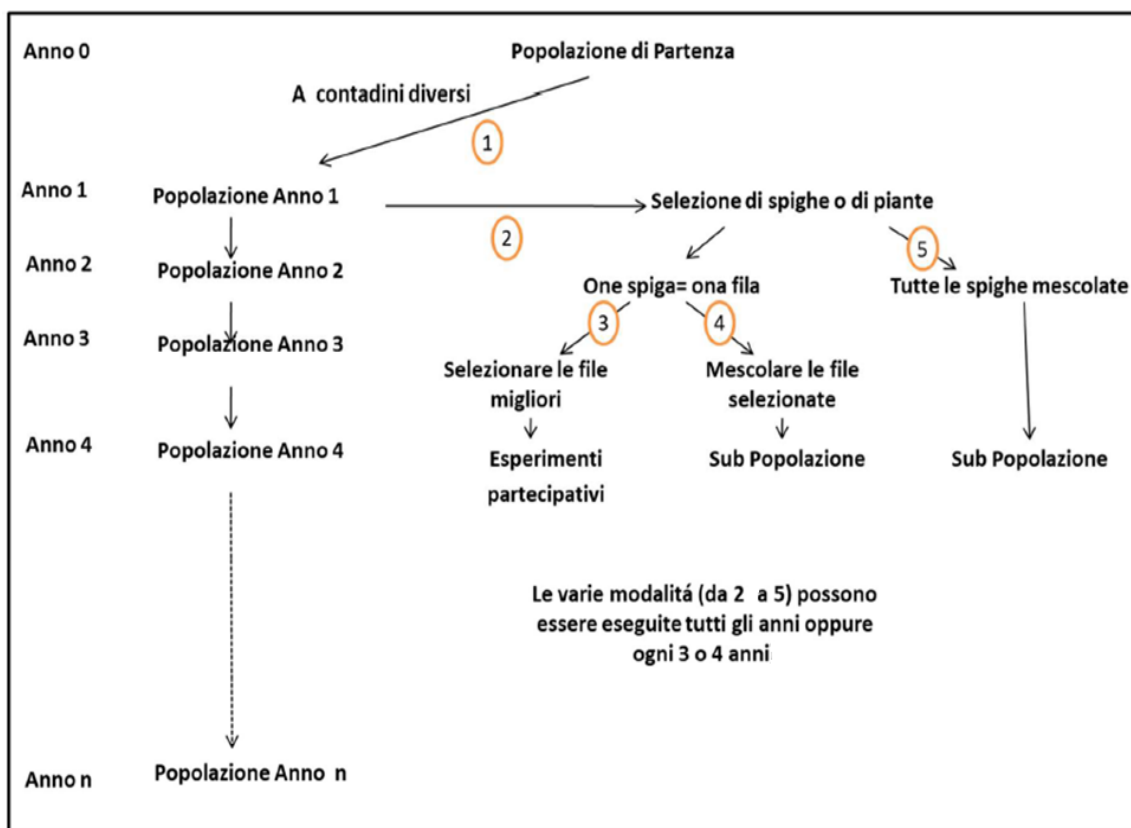


Figura 2: Produrre i propri semi Cecarelli, 2013

Mentre la popolazione si evolve (a sinistra, nella figura), si possono selezionare singole spighe (2) che possono essere mescolate (5) per costituire una sub-popolazione migliorata. Le spighe possono essere anche tenute separate, trebbiate e utilizzate per seminare spighe-fila, ovvero il seme di una spiga viene seminato in una fila (3). Le file, organizzate in un disegno sperimentale, possono essere moltiplicate e il seme ottenuto può entrare a far parte di un programma di miglioramento genetico partecipativo. A questo scopo si possono usare tutte le file o soltanto le

migliori. In alternativa al percorso (3), il seme raccolto sulle file migliori può essere mescolato e costituire una sub-popolazione (4). Nella costituzione di sub-popolazioni, il metodo (4) è atteso essere migliore di (5) perché in (4) la selezione si basa su famiglie (le spighe-fila) piuttosto che su individui (le spighe). La sub-popolazione (migliorata) potrebbe alla fine diventare gradualmente la coltura degli agricoltori. Tuttavia, è consigliabile mantenere un'area sufficientemente grande della popolazione di base che ha una base genetica molto più ampia e quindi un potenziale evolutivo più elevato.

Capitolo 7

Obiettivi della presente tesi

Questo lavoro di tesi si concentra sul confronto di diverse varietà di frumento tenero selezionate in un contesto di agricoltura partecipativa. Le popolazioni evolutive oggetto di studio sono state inizialmente sviluppate in Siria e Iran dal professor Salvatore Ceccarelli e dalla dottoressa Stefania Grandò, attraverso un processo di selezione realizzato con il coinvolgimento degli agricoltori, che ha portato alla creazione delle popolazioni evolutive, attualmente denominate Furat, costituite nel 2009 mescolando i semi di 2000 varietà di frumento tenero, fornendo così agli agricoltori dei campioni di seme con più diversità possibile.

Queste popolazioni sono state successivamente introdotte e adattate in diverse regioni italiane, tra cui la Toscana e la Sicilia, dando origine alle varietà Floriddia e Li Rosi rispettivamente. Inoltre, è stato realizzato un mix di queste due varietà, denominato Mix Piceno, per esplorare ulteriormente il loro potenziale adattamento e la capacità produttiva.

L'obiettivo principale di questa tesi è confrontare le prestazioni agronomiche di queste tre popolazioni evolutive (Floriddia, Li Rosi, Mix Piceno) con tre varietà moderne di frumento tenero, l'ACA 320, Lucilla e Ilaria che rappresentano varietà comunemente utilizzate nell'agricoltura convenzionale. Il confronto è stato condotto in due località distinte: il comune di Loreto Aprutino (Pe) e i campi sperimentali dell'Università Politecnica delle Marche a Polverigi (An), al fine di valutare le differenze di adattamento e produttività in ambienti caratterizzati da condizioni pedoclimatiche diverse.

Inoltre sono stati presi in considerazione alcuni risvolti commerciali che hanno avuto luogo nel territorio abruzzese.

Capitolo 8

Materiali e Metodi

8.1 Prove Sperimentali

Le attività sperimentali oggetto della presente tesi sono state effettuate nel triennio 2022-2024. In particolare, sia nel primo (2022) che nel terzo (2024) anno sono state effettuate due sperimentali di campo, una presso l'Azienda Didattico-Sperimentale "Pasquale Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche (UNIVPM, Località Polverigi, AN) e la seconda in Abruzzo presso l'Azienda Agricola Gaetano Carboni (Loreto Aprutino, PE). Nel corso del 2023 è stata eseguita una sola prova di campo presso l'Azienda Didattico-Sperimentale "Pasquale Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche (Località Polverigi, AN).

Prove eseguite nel 2022.

In entrambe le località è stata effettuata una prova sperimentale utilizzando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati completi con 4 repliche. La prova eseguita presso UNIVPM è stata seminata il 18 Gennaio 2022, utilizzando una seminatrice parcellare Vignoli (parcelle della superficie utile di 12 m²), e raccolta il 27 Luglio 2022 utilizzando una mietitrebbia parcellare Wintersteiger Delta. Per la prova eseguita in Abruzzo non è stato possibile utilizzare attrezzature sperimentali. Quindi, la prova parcellare è stata seminata utilizzando una seminatrice meccanica della larghezza di 3 m per ottenere parcelle della lunghezza di 10m (superficie parcellare di 30 m²). La raccolta delle singole parcelle è stata eseguita utilizzando una mietilega manuale e la trebbiatura è stata effettuata utilizzando una trebbiatrice fissa fornita da un'azienda agricola locale.

Complessivamente, la prova effettuata presso UNIVPM è stata svolta regolarmente, in quanto erano disponibili tutte le attrezzature necessarie per gestire la raccolta e il post-raccolta. La prova eseguita in Abruzzo, al contrario, ha presentato alcune difficoltà relative sia, probabilmente, alle caratteristiche del suolo (in particolare la carenza di fosforo assimilabile) sia allo svolgimento di tutte le operazioni di raccolta e trebbiatura. Infatti, non essendo stato possibile reperire una mietitrebbia parcellare, la raccolta è stata eseguita utilizzando attrezzature gentilmente fornite da

aziende agrarie locali. Il materiale raccolto con la mietilega è stato trasportato presso una seconda azienda dove è stato trebbiato utilizzando una trebbia fissa tradizionale.

Si deve sottolineare la totale disponibilità e il profondo impegno degli agricoltori nel supportare il completamento delle ultime fasi della prova sperimentale e, vista la situazione, hanno permesso di completare con successo tutte le fasi di raccolta e post-raccolta.

L'analisi dei dati del 2022 è stata, comunque, effettuata tenendo separate le due prove, viste le differenze riscontrate nella gestione delle prove stesse.

Prova eseguita nel 2023.

Nel 2023, è stata eseguita una prova di campo presso UNIVPM utilizzando uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con 3 repliche e parcelle della superficie di 90 m², seminate utilizzando una seminatrice combinata della larghezza di 3 m. La semina è stata eseguita il 22 Febbraio 2023, e la raccolta è stata eseguita il 23 Luglio 2023 utilizzando una mietitrebbia parcellare Wintersteiger Delta.

Prove eseguite nel 2024.

Le due prove eseguite nel 2024 nella Regione Marche (UNIVPM, AN) e nella Regione Abruzzo (Loreto Aprutino, PE) sono state effettuate senza replicazione e utilizzando parcelloni di grandi dimensioni. Obiettivo delle prove del 2024 è stato quello di verificare il comportamento delle popolazioni evolutive simulando la coltivazione in pieno campo. La prova effettuata presso UNIVPM è stata seminata il 9 Febbraio 2024 (seminatrice parcellare Vignoli, parcelloni della lunghezza di 60 m e larghezza 1,2 m, area 72 m²). La prova effettuata in Abruzzo è stata seminata in data 1 Febbraio 2024 utilizzando una seminatrice meccanica e parcelloni della larghezza di 12,5 m e lunghezza 120 m (area 1.500 m²). La raccolta è stata eseguita in data 3 Luglio e 11 Luglio 2024, per le prove eseguite presso UNIVPM e Loreto Aprutino, rispettivamente.

8.2 Caratteristiche del suolo nelle aree di studio

Tabella 8-0-1 Analisi del suolo eseguite nelle località dove sono state effettuate le prove sperimentali

		UNIVPM	Regione Abruzzo	
		2022-2024	2022	2024
	pH	8,17	8,04	7,94
g/kg	Sabbia (%)	13,79	17,4	17,3
g/kg	Limo (%)	44,30	44,5	35,9
g/kg	Arguilla (%)	41,91	38,1	46,8
	C/N	8,53	7,25	8,7
g/kg	Sostanza Organica	14,19	14,08	13,45
g/kg	N totale	0,97	1,125	0,9
g/kg	C organico	8,22	8,15	7,8
mg/kg	P assimilabile	14,50	3,75	16,2

Le caratteristiche dei suoli utilizzati per eseguire le prove sperimentali nelle Regioni Marche (UNIVPM) e Abruzzo sono riassunte in Tabella 8-0-1. I suoli utilizzati hanno mostrato complessivamente caratteristiche molto simili. Si nota infatti solo una differenza nella tessitura risultata limoso-argillosa e argillosa nelle Regioni Marche e Abruzzo, rispettivamente. Il pH è risultato sempre moderatamente alcalino, il rapporto C/N basso così come uno scarso contenuto sia in N totale che in C organico, mentre in entrambe le località è stato riscontrato un contenuto medio in sostanza organica. Si deve comunque notare l'evidente minor contenuto in fosforo assimilabile che ha caratterizzato il suolo utilizzato nel 2022 in Abruzzo (Località Civitella Casanova), rispetto ai suoli utilizzati nella Regione Marche (UNIVPM, 2022-24) e in Abruzzo (Loreto Aprutino, PE, 2024).

8.3 Popolazioni Evolutive utilizzate

Le tre popolazioni evolutive utilizzate provengono tutte da un'unica popolazione originaria proveniente dalla Siria.

Questa è stata sviluppata nel 2009 grazie a una collaborazione tra l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) di Aleppo, sotto la direzione degli agronomi Salvatore Ceccarelli e Stefania Grando e agricoltori locali, mescolando i semi della seconda, terza e quarta generazioni di 2000 incroci di frumento tenero.

Da qui, a partire dal 2010, questa popolazione è arrivata in Italia, in un primo momento in Toscana (Furat Floriddia) ed in Sicilia (Furat Li Rosi), dove ha iniziato la sua evoluzione. (Ceccarelli & Grando, 2019) (Ceccarelli, 2020).

Nella sperimentazione sono state quindi utilizzate Floriddia, Li Rosi, e Mix Piceno, che ha la stessa origine siriana:

- **Popolazione Evolutiva Floriddia:** Questa popolazione è stata originariamente selezionata e adattata in Toscana. Si tratta di una popolazione eterogenea che è stata lasciata evolvere in condizioni di coltivazione biologica. Ha una taglia particolarmente alta (Ceccarelli & Grando, 2019).
- **Popolazione Evolutiva Li Rosi:** Selezionata in Sicilia, questa popolazione evolutiva si distingue per la sua capacità di adattamento a condizioni ambientali tipiche dell'area mediterranea, in particolare quelle della Sicilia, con elevate temperature e limitata disponibilità idrica, ed ha infatti una taglia più bassa rispetto a Floriddia (Rivista Terrà, 2024) (Progetto Mixwheat, 2021-2024).
- **Popolazione Evolutiva Mix Piceno:** Questa popolazione è un miscuglio tra le popolazioni evolutive Floriddia e Li Rosi. L'incrocio tra le due origini genetiche è stato effettuato per ottenere una maggiore diversità genetica, ma anche per ridurre il rischio di allettamento del Floriddia, con l'obiettivo finale di migliorare l'adattabilità del frumento alle variazioni climatiche locali. (Ceccarelli, 2022. Comunicazione personale)

In qualità di controlli, nel primo anno (2022) sono state inserite nelle prove sperimentali le varietà (linee pure) Lucilla, Ilaria e ACA320, mentre nel secondo e nel terzo anno di prove è stata inserita solo la varietà ACA320 come unico controllo.

Sia le popolazioni evolutive che le varietà utilizzate come controlli sono state seminate a una densità di semina di 350 piante m⁻². La dose di seme utilizzata per ciascuna entrata in valutazione è stata calcolata ogni anno in base al peso medio e alla germinabilità della granella. Il terreno è stato preparato mediante aratura seguita da una lavorazione più superficiale per affinare il letto di semina e da una rullatura post - semina.

Non è stato effettuato alcun intervento di concimazione nel corso della sperimentazione. Questo approccio è stato adottato al fine di valutare gli effetti della crescita e della resa delle diverse varietà di frumento esclusivamente sulla base delle caratteristiche intrinseche del suolo e delle varietà stesse, senza l'influenza di apporti esterni di fertilizzanti. Tale scelta è stata dettata dall'intento di osservare il comportamento delle popolazioni evolutive e della varietà di controllo in condizioni agronomiche meno dipendenti dall'intervento umano.



Figura 3: Campo sperimentale Abruzzo, Azienda Agricola Gaetano Carboni, 13-3-2024



Figura 4: Campo sperimentale Abruzzo, Azienda Agricola Gaetano Carboni 26-4-2024



Figura 5: Floriddia - Campo Abruzzo, azienda Gaetano Carboni. 28-6-2024



Figura 6: Trebbiatura con trebbia fissa

Capitolo 9

Analisi dei dati

9.1 Produzione di granella

Vista la disomogeneità delle varianze errore, l'analisi della varianza (ANOVA) dei dati relativi alla produzione di granella e al contenuto proteico (%) delle 2 prove effettuate nel 2022 è stata eseguita separatamente per ciascuna prova. Per ciascuna località è stato applicato un modello di ANOVA relativo ad un disegno sperimentale a blocchi randomizzati completi. Per ciascuna prova, la normalità dei residui è stata valutata mediante test Shapiro-Wilk, mentre l'omogeneità delle varianze è stata valutata mediante test di Bartlett. I confronti multipli tra le medie sono stati eseguiti utilizzando in test HSD di Fisher (Honest Significant Difference).

Solo le 3 popolazioni evolutive sono state inserite nelle prove eseguite nel 2023 e nel 2024. Lo stesso approccio di analisi dei dati applicato nel 2022 (ANOVA per blocchi randomizzati e confronti multipli tra le medie) è stato seguito per l'analisi dei dati della prova effettuata nel 2023 presso UNIVPM. Le due prove eseguite nel 2024 presso UNIVPM e nella Regione Abruzzo nel 2024 sono state analizzate considerando le località come blocchi, applicando il test HSD per effettuare i confronti multipli tra le medie generali delle popolazioni evolutive. In assenza di repliche entro località, non è stato possibile testare l'interazione Varietà x Località, che comunque è stata valutata per via grafica al fine di evidenziare eventuali differenze nella performance delle popolazioni evolutive nelle due località.

Per effettuare l'ANOVA e i confronti tra le medie è stato applicato il software JMP 11.2.0 (SAS Institute Corp.).

9.2 **Analisi qualitative**

La granella delle 3 popolazioni evolutive, valutate nel triennio 2022-24, e delle 3 varietà inserite nella prova iniziale del 2022 è stata sottoposta ad analisi qualitative effettuate presso il CERMIS (Centro Ricerche e Sperimentazione per il Miglioramento Vegetale “N. Strampelli”) – Tolentino (MC). I parametri valutati sono stati i seguenti: contenuto proteico (%), Hardness, resa in farina (%), resa in crusca (%), resa in porzione fina (%), e indici alveografici (W, P, L, P/L, Indice di estensibilità, G). Il contenuto proteico è stato analizzato mediante ANOVA e confronti multipli, come descritto per la produzione di granella. I dati qualitativi complessivamente rilevati sono stati analizzati mediante un approccio multivariato mediante Analisi delle Componenti Principali (PCA) e Analisi Discriminante (DA) utilizzando il software JMP 11.2.0 (SAS Institute Corp.).

Nel 2022, separatamente per ciascuna accessione (popolazioni evolutive e varietà moderne), la granella delle parcelle delle prove sperimentali è stata riunita in bulk e un singolo campione per accessione è stato sottoposto ad analisi qualitativa. Nel 2023, 4 campioni di granella per ciascuna delle 3 popolazioni evolutive valutate presso UNIVPM (Regione Marche) sono stati prelevati e sottoposti ad analisi qualitativa. Nel 2024, per ciascuna popolazione evolutiva sono stati prelevati e analizzati 2 campioni di granella, tenendo separati i campioni collezionati, per ciascuna popolazione evolutiva, nelle prove eseguite nelle Regioni Marche e Abruzzo. Inoltre, nel 2024 sono stati inseriti nell’analisi qualitativa anche 2 campioni della landrace Abruzzese “Solina” coltivata nello stesso appezzamento UNIVPM dove è stata eseguita la valutazione delle popolazioni evolutive.

I dati forniti dal CERMIS sono stati analizzati mediante Analisi Discriminante, considerando come categorie di classificazione le 3 popolazioni evolutive (valutate nel triennio), le 3 varietà moderne (valutate solo nel 2022) e la popolazione locale Solina (valutata solo nel 2024). Quindi, ciascuna accessione è risultata rappresentata dal gruppo di campioni analizzati e disponibili nel corso della sperimentazione, essendo impossibile eseguire l’analisi separatamente per ciascun anno di prova.

Capitolo 10

Risultati e Discussione

10.1 Prova 2022 – UNIVPM: Produzione e contenuto proteico

Tabella 10.1-1 Prova 2022 - UNIVPM. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA).

*Significatività del test F: *** $p < 0,001$*

Fonti di variazione	gl	A) Produzione (Mg ha ⁻¹)		B) Contenuto proteico (%)	
		Varianza	F ¹	Varianza	F ¹
Blocchi	5	0,513	18,1 ***	4,609	10,5 ***
Varietà	5	0,539	19,1 ***	25,084	57,4 ***
Errore	25	0,028		0,437	

L'ANOVA ha evidenziato varianze altamente significative per entrambe le fonti di variazione, blocchi e varietà, sia relativamente alla produzione di granella (Tabella 10-1, A) che per il contenuto proteico (Tabella 10.1-1, B).

Tabella 10.1-2 Prova 2022 - UNIVPM. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey, $p < 0,05$) relative alla produzione di granella (A) e al contenuto proteico (B) delle varietà e delle popolazioni evolutive (evidenziate in grassetto)

A) Produzione		B) Contenuto proteico	
Varietà	Mg ha ⁻¹	Varietà	%
Lucilla	2,85 a	Floriddia	17,72 a
Mix Piceno	2,80 a	Mix Piceno	16,85 a
Floriddia	2,72 a	ACA 320	14,47 b
Ilaria	2,32 b	Li Rosi	13,82 b
Li Rosi	2,22 b	Lucilla	13,75 b
ACA 320	2,22 b	Ilaria	12,23 c

I confronti multipli tra le medie (Tabella 10.1-2, A) hanno evidenziato che la varietà Lucilla e le popolazioni evolutive Mix Piceno e Floriddia hanno mostrato una produzione di granella (range 2,72-2,85 Mg ha⁻¹) significativamente superiore alle varietà Ilaria e ACA320 e alla popolazione evolutiva Li Rosi (range 2,22-2,32 Mg ha⁻¹). Inoltre, le popolazioni evolutive Floriddia e Mix

Piceno hanno presentato, oltre a produzioni più elevate, anche un contenuto proteico significativamente superiore alle varietà e alla popolazione evolutiva Li Rosi. In particolare, la varietà Ilaria ha mostrato un contenuto proteico (12,23%) significativamente inferiore a tutte le altre accessioni valutate.

Tabella 10.1-3 Prova 2022 - Regione Abruzzo. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA). Significatività del test F: ns = non significativo, * $p < 0,05$, *** = $p < 0,001$

Fonti di variazione	gl	A) Produzione (Mg ha ⁻¹)		B) Contenuto proteico (%)	
		Varianza	F	Varianza	F ¹
Blocchi	3	0,227	3,03 ns	0,224	*
Varietà	5	0,310	4,14 *	3,008	***
Errore	15	0,075		0,059	

L'ANOVA ha evidenziato una varianza significativa sia per la produzione di granella (Tabella 10.1-3 A) che per il contenuto proteico (Tabella 10.1-3 B).

Tabella 10.1-4 Prova 2022 - Regione Abruzzo. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey, $p < 0,05$) relative alla produzione di granella (A) e al contenuto proteico (B) delle varietà e delle popolazioni evolutive (evidenziate in grassetto)

A) Produzione		B) Contenuto proteico	
Varietà	Mg ha ⁻¹	Varietà	%
Lucilla	1,71 a	ACA320	12,35 a
ACA320	1,69 ab	Floriddia	12,20 ab
Mix Piceno	1,43 ab	Li Rosi	11,90 abc
Li Rosi	1,37 ab	Mix Piceno	11,68 bc
Floriddia	1,08 ab	Lucilla	11,50 c
Ilaria	1,07 b	Ilaria	11,38 c

La prova eseguita presso la Regione Abruzzo è risultata caratterizzata da produzioni di granella inferiori rispetto a quelle registrate nella prova eseguita nella Regione Marche (UNIVPM). In particolare, non sono state rilevate differenze significative tra le popolazioni evolutive e le varietà. L'unica differenza significativa è risultata quella tra Lucilla, che ha presentato la produzione più elevata, e Ilaria che è stata la meno produttiva tra tutte le accessioni.

Anche il contenuto proteico è risultato in media inferiore a quanto riscontrato nella prova eseguita nella Regione Marche. Tra le varietà, ACA320 ha presentato un contenuto proteico significativamente più elevato sia di Lucilla che di Ilaria (Tabella 10.1-4, B). Inoltre, le popolazioni evolutive non hanno mostrato differenze significative tra loro nel contenuto proteico

della granella. Floriddia ha confermato di essere caratterizzata da un contenuto proteico significativamente superiore a 2 (Lucilla e Ilaria) delle 3 varietà inserite come controlli.

Complessivamente, quindi, le 2 prove effettuate nel 2022 hanno mostrato risultati molto differenti tra le due località. Infatti, la prova eseguita presso UNIVPM ha presentato valori medi più elevati rispetto alla prova eseguita nella Regione Abruzzo sia relativamente alla produzione di granella che al contenuto proteico. Questa differenza potrebbe essere dovuta al bassissimo contenuto in fosforo assimilabile che ha caratterizzato il suolo utilizzato nella prova eseguita nella Regione Abruzzo, caratteristica che può aver influito negativamente sia sulla produzione di granella che sul contenuto proteico.

10.2 Prova 2023 – UNIVPM: Produzione e contenuto proteico

Nel 2023 solo le 3 popolazioni evolutive (Floriddia, Li Rosi e Mix Piceno) sono state inserite nella prova di campo eseguita presso l’Azienda Didattico-Sperimentale UNIVPM. La prova è stata eseguita utilizzando parcelle di grandi dimensioni per avere un risultato che simulasse le colture di pieno campo. L’ANOVA non ha evidenziato una significativa varianza tra popolazioni relativamente alla produzione di granella, mentre una varianza significativa è stata riscontrata per il contenuto proteico (Tabella 10.2-2). Infatti, i confronti multipli tra le medie hanno evidenziato che tutte le 3 popolazioni evolutive hanno fatto registrare produzioni non significativamente differenti tra loro, produzioni comprese tra 1,56 (Mix Piceno) e 1,88 (Li Rosi) Mg ha⁻¹ (Tabella 10.2-2 A). Il contenuto proteico è risultato buono, sebbene inferiore ai valori ottenuti nel 2022, con Floriddia che ha mostrato il valore maggiore (13,3%) e significativamente più elevato del Mix Piceno (12,9%), mentre Li Rosi ha mostrato un contenuto proteico intermedio tra le altre 2 popolazioni evolutive (Tabella 10.2-2 B).

Complessivamente, si deve comunque sottolineare che i risultati relativi alla performance di tutte le 3 popolazioni evolutive, sono stati influenzati dall’andamento climatico che ha caratterizzato il 2023. Infatti, l’effetto negativo sulla produzione di granella dell’anomala distribuzione della piovosità riscontrata nel corso del 2023 ha rispecchiato quanto registrato anche a livello nazionale sulle colture di frumento, così come di tutti i cereali.

Nella figura 7 si possono vedere le differenze tra le tre popolazioni, il 29-5-2023 nel campo dell’UNIVPM. Floriddia e Mix Piceno hanno una spigatura più tardiva rispetto a Li Rosi.

Tabella 10.2-1 Prova 2023 – UNIVPM. Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA). Significatività del Test F: ns = non significativo, * $p < 0,05$

Fonti di variazione	gl	A) Produzione (Mg ha ⁻¹)		B) Contenuto proteico (%)	
		Varianza	F	Varianza	F ¹
Blocchi	2	0,264	2,52 ns	0,021	1,90 ns
Pop. Evol.	2	0,083	0,79 ns	0,121	10,90 *
Errore	4	0,105		0,011	

Tabella 10.2-2 Prova 2023 - UNIVPM. Confronti multipli tra le medie (Test HSD di Tukey, $p < 0,05$) relative alla produzione di granella (A) e al contenuto proteico (B) delle 3 popolazioni evolutive

A) Produzione		B) Contenuto proteico	
Pop. Evol.	Mg ha ⁻¹	Varietà	%
Li Rosi	1,88 a	Floriddia	13,30 a
Floriddia	1,65 a	Li Rosi	13,07 ab
Mix Piceno	1,56 a	Mix Piceno	12,90 b



Figura 7 Da sinistra a destra: Li Rosi, Mix Piceno, Floriddia. Univpm 29-05-23

10.3 Prova 2024 – UNIVPM-Abruzzo: produzione e contenuto proteico

Le prove eseguite nel 2024 hanno avuto come obiettivo principale la produzione di un sufficiente quantitativo di granella da destinare alla successiva trasformazione in pane da popolazioni evolutive. Quindi, sia presso l'Azienda Sperimentale UNIVPM (Regione Marche) che presso l'Azienda Agricola Gaetano Carboni (Regione Abruzzo), le popolazioni evolutive

sono state seminate in parcelloni di grandi dimensioni e nel disegno sperimentale non sono state inserite le repliche, come invece eseguito nelle prove degli anni precedenti.

L'analisi dei dati è stata comunque eseguita considerando la produzione di granella e il contenuto proteico delle 3 popolazioni evolutive nelle 2 località, al fine di avere informazioni indicative per la successiva trasformazione delle farine in pane da popolazioni evolutive.

I risultati dell'analisi dei dati sono riassunti nelle Tabelle 10.3-1 (ANOVA) e 10.3-2 (confronti tra le medie). Infine, per visualizzare l'andamento della performance delle singole popolazioni evolutive nelle 2 prove del 2024, il grafico in Figura 7 mostra i dati relativi alla produzione di granella (A) e al contenuto proteico (B) registrati per ciascuna popolazione evolutiva nelle 2 località.

*Tabella 10.3-1 Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA). Significatività del Test F: ns = non significativo, * $p < 0,05$*

Fonti di variazione	gl	C) Produzione (Mg ha ⁻¹)		D) Contenuto proteico (%)	
		Varianza	F	Varianza	F
Località	1	0,583	0,57 ns	0,844	24,11*
Pop. Evol.	2	0,420	0,41 ns	0,127	3,92 ns
Errore	2	1,016		0,035	

L'ANOVA ha evidenziato come significativa solo la varianza tra località relativamente al contenuto proteico della granella. Infatti, come risulta dalla Tabella 10.3-2 (A e B), solo il contenuto proteico medio registrato nella prova eseguita presso UNIVPM (11,83%) è risultato significativamente superiore al contenuto proteico medio rilevato nella prova eseguita nelle Regione Abruzzo (11,08%). In media (media tra le 2 località), inoltre, non sono state riscontrate differenze significative tra le 3 popolazioni evolutive relativamente sia alla produzione (Tabella 10.3-2 C) che al contenuto proteico (Tabella 10.3-2 D).

Tabella 10.3-2 Prove 2024. Confronti tra le medie (test *t* di Student, $p < 0,05$) registrate nelle località di prova e relative a produzione granella (A) e contenuto proteico (B), e confronti multipli (Test HSD, $p < 0,05$) tra le medie delle 3 popolazioni evolutive relative

A) Produzione		B) Contenuto proteico	
Località	Mg ha ⁻¹	Località	%
Abruzzo	4,45 a	UNIVPM	11,83 a
UNIVPM	3,82 a	Abruzzo	11,08 b
C) Produzione		D) Contenuto proteico	
Pop. Evol.	Mg ha ⁻¹	Pop. Evol.	%
Floriddia	4,55 a	Li Rosi	11,73 a
Mix Piceno	4,22 a	Mix Piceno	11,43 a
Li Rosi	3,64 a	Floriddia	11,23 a

L'analisi in forma grafica dei dati sperimentali mostrata in Figura 7 ha comunque mostrato che le popolazioni evolutive Floriddia e Mix Piceno hanno mostrato produzioni di granella più elevate nella prova eseguita nella Regione Abruzzo rispetto a quella eseguita nelle Marche. Per la popolazione Li Rosi è stato invece osservato un trend inverso, comunque caratterizzato da produzioni molto simili per questa popolazione evolutiva nelle 2 località.

Andamento inverso ha mostrato il contenuto proteico. Infatti tutte le popolazioni evolutive hanno mostrato un contenuto proteico più elevato nella prova eseguita nella Regione Marche rispetto a quella eseguita nella Regione Abruzzo. Questo risultato può essere in parte spiegato dalla correlazione negativa che nel frumento sussiste tra produzione e contenuto proteico. Infatti, è noto che all'aumentare della produzione il contenuto proteico della granella diminuisce. Questo stesso trend è confermato dall'osservazione che la popolazione evolutiva Li Rosi nella prova eseguita in Abruzzo ha mostrato un contenuto proteico più elevato rispetto alle popolazioni Floriddia e Mix Piceno, caratterizzate da produzione più elevata rispetto a Li Rosi.

La granella raccolta nel 2024 nella prova eseguita nella Regione Abruzzo è stata sottoposta a vagliatura per essere successivamente destinata alla trasformazione in pane da popolazioni evolutive.

Nelle figure 9 e 10 si possono notare le differenze tra le diverse popolazioni sia all'interno del singolo campo che tra le due località; in particolare si evince la maggior precocità di spigatura della popolazione Li Rosi rispetto alle altre due popolazioni, soprattutto rispetto a Floriddia.

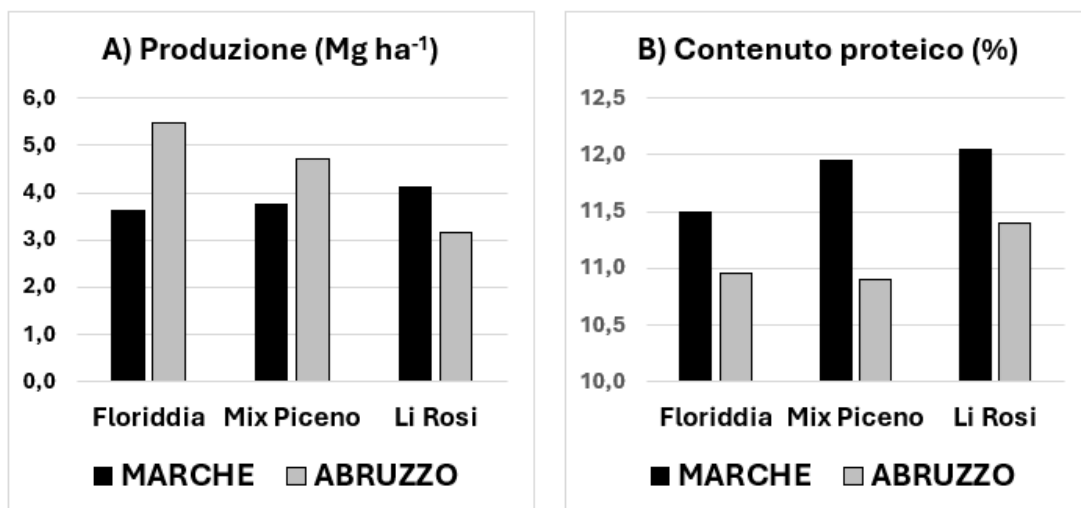


Figura 8: Dati relativi alle produzioni (A) e al contenuto proteico (B) rilevati nel 2024 sulle 3 popolazioni evolutive nelle 2 località di prova: UNIVPM (Regione Marche) e Azienda Agricola Gaetano Carboni (Regione Abruzzo).



Figura 9 Da sinistra a destra: Li Rosi, Piceno, Floriddia. Univpm 27-05-2024

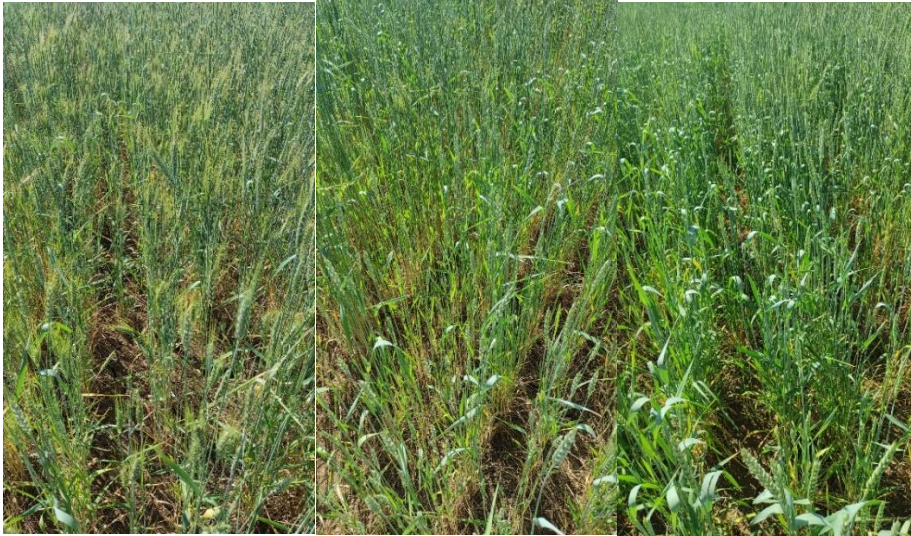


Figura 10 Da sinistra a destra: Li Rosi, Piceno, Floriddia. Azienda Gaetano Carboni, 27-5-2024

10.4 Analisi Multivariata (Parametri qualitativi)

I dati standardizzati, relativi ai parametri inerenti le caratteristiche qualitative della granella, sono stati impiegati per eseguire l'analisi multivariata (Analisi Discriminante, DA). Si deve comunque notare che i dati relativi alle 3 varietà moderne (ACA320, Ilaria e Lucilla) sono stati rilevati solo nel 2022, mentre i dati relativi alle popolazioni evolutive sono stati rilevati nel triennio 2022-24. Inoltre, nel 2024, è stata inserita anche la varietà locale Solina, coltivata nello stesso terreno impiegato presso UNIVPM per eseguire il confronto tra le 3 popolazioni evolutive. Solina è stata inserita in quanto è una Landrace originaria della Regione Abruzzo.

Inizialmente, i dati delle 11 variabili sono stati standardizzati e l'Analisi Discriminante è stata eseguita inizialmente utilizzando i dati dei 3 anni di prova inserendo quindi sia le 3 popolazioni evolutive, valutate nel triennio, sia le 3 varietà moderne, valutate solo nel 2022, e la landrace Solina, valutata solo nel 2024.

I risultati ottenuti sono riassunti graficamente in figura

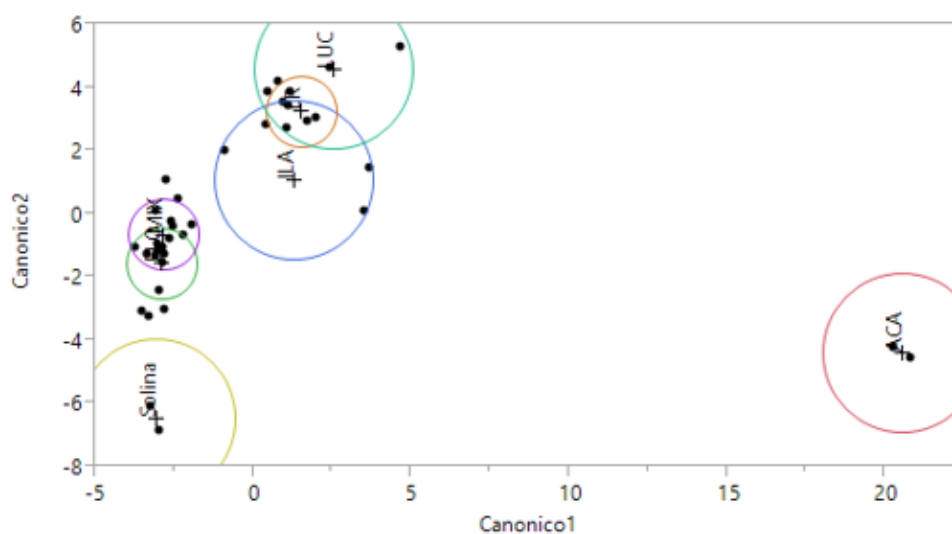


Figura 11 Analisi Discriminante eseguita confrontando le 3 popolazioni evolutive (Floriddia, Li Rosi e Mix Piceno) con le 3 varietà moderne (ACA 320, Ilaria e Lucilla) e la landrace Solina

Mediante l'approccio Backward Stepwise, le seguenti variabili scelte come maggiormente discriminanti: Contenuto proteico della granella (%), Hardness, e gli indici alveografici di qualità W, P/L, Ie (Indice di estensibilità), G e P. I coefficienti di scoring, ottenuti per le prime 2 funzioni discriminanti, sono riportati in Tabella 10.4-1, da cui si può notare che il rapporto P/L sia stata la variabile più importante per la discriminazione relativa alla D.F.1, mentre per la D.F.2 la discriminazione tra accessioni è stata dovuta prevalentemente al contrasto tra il rapporto P/L e la variabile P.

Tabella 10.4-1 Coefficienti di scoring relativi alle più importanti funzioni discriminanti (D.F. 1 e D.F. 2)

	Std Prot %	Std Hard.	Std W	Std P/L	Std Ie	StdG	Std P
D.F. 1	-0,64	1,64	1,23	7,34	-2,30	1,98	-0,83
D.F.2	-0,30	1,24	-3,68	-12,10	0,02	-3,23	12,49

Le prime due Funzioni discriminanti (D.F.1 e D.F.2) hanno spiegato complessivamente il 92,2% della varianza totale. In particolare, la prima Funzione Discriminante (DF1, Autovalore = 34,4) e la seconda Funzione Discriminante (DF2, Autovalore = 9,7) hanno spiegato il 71,9 e 20,3% della varianza, rispettivamente.

La D.F.1 ha discriminato nettamente la varietà ACA320 dalle altre accessioni, mentre la D.F.2 ha discriminato le varietà Ilaria e Lucilla e la popolazione evolutiva Li Rosi dalle 2 popolazioni evolutive Floriddia e Mix Piceno, mentre la landrace Solina è stata caratterizzata dallo score D.F.2 più basso tra tutte le accessioni.

Complessivamente, solo 6 campioni su 38 (15,8%) non sono stati classificati entro l'accessione di origine. In particolare, un campione su 10 di Li Rosi è stato attribuito alla varietà Ilaria, 3 campioni di Piceno sono stati attribuiti a Floriddia, e 2 campioni di Floriddia sono stati assegnati a Mix Piceno. Complessivamente, quindi, l'analisi discriminante ha confermato una elevata differenziazione tra le accessioni, relativamente ai parametri qualitativi analizzati. In particolare, considerando le popolazioni evolutive, Li Rosi è risultata notevolmente differenziata sia da Floriddia che da Piceno, mentre queste due popolazioni hanno mostrato una minor differenziazione tra loro rispetto a Li Rosi e alle altre accessioni.

Tabella 10.4-2 Analisi discriminante: Numero di Campioni classificati erroneamente (evidenziati in giallo).

		Accessione assegnata							
		ACA 320	Floriddia	Ilaria	Li Rosi	Lucilla	Mix Piceno	Solina	N. totale
Accessione originaria	ACA 320	2	0	0	0	0	0	0	2
	Floriddia	0	8	0	0	0	2	0	10
	Ilaria	0	0	2	0	0	0	0	2
	Li Rosi	0	0	1	9	0	0	0	10
	Lucilla	0	0	0	0	2	0	0	2
	Mix Piceno	0	3	0	0	0	7	0	10
	Solina	0	0	0	0	0	0	2	2

I valori medi registrati dalle singole accessioni per le variabili discriminanti sono riportati in Tabella 10.4-3 da cui si può notare che ACA320 ha presentato i valori medi più elevati tra tutte le accessioni non solo per il parametro P/L, identificato come più discriminante nella D.F.1, ma anche per tutti i rimanenti parametri eccetto l'indice G. Inoltre, la popolazione evolutiva Li Rosi ha mostrato, per i parametri Hardness, W e P, valori medi più vicini ai valori delle 2 varietà

moderne Lucilla e Ilaria che alle altre 2 popolazioni evolutive, che sono risultate invece molto simili tra loro. In particolare, il parametro W, che esprime la “forza” della farina, ha differenziato Li Rosi dalle altre popolazioni evolutive. Infine, Solina è stata caratterizzata dai valori mediamente più bassi per la maggior parte dei parametri qualitativi analizzati.

Tabella 10.4-3 Valori medi relativi alle singole accessioni e registrati per i caratteri qualitativi identificati come più discriminanti dall'analisi discriminante

Categorie	Accessioni	Prot %	Hardness	W	P/L	Ie	G	P
Varietà moderne	ACA320	13,3	70,34	237	1,92	67,1	16,1	101
	Lucilla	12,65	61,26	229	0,78	61,15	19,3	68
	Ilaria	11,8	52,37	144,5	0,75	53,7	19,35	55
Popolazioni Evolutive	Floriddia	12,71	40,89	87,7	0,289	34,16	24,74	35,1
	Mix Piceno	12,56	41,475	75	0,322	31,2	22,97	34,1
	Li Rosi	12,48	59,498	134,8	0,466	40,4	23,23	49,2
Landrace	Solina	11,9	37,285	61,5	0,155	30,1	27,65	24

Capitolo 11

Prove di Panificazione

Le tre popolazioni della prova sono state sottoposte ad una prova di panificazione dal forno Trepì, situato a Turrivalignani (PE), che vanta diversi punti vendita denominati “Mercato del Pane” nei comuni di Pescara e Montesilvano.

La popolazione Li Rosi è quella che ha sviluppato un'alveolatura maggiore, ma Floriddia si è dimostrata più complessa a livello organolettico, sviluppando una maggiore diversità di profumi, mentre Mix Piceno è stata tecnicamente e aromaticamente più simile a Floriddia, anche se con aromi meno intensi.

Come controllo è stato prodotto anche un pane con mix di varietà moderne. Il pane è risultato più alveolato rispetto alle popolazioni evolutive, ma ha dimostrato una minore conservabilità e meno complessità organolettica.



Figura 12 Popolazione Floriddia



Figura 13 Popolazione Mix Piceno



Figura 14 Popolazione Li Rosi



Figura 15 Pane prodotto con mix di farine moderne

Infine è da considerare che l'azienda Gaetano Carboni di Loreto Aprutino coltiva, sin dal 2018, la popolazione evolutiva di grano tenero Floriddia. Il seme fu inizialmente acquistato presso l'omonima azienda toscana.

Già dalla prima raccolta, buona parte della granella prodotta viene venduta al forno Trepì che la utilizza per produrre un pane venduto con il nome commerciale “Barbarossa”. Questo pane viene realizzato con farina di tipo 2, pasta madre e un'idratazione del 70 %.

L'impasto viene preparato con 3 ore di fermentazione in blocco, poi vengono realizzate le pagnotte che riposano a 5 gradi per 18-20 ore, infine la pagnotta va direttamente in forno per la cottura.

Inizialmente, nei primi due mesi di produzione, il “Barbarossa” veniva proposto in un formato tradizionale di pagnotta da 1 kg. Tuttavia, questo formato non ha ottenuto il successo sperato, principalmente a causa della sua bassa altezza e alveolatura inferiore rispetto ai pani realizzati con altre farine, come quelle di Solina o Senatore Cappelli, molto utilizzate dal forno, quindi risultava poco attraente per il consumatore.

Nella ricerca di una idonea destinazione commerciale per questo pane, il forno ha quindi adottato un formato più grande, una pagnotta da 3 kg. Questa nuova versione ha immediatamente riscosso successo, e da quel momento il pane “Barbarossa” viene prodotto regolarmente tre giorni a settimana.

Molti clienti hanno fatto notare ed hanno apprezzato il fatto che il pane rimanga di una consistenza integra e piacevole anche dopo diversi giorni.

Il forno sta aumentando i quantitativi di granella acquistata anno dopo anno (si è passati dai 5 quintali del primo anno ai 20 quintali di oggi) ed ora altri forni abruzzesi hanno manifestato interesse al suo acquisto.

Conclusioni

I risultati delle prove agronomiche hanno confermato che le popolazioni evolutive hanno mostrato una produzione di granella relativamente bassa rispetto alle produzioni medie del frumento tenero nelle regioni del Centro Italia. Questo risultato era comunque atteso, anche se i risultati del 2022 in cui sono state inserite varietà moderne non hanno evidenziato differenze notevoli tra i due gruppi di accessioni in prova. A questo riguardo si deve notare che l'andamento stagionale nel 2022 non è stato favorevole al frumento, come confermato dalla bassa performance delle varietà moderne ed in particolare di ACA320 che è generalmente caratterizzata da buone produzioni in Italia Centrale. Le popolazioni evolutive non hanno mostrato elevata variabilità nella produzione di granella nelle due annate di prova 2022-23, mentre i risultati del 2024 sono stati estremamente positivi in termini di produzione di granella.

Aspetto estremamente interessante è stato il confronto tra le popolazioni evolutive e le varietà moderne relativamente ai parametri qualitativi. L'analisi discriminante ha infatti confermato una netta differenziazione tra popolazioni evolutive e varietà moderne. Inoltre, tra le varietà moderne, ACA320 ha confermato di essere nettamente discriminata da Ilaria e Lucilla, che invece sono risultate molto simili tra loro.

Relativamente alle popolazioni evolutive, è stato interessante riscontrare che Floriddia e Mix Piceno sono risultate molto vicine tra loro per parametri qualitativi, e chiaramente differenziate da Li Rosi. Questi risultati potrebbero indicare che la popolazione Mix Piceno, ottenuta inizialmente da un miscuglio di seme delle due popolazioni Floriddia e Li Rosi, stia evolvendo avvicinandosi più alla popolazione Floriddia, distanziandosi contemporaneamente dalla popolazione Li Rosi. Questo aspetto è stato notato visivamente anche in campo confrontando la morfologia delle piante e in particolare l'altezza e l'epoca di fioritura.

Infine, estremamente interessante è stato eseguire nel 2024 la trasformazione delle 3 farine in pane da popolazioni evolutive. L'analisi preliminare ha infatti messo in evidenza differenze tra popolazioni anche relativamente alla trasformazione. Ulteriori indagini saranno comunque estremamente utili per caratterizzare meglio i prodotti finali da forno ottenibili utilizzando le

popolazioni evolutive, mettendoli anche a confronto con prodotti ottenuti da farine moderne ottenute da varietà monogenotipiche (linee pure).

Bibliografia

- Barcaccia G. & Falcinelli M. (2012). Genetica e genomica.
- Bertholdsson N.O., Weedon O., Brumlop S., Finckh M.R. 2016. Evolutionary changes of weed competitive traits in winter wheat composite cross populations in organic and conventional farming systems. *European Journal of Agronomy* 79: 23-30.
- Bocci, R., et al. (2020). *Yield, yield stability and farmers' preferences of evolutionary populations of bread wheat: A dynamic solution to climate change.*
- Bussi B., et al (2017). La frontiera del miglioramento genetico dei cereali per l'agricoltura biologica: il materiale eterogeneo Rivista dal seme – Crea.
- Ceccarelli, et al. (2010). *Plant breeding and climate changes.*
- Ceccarelli, S (2013). Produrre i propri semi. Manuale per accrescere la biodiversità e l'autonomia nella coltivazione delle piante alimentari.
- Ceccarelli, S, & Grando, S. (2019). Seminare il futuro. Perché coltivare la biodiversità?
- Ceccarelli, S., & Grando, S. (2022). *Return to agrobiodiversity: Participatory plant breeding.*
- Ceccarelli, S., & Grando, S. (2024). Diversity as a Plant Breeding Objective.
- Ceccarelli, S., 2020. Le Popolazioni Evolutive ICARDA.
- Cosentino, et al (2021-2024), Progetto Mixwheat.
- De Groote H., 2023. Intensification of the maize-based farming: What happened to the maize green revolution? In *Food Systems Transformation in Kenya: Lessons from the Past and Policy Options for the Future*, eds. Clemens Breisinger, Michael Keenan, Juneweenex Mbuthia, and Jemimah Njuki. Part 3: Toward more healthier food systems, Chapter 7, Pp. 171-200. https://doi.org/10.2499/9780896294561_07
- Döring, T. (2021). (R)evolutionary Wheat Populations: Adaptable, stable, or both?.
- Evenson R.E. e Gollin D., 2003. Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300: 758-762.
- Finckh, M. R., et al. (2015). *Plant disease management in organic farming.*
- Hedden P., 2003. The genes of the Green Revolution. *Trends in Genetics* 19(1): 5-9.

- Liu S., Zhang M., , Feng F., Tian Z., 2020. Toward a “Green Revolution” for Soybean. *Molecular Plant* 13: 688–697.
- Milach S.C.K. e Federizzi L.C., 2001. Dwarfing genes in plant improvement. *Advances in Agronomy* 73: 35-63.
- Mineo, G. (2024), La diversità genetica come risposta alla siccità in Sicilia: le popolazioni evolutive di frumento. *Rivista Terrà – Il multimediale dell’agricoltura*.
- Murphy, K. J., et al. (2005). *Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary–participatory breeding approach*.
- Pingali, P. (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead.
- Van Frank, G. et al. (2020) Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding.