



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E  
AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

CONFRONTO TRA DIVERSE  
VARIETÀ DI FRUMENTO DURO IN  
CONSOCIAZIONE CON IL FAVINO  
COMPARISON BETWEEN DIFFERENTS  
VARIETIES OF DURUM WHEAT INTERCROPPED  
WITH FABA BEAN  
TIPO TESI: Sperimentale

Studente:  
MATTIA GATTI

Relatore:  
PROF. STEFANO TAVOLETTI

Correlatore:  
DOTT.SSA ARIELE MERLETTI

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE	3
ELENCO DELLE FIGURE	5
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE	6
1.1 Problematiche attuali dell'agricoltura	6
1.2 Le consociazioni	7
1.3 Reintroduzione delle leguminose nei sistemi agricoli	10
1.4 Utilizzo del favino: vantaggi e problematiche	11
1.5 Utilizzo del favino nelle consociazioni	12
1.6 Scopo della tesi	14
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI	15
2.1 Materiali vegetali, disegno sperimentale e densità di semina	15
2.2 Gestione della prova in campo	16
2.3 Land Equivalent Ratio (LER)	17
2.4 Analisi statistica	18
CAPITOLO 3 RISULTATI E DISCUSSIONE	20
3.1 Produzione frumento duro	20
3.1.1 Frumento duro in coltura pura	20
3.1.2 Frumento duro in consociazione	22
3.1.3 $LER_{durum}$	27
3.2 Produzione di favino	30
3.2.1 Favino in coltura pura	30
3.2.2 Favino in consociazione	31
3.2.3 $LER_{faba}$	36
3.2.4 $LER_{totale}$	41
CAPITOLO 4 CONCLUSIONI	47
BIBLIOGRAFIA	48

## ELENCO DELLE TABELLE

**Tabella 1.** Risultati dell'ANOVA per la produzione di frumento duro in coltura pura; p.20

**Tabella 2.** Confronti Multipli tra le produzioni medie delle 12 varietà di frumento duro in coltura pura; p.21

**Tabella 3.** Risultati dell'ANOVA per la produzione di frumento duro in consociazione; p.22

**Tabella 4.** Confronti multipli (test HSD) tra le produzioni medie delle 12 varietà di frumento in consociazione con il favino; p.22

**Tabella 5.** Contrasti tra le medie della produzione di frumento duro per le dodici varietà di frumento duro tra la combinazione con il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69; p.25

**Tabella 6.** LER<sub>durum</sub>, risultati dell'ANOVA; p.27

**Tabella 7.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie dei LER<sub>durum</sub> delle dodici varietà di frumento duro calcolati come media delle consociazioni con le due varietà di favino, Chiaro dei Torre Lama e Prothabat69; p.28

**Tabella 8.** Contrasti tra le medie del LER<sub>durum</sub> della consociazione con il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 per le dodici varietà di favino; p.30

**Tabella 9.** Risultati dell'ANOVA per la produzione di granella di favino; p.31

**Tabella 10.** Confronti multipli (test HSD) tra i Blocchi; p.32

**Tabella 11.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie della produzione di favino media tra il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 tra le dodici varietà di frumento duro; p.32

**Tabella 12.** Contrasti tra le medie della produzione di granella di favino in consociazione come tra il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 per le dodici varietà di frumento duro; p.35

**Tabella 13.** Risultati dell'ANOVA per il LER<sub>fabas</sub>; p.36

**Tabella 14.** Confronti multipli tra le medie del LER<sub>fabas</sub> nei vari blocchi (test HSD); p.36

**Tabella 15.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie delle due varietà di favino tra le dodici varietà di frumento duro; p.37

**Tabella 16.** Confronti multipli (test Hsd) tra tutte le consociazioni; p.38

**Tabella 17.** Contrasti tra le medie del LER<sub>fabas</sub> tra Chiaro di Torre Lama e Prothabat69 nelle dodici varietà di frumento duro; p.39

**Tabella 18.** Risultati dell'ANOVA del LER<sub>totale</sub>; 41

**Tabella 19.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie del LER<sub>totale</sub> nei vari blocchi; p.41

**Tabella 20.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie del LER<sub>totale</sub> tra le dodici varietà di frumento duro come media delle consociazioni con le due varietà di favino; p.42

**Tabella 21.** Confronti multipli (test HSD) tra le medie del  $LER_{totale}$  nei vari Mix; p.43

**Tabella 22.** Contrasti tra le medie del  $LER_{totale}$  tra la consociazione con Chiaro di Torre Lama e col Prothabat69 nelle dodici varietà; p.44

## ELENCO DELLE FIGURE

- Figura 1.** Consociazioni inserite nella prova sperimentale; p.16
- Figura 2.** Produzione media delle dodici varietà nelle consociazioni con il Chiaro di Torre Lama (CHTL) e con il Prothabat69 (PROT) a confronto; p.24
- Figure 3.** A) Produzione delle varietà Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot);  
B) Produzione delle varietà Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo, Tirex in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot); p. 26
- Figura 4.** A)  $LER_{durum}$  delle varietà Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot) e confronto con LER atteso; B)  $LER_{durum}$  delle varietà Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo, Tirex in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot) e confronto con LER atteso; p.29
- Figura 5.** Produzione media del Chiaro di Torre Lama (CHTL) e del Prothabat69 (PROT); p.33
- Figura 6.** Confronto tra le produzioni delle varietà Chiaro di Torre Lama (Chtl) e Prothabat69 (Prot) nelle consociazioni con A) Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur, e B) Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo e Tirex; p.34
- Figura 7.** Confronto tra  $LER_{faba}$  mostrato dalle varietà Chiaro di Torre Lama (Chtl) e Prothabat69 (Prot) a confronto in consociazione con A) Achille, Antalis, Aureo, Claudio MAurelio e Natur, e B) Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo e Tirex; p.40
- Figura 8.** Contributo relativo al valore del  $LER_{totale}$  delle componenti  $LER_{faba}$  e  $LER_{durum}$  diviso per Chiaro di Torre Lama; p.45
- Figura 9.** Contributo relativo al valore del  $LER_{totale}$  delle componenti  $LER_{faba}$  e  $LER_{durum}$  diviso per Prothabat69; p.45

# Capitolo 1

## INTRODUZIONE

### **1.1 Problematiche attuali dell'Agricoltura**

Recenti studi hanno evidenziato che entro la fine del 2050 è previsto un aumento della popolazione mondiale di circa 2 mld, dagli attuali 7,7mld a 9,7 mld. Pertanto l'agricoltura dovrà utilizzare tutte le tecnologie scientifiche sviluppate nel corso dei decenni per poter soddisfare la crescente domanda di cibo da parte della popolazione in rapida crescita (Dietrich et al. 2014). Tutto ciò, però non dovrà causare effetti negativi riguardo ad un aumento del consumo dei combustibili fossili e dell'inquinamento ambientale (Milder et al. 2011; Sainju et al. 2012). E' necessario, quindi, raggiungere una maggior produttività delle colture tramite una produzione sostenibile che tenga conto delle principali problematiche riguardanti i cambiamenti climatici, la rarefazione delle risorse naturali disponibili e la fertilità dei suoli. Infatti ad oggi i fertilizzanti sintetici sono utilizzati in grandi quantità per poter aumentare la produttività delle singole colture a breve termine (Bedoussac et al. 2015). L'uso sbilanciato di questi ultimi, tuttavia, deteriora la salute del suolo a lungo termine (Savci 2012; Meena et al. 2015b).

Queste crescenti preoccupazioni per gli impatti ambientali e per la riduzione degli input richiedono una trasformazione degli attuali sistemi colturali per una migliore efficienza e sostenibilità (Cox e Atkins 1979; Jackson e Piper 1989; Vandermeer et al. 1998; Griffon 2006).

Sviluppare sistemi colturali sostenibili è un compito complesso che coinvolge molti parametri e richiede le conoscenze necessarie per essere in grado di rispondere a cambiamenti improvvisi su scale diverse, ad esempio nel mercato. La sfida è sfruttare il sinergismo nel tempo e nello spazio delle colture per migliorare i raccolti con una maggiore efficienza nell'uso delle risorse e un rischio ridotto di impatti negativi sull'ambiente attraverso l'integrazione delle scienze ecologiche ed agricole (Jensen, et al. 2010).

## 1.2 Le consociazioni

Negli ultimi anni è aumentata la consapevolezza sulla necessità di aumentare la diversità vegetale all'interno di un ecosistema agricolo che conduca ad un aumento della fertilità degli stessi e ad un possibile aumento della produttività delle colture praticate. Tale diversità viene riscontrata anche in una tecnica agronomica che sembra essere molto promettente: la consociazione.

La consociazione è una pratica agricola che consente la coltivazione contemporanea di due o più specie diverse all'interno dello stesso appezzamento di terreno e si fonda sull'applicazione pratica di alcuni principi ecologici: differenziazione, competizione e facilitazione, per la produttività delle colture (Gomes e Gomez 1983; Lithourgidis et al. 2011; Bedoussac et al. 2015).

Questo sistema colturale è molto comune in quei paesi in cui è presente un'elevata agricoltura di sussistenza e scarsa possibilità di meccanizzazione. È rara nell'agricoltura tradizionale, ma in aumento nei sistemi biologici (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). Generalmente la consociazione viene intrapresa da agricoltori, i quali praticano un'agricoltura su piccoli appezzamenti a basso livello di input con bassi livelli di resa. In questi casi, tale tecnica colturale, può essere un sistema di supporto per poter aumentare le rese con le stesse unità di input, soddisfare le richieste colturali ed alimentari, proteggere la fertilità del suolo ed aumentare il reddito dell'agricoltore. In alcune regioni del mondo, la consociazione è e rimane una delle forme dominanti di agricoltura; in America Latina, i piccoli agricoltori coltivano il 70-90% dei fagioli in consociazione con mais, patate ed altre colture e il 60% delle coltivazioni di mais risulta essere in consociazione (Francis, 1986); in Africa il 98% dei fagioli viene consociato e in Colombia avviene lo stesso nel 90% dei casi (Vandermeer, 1989).

I vantaggi ottenuti nelle consociazioni sono principalmente dovuti ad un utilizzo più efficiente delle risorse come luce, acqua e nutrienti rispetto alla coltivazione in coltura pura. Eskandari (2011) ha condotto uno studio relativo alla consociazione di grano e fava ed ha mostrato che tale sistema di consociazione ha avuto un effetto marcato sull'utilizzo migliore delle risorse ambientali in termini di intercettazione della luce e di assorbimento di acqua e nutrienti rispetto alla singola coltura.

Alcuni studi fanno riferimento ad un maggior controllo delle infestanti nei sistemi consociati rispetto ai sistemi monocolturali, come ad esempio Carr et al. (1995) che ha riferito come la consociazione del grano con la lenticchia ha portato ad una riduzione

della biomassa delle infestanti fino al 96% in un anno e al 68% in un altro anno rispetto alla singola coltura di lenticchia.

Infine sono state anche valutate diverse interazioni positive riguardo il controllo delle malattie nelle colture consociate rispetto ai sistemi monoculturali, come nel caso di Trenbath (1993) che ha descritto come i componenti del sistema consociato sono spesso meno danneggiati da parassiti e malattie rispetto ai raccolti in coltura pura.

Però, non tutti i sistemi di consociazione forniscono vantaggi, indipendentemente dalla località di applicazione. Ad esempio, nelle regioni temperate, legumi da granella e cereali consociati come foraggio producono guadagni variabili a seconda delle specie degli stessi, delle densità di semina e delle condizioni di crescita specifiche (Anil et al., 1998); consociazioni di cereali e leguminose spesso danno una biomassa e rese proteiche inferiori rispetto ai cereali coltivati singolarmente.

Quando però i benefici della consociazione si verificano, emergono da uno sfruttamento migliore e più efficiente delle risorse, come la radiazione solare, l'acqua, il suolo e i nutrienti, dalle interazioni benefiche della coltura consociata (facilitazione).

Ci sono comunque degli elementi da considerare: la consociazione può essere meno idonea quando è richiesto un singolo prodotto standardizzato in un sistema di agricoltura intensiva (Feike et al., 2012). Di conseguenza, nonostante i suoi potenziali benefici, questa pratica agricola deve affrontare un'enorme concorrenza da parte dell'agricoltura convenzionale e intensiva su larga scala.

Pertanto, per garantire la sua diffusione e consentire un'intensificazione agricola sostenibile, i sistemi di consociazione devono essere ottimizzati per migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse e la resa delle colture simultaneamente (Li et al., 2013, 2014), promuovendo al contempo benefici più ampi, inclusa la fornitura di molteplici servizi ecosistemici (Mace et al., 2012). A tal fine risulta di fondamentale importanza individuare le giuste densità di semina per garantire un'efficiente utilizzo delle risorse e del suolo ad entrambe le specie, evitando spiacevoli effetti di competizione. Altro elemento importante è l'individuazione delle varietà maggiormente adatte a questa pratica agricola.

Una sfida primaria per i ricercatori consiste nel comprendere i processi ed i meccanismi alla base delle consociazioni. Tale conoscenza potrebbe consentire la modifica dei sistemi consociati per massimizzare i risultati desiderati (ad es. produzione di cibo, qualità del paesaggio o conservazione della biodiversità) e quindi promuovere la sua più ampia diffusione.



Dal punto di vista ecologico, definiamo i processi che avvengono nei sistemi consociati come: interazioni negative di competizione e interazioni positive di facilitazione e complementarità (Odum, 1968). Per comprendere le interazioni tra le specie gli ecologi hanno studiato a lungo l'ecologia dei sistemi agricoli (Vandermeer, 2010). Un interesse molto recente ha riguardato l'effetto del contesto ambientale sull'interazione tra le piante (Brooker et al., 2008). Prove sostanziali ora indicano che in condizioni ambientali più severe (ad esempio sistemi semiaridi, artici, alpini o fortemente pascolati), le interazioni benefiche nette (facilitative) sono più comuni, ma sono controbilanciate dalle interazioni negative in ambienti produttivi (ad esempio praterie), quando cioè le condizioni ambientali migliorano (He et al., 2013; Li et al., 2013). Queste prevedibili variazioni nell'interazione tra piante a seconda del contesto ambientale sono diventate note come "ipotesi del gradiente di stress" (SGH, Stress Gradient Hypothesis) (Brooker et al., 2008); determinate colture coltivate in sistemi di consociazione riescono ad avere una maggiore efficienza ed una migliore risposta se poste in situazioni non ottimali piuttosto che in ambienti di base migliori.

Sulla base di questo concetto ecologico, potremmo ragionevolmente aspettarci che il bilancio netto delle interazioni che si verificano all'interno dei sistemi di consociazione possa variare a seconda del contesto ambientale. Ciò potrebbe spiegare, ad esempio, parte della variabilità tra gli anni e tra i siti riscontrata nei benefici della consociazione e fornire una base strutturale per adattare i sistemi questa pratica all'ambiente locale.

Molti studi ecologici recenti hanno anche esplorato la funzione della biodiversità relazionata ai sistemi naturali e semi-naturali, esaminando quando i benefici effettivi (ad es. maggiore produttività o stabilità della produttività) sono sorti dalla combinazione di genotipi o specie in comunità più eterogenee (Cardinale et al., 2012). Nel 79% degli esperimenti sulla biodiversità, la produzione di biomassa nei sistemi di consociazione è stata, in media, 1,7 volte superiore rispetto alla monocoltura (Cardinale et al., 2007). Una maggiore biodiversità può aumentare la produttività e altre funzioni dell'ecosistema attraverso gli effetti di sostituzione e complementarità. Gli effetti di sostituzione (o selezione) determinano una predominanza delle consociazioni da parte di singole specie o genotipi di colture molto produttive: le specie dominanti aumentano le rese nelle consociazioni rispetto alle rese attese (calcolate dalle medie della monocoltura delle specie componenti), ma questo non avviene a causa delle interazioni benefiche tra piante vicine (Huston, 1997). Gli effetti di complementarità si verificano quando le piante consociate con tratti complementari interagiscono positivamente in maniera tale da poter

aumentare la produttività; in questo caso sono possibili reali guadagni di resa: sia la facilitazione diretta che la complementarità delle colture consentono alle stesse, in sistemi di consociazione, di produrre di più rispetto alle loro corrispondenti monoculture (Trenbath, 1974).

Lo studio delle consociazioni come pratica agricola richiede quindi un approccio ecologico legato all'investigazione delle interazioni tra le diverse specie, le diverse varietà utilizzate e l'ambiente in cui sono inserite.

Ad esempio, studi che collegano filogenesi e caratteristiche delle specie alla produttività totale (Cadotte et al., 2009) suggeriscono che le specie consociate separate da una maggiore distanza filogenetica (cioè evolutiva) potrebbero avere una ridotta sovrapposizione di nicchia e maggiori effetti netti di complementarità.

La sfida ora è integrare conoscenze ecologiche ed agronomiche nella progettazione e nell'analisi dei risultati degli studi sulle consociazioni.

### **1.3 Reintroduzione delle leguminose nei sistemi agricoli**

La nuova produzione agricola sostenibile si baserà su sistemi produttivi che faranno forte affidamento sulla fissazione simbiotica di N da parte delle leguminose (Ladha et al. 2013); uno scenario già presente negli anni '50, dove in alcuni paesi europei, circa la metà di tutto l'azoto disponibile per le colture derivava dalla fissazione simbiotica da parte delle leguminose e dalla concimazione verde (Peoples et al. 2009).

Inoltre, lo sfruttamento della fissazione simbiotica dell'azoto atmosferico da parte delle leguminose come fonte di azoto risulta essere un aspetto importante in quanto questo significa che ci sarà minore necessità di fertilizzante azotato sintetico (Fustec et al. 2010), riducendo, anche le emissioni di CO<sub>2</sub> (Nieder e Benbi 2008).

Quindi la reintroduzione delle leguminose è uno strumento che ad oggi può permettere di ridurre la dipendenza dai fertilizzanti azotati sintetici, diversificare le produzioni e gli avvicendamenti colturali ed aumentarne la biodiversità e la sostenibilità. L'agricoltura biologica è per tale motivo considerata come un prototipo poiché nell'agricoltura biologica non è consentito l'uso di prodotti chimici ed in generale presume di fare affidamento su una maggiore diversità delle colture rispetto alla sua convenzionale controparte. La diversificazione dei sistemi di coltivazione tramite un aumento del numero di specie coltivate e includendo una porzione maggiore di legumi è stata proposta come ricostituzione globale e come risposta alle sfide future

dell'agricoltura (Vandermeer 1995; Vandermeer et al. 1998; Altieri 1999; Griffon 2006; Malézieux et al. 2009).

A tal proposito, soprattutto in quei sistemi di coltivazione con una quantità limitata di azoto a disposizione, i legumi sono in grado di poter aumentare la produttività agricola (Seran&Brintha, 2010; Altieri et al. 2012).

Le leguminose sono molto importanti in svariati sistemi di consociazione e rientrano tra le prime 10 specie di colture consociate più frequentemente utilizzate elencate da Hauggard-Nielsen & Jensen (2005).

Le emissioni di CO<sub>2</sub> come risultato della produzione, distribuzione e applicazione di fertilizzante azotato e le implicazioni per la salute e per l'ambiente causato dalle grandi quantità di azoto perso dai suoli fertilizzati a causa dell'inefficienza di utilizzo dello stesso (Peoples et al., 2004; Crews and Peoples et al. 2005) ci suggerisce che è opportuno rivalutare il ruolo potenziale delle leguminose, come il favino, come fonte di azoto per i futuri sistemi di coltivazione.

#### **1.4 Utilizzo del favino: vantaggi e problematiche**

Il favino (*Vicia faba minor*) è una delle colture di leguminose da granella più importanti a livello mondiale.

Il genere *Vicia* L. appartiene alla famiglia delle Fabaceae. Il Vicino Oriente è considerato un centro di origine per la Fava (Cubero, 1974), mentre la Cina sembra essere un centro secondario di origine (Zong et al., 2009, 2010).

La sua superficie globale è diminuita da 3,7 a 2,1 milioni di ettari tra il 1980 e il 2014 e le rese sono molto variabili all'interno dei vari paesi (FAO, 2017). Nonostante la diminuzione della superficie, la produttività negli ultimi anni sembra essere in aumento (Link et al., 2010; Sillero et al., 2010; Singh et al., 2012 ). La produzione mondiale di favino nel 2014 è stata di 4,1 milioni di tonnellate, circa il 21% in più rispetto al 1994 (FAO, 2017).

È utilizzato per lo più a scopo zootecnico anche se in alcuni paesi, i suoi semi sono utilizzati anche per il consumo umano (es. Etiopia); sono altamente nutrienti grazie al loro elevato contenuto proteico (fino al 35% nei semi secchi). (Lizarazo et al., 2015; Longobardi et al., 2015; Neme et al., 2015).

L'inclusione del favino all'interno dei sistemi colturali permette di ottenere numerosi vantaggi, a partire dal miglioramento della fertilità del suolo. Infatti, la sua elevata

efficienza nello stabilire un rapporto di simbiosi con lo specifico batterio *Rhizobium* e la conseguente fissazione biologica dell'azoto permette di garantire una minore necessità di utilizzo dei fertilizzanti sintetici azotati ed una migliore attività biologica presente nel suolo. Tra le leguminose è quella con la maggiore fissazione biologica di azoto.

Tuttavia, la sua coltivazione è ostacolata da molti fattori e problematiche, che interessano in generale tutte le leguminose: vi è una scarsa domanda di queste colture a causa dell'instabilità del mercato e dei prezzi di vendita, sono colture suscettibili a malattie fungine e poco competitive contro le infestanti e danno rese basse ed instabili.

Per questi motivi, il favino, nonostante tutte le caratteristiche positive descritte nel capitolo precedente risulta essere una specie che sempre di meno riesce a stabilizzarsi nei sistemi colturali agricoli come coltura pura, soprattutto in quelli biologici.

A causa di tutto ciò è stata valutata la possibilità di introduzione del favino all'interno di sistemi di consociazione in modo tale da poter sfruttare le sue caratteristiche positive e attenuare, grazie all'altra specie consociata, le caratteristiche negative.

### **1.5 Utilizzo del favino nelle consociazioni**

Le due principali attività agricole che beneficiano di queste caratteristiche sono i cicli di rotazione delle colture (diversificazione temporale) che includono i legumi e le consociazioni (diversificazione spaziale) di questi ultimi con altre colture, come ad esempio i cereali, non in grado di fissare l'azoto atmosferico (Jensen et al., 2010).

Come con altri legumi, il favino, come abbiamo già detto in precedenza, è in grado di fornire un importante servizio attraverso la sua capacità di fissare simbioticamente l'azoto atmosferico ed essendo una delle leguminose con il più alto livello di fissazione azotata. È grazie a questo che si verifica il vantaggio di complementarità, precedentemente descritto, tra queste due specie. Questo può permettere ad esempio di poter soddisfare la domanda di azoto nei cereali, che è fondamentale da un punto di vista di resa e di concentrazione di proteine nel cereale stesso (Garrido-Lestache et al. 2004); tutto ciò risulta molto importante in quei sistemi a basso apporto di azoto in cui risulta molto difficile raggiungere determinati standard proteici del grano richiesti dalle industrie agroalimentari. Numerosi studi infatti confermano che la consociazione dei cereali con le leguminose ed in particolare con il favino, ha permesso un miglioramento della qualità del grano riferito alla concentrazione proteica (e non solo) rispetto alla

tradizionale coltivazione in coltura pura (Jensen et al., 1996; Knudsen et al., 2004; Gooding et al., 2007; Bedoussac e Justes et al., 2010; Naudin et al., 2010).

Una maggiore disponibilità di azoto nelle consociazioni con i legumi si verifica grazie al fatto che la loro competizione per la frazione azotata presente nel suolo è più debole rispetto a quella esercitata da altre specie di piante; inoltre le altre colture non leguminose riescono ad assorbire ulteriore azoto grazie al rilascio di esso nel suolo da parte dei legumi stessi (Li et al. 2013; Bianca et al. 2013).

La quantità di azoto atmosferico che il favino è in grado di fissare dipende molto dalle caratteristiche delle varie cultivar, dalle pratiche agricole locali, dalle proprietà del suolo e dalla presenza di batteri *Rhizobium* efficaci in attività simbiotica presenti nel terreno (Schubert et al., 1990; Adak e Kibritci, 2016; Argaw e Mnalku, 2017).

Inoltre, poiché cereali e legumi differiscono ampiamente per i loro sistemi di radicazione, la loro consociazione aumenta anche l'assorbimento di acqua e la traspirazione e pertanto riduce la perdita di acqua dal suolo attraverso l'evaporazione o la percolazione in profondità (Carlson 2008). Per di più, con una maggiore copertura fogliare nel sistema consociato, la traspirazione rende il microclima più fresco (Innis 1997) e ciò aiuta a ridurre la temperatura del suolo (Chai et al. 2011 ; Miao et al. 2016).

La consociazione di favino con i cereali può essere un ottimo strumento di gestione per il controllo delle infestanti, in particolare in sistemi di agricoltura biologica dove non è ammesso l'utilizzo di erbicidi (Hauggard-Nielsen et al., 2008). Il cereale consociato, in genere, ha una miglior competitività, nei confronti delle erbe infestanti, per l'acqua e i nutrienti e pertanto lo sviluppo di queste risulterà minore rispetto ad un sistema monocolturale di favino (Bulson et al., 1997).

## **1.6 Scopo della tesi**

Lo scopo della tesi è stato quello di valutare il differente comportamento di 12 varietà di frumento duro in consociazione con due varietà di favino, confrontandole con le corrispettive colture pure. La maggiore attitudine alla consociazione di alcune varietà rispetto ad altre può essere utile a comprendere quali siano le caratteristiche e le combinazioni di fattori che meglio permettono una risposta positiva alla consociazione, anche sulla base delle differenze con la coltura pura. Tale strategia può offrire un supporto anche per una futura ricerca di varietà da selezionare per la coltivazione in coltura consociata.

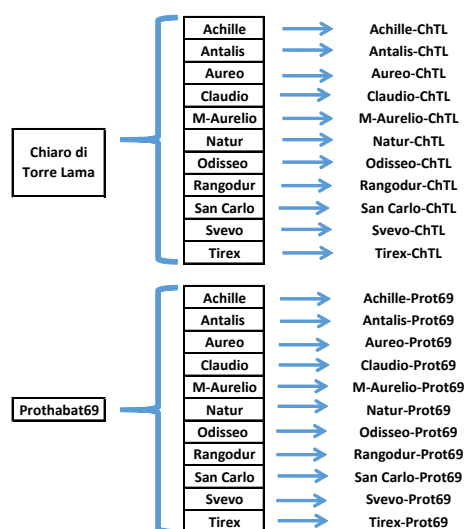
## Capitolo 2

# MATERIALI E METODI

### 2.1 Materiali vegetali, disegno sperimentale e densità di semina

La prova sperimentale di consociazione tra frumento duro (*Triticum durum*) e favino (*Vicia faba minor*) è stata effettuata presso il Centro di Ricerca e Servizio Azienda Agraria “Pasquale Rosati” dell’Università Politecnica delle Marche nell’anno 2020 ed ha riguardato dodici varietà di frumento duro in combinazione con due varietà di favino. Per il cereale sono state scelte le varietà: Achille, Antalis, Aureo, Claudio, Marco Aurelio, Natur, Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo, Tirez. Queste varietà sono caratterizzate da differenti precocità nella spigatura e nella maturazione, differenti produttività e parametri qualitativi della granella. Interessante è stato indagare se le differenti caratteristiche dei materiali vegetali utilizzati risultino in un differente comportamento in coltura consociata con la leguminosa, evidenziando così una certa correlazione tra varietà utilizzata e risposta alla consociazione.

Per il favino sono state scelte le varietà Chiaro di Torre Lama (Chtl) e Prothabat69 (Prot), varietà queste già precedentemente utilizzate nelle prove di consociazione sulla base delle loro differenti caratteristiche e quindi del loro differente comportamento in coltura consociata con un cereale. Il Chiaro di Torre Lama è tra le varietà più diffuse nella Regione Marche, caratterizzata da ottimo adattamento alle condizioni pedo-climatiche regionali, elevata produzione di granella e contenuto medio di proteine (24-26% su s.s.). Il Prothabat69 è caratterizzata da elevata produzione di seme, più precoce del Chiaro di Torre Lama sia nella fioritura che nella maturazione. Inoltre, Prothabat69 ha un contenuto proteico (35% su s.s.) più elevato e un’altezza inferiore rispetto al Chiaro di Torre Lama. Le due varietà di favino incluse nella prova sono state scelte per avere caratteristiche morfo-fisiologiche e produttive estremamente diversificate tra loro. Ciascuna varietà di frumento duro è stata consociata con entrambe le varietà di favino e sono state così ottenute 24 colture consociate (Mix) che sono state messe a confronto con le rispettive colture pure sia di frumento duro che di favino. I Mix ottenuti sono stati denominati secondo lo schema che segue:



**Figura 1: Consociazioni inserite nella prova sperimentale**

La prova di campo è stata eseguita utilizzando un disegno sperimentale a Blocchi Completamente Randomizzati con 4 repliche e parcelle di 6 m<sup>2</sup> con 38 trattamenti: 24 consociazioni, e 14 colture pure. Per le colture pure la densità di semina utilizzata è stata di 350 semi germinabili/m<sup>2</sup> per il frumento duro e di 45 semi germinabili/m<sup>2</sup> per il favino. Nelle consociazioni il cereale è stato inserito al 50% della fittezza di semina della coltura pura (175 semi germinabili/m<sup>2</sup>), mentre la leguminosa al 65% della coltura pura (30 semi germinabili/m<sup>2</sup>).

## 2.2 Gestione della prova in campo

La prova è stata seminata il 22/01/2020 sui terreni dell’Azienda Agraria didattico sperimentale “Pasquale Rosati” dell’Università Politecnica delle Marche. E’ stata effettuata una concimazione con urea (46% N) distribuendo 180 e 90 kg ha<sup>-1</sup> di azoto alle colture pure ed alle colture consociate, rispettivamente. Non è stato effettuato diserbo chimico ma è stata eseguita una valutazione visiva del livello di erbe infestanti presenti nelle colture pure e consociate. Tuttavia, durante la prima fase del ciclo colturale, è stato effettuato un diserbo manuale a cadenza quasi settimanale, per estirpare le piantine di *Cirsium arvense* (nota infestante del frumento), in quanto questa specie, essendo molto aggressiva, avrebbe potuto compromettere il normale andamento della prova.



Il 24-26 Giugno 2020 è stato prelevato un campione di piante all'interno di tutte le parcelle. Nelle consociazioni sono state separate le piante di favino da quelle di frumento e si è poi proceduto a rilevare i seguenti caratteri in tutte le parcelle:

- numero di piante prelevate per ciascuna coltura;
- altezza media del campione di piante;
- numero di steli totali del campione di piante;
- numero di spighe/legumi.

Le spighe sono state poi trebbiate ed i legumi sgranati, ed è stata determinata la produzione di ciascun campione di seme allo scopo di ottenere la produzione per spiga/legume.

La raccolta delle singole parcelle è stata effettuata il 14 Luglio 2020 con mietitrebbia parcellare Wintersteiger-Delta. Successivamente la granella prodotta dalle colture consociate è stata sottoposta a vagliatura manuale allo scopo di separare la granella di frumento duro dal seme di favino e determinare la produzione di granella (t/ha) e l'indice LER (Land Equivalent Ratio), utilizzato per confrontare le consociazioni con le colture pure.

### **2.3 Land Equivalent Ratio (LER)**

Il LER è un indice ampiamente utilizzato nello studio delle consociazioni per valutarne il possibile vantaggio in termini di uso del suolo rispetto alle colture pure, confrontate a parità di condizioni agronomiche e ambientali. L'indice LER è definito come la superficie relativa richiesta in coltura pura per produrre la stessa resa raggiunta in consociazione (Bedoussac et al. 2015) e fornisce quindi informazioni sulla capacità di utilizzo delle risorse di una coltura consociata in confronto alla rispettiva coltura pura.

L'indice consiste nel calcolare il LER delle due diverse colture consociate, in questo caso il favino ( $LER_{faba}$ ) ed il frumento duro ( $LER_{durum}$ ), facendo il rapporto tra la produzione ottenuta in consociazione e quella ottenuta in coltura pura:

$$LER_{faba} = \text{Produzione (t/ha) in consociazione} / \text{Produzione (t/ha) in coltura pura}$$

$$LER_{durum} = \text{Produzione (t/ha) in consociazione} / \text{Produzione (t/ha) in coltura pura}$$

Sommando i due valori ottenuti si ottiene il LER totale:

$$\text{LER}_{\text{totale}} = \text{LER}_{\text{faba}} + \text{LER}_{\text{durum}}$$

Il valore del  $\text{LER}_{\text{totale}}$  è un indice del comportamento della consociazione rispetto la coltura pura.

Quindi se:

- $\text{LER}_{\text{totale}} > 1$  la consociazione è più vantaggiosa delle colture pure;
- $\text{LER}_{\text{totale}} < 1$  le colture pure sono più vantaggiose della consociazione;
- $\text{LER}_{\text{totale}} = 1$  consociazione e colture pure si equivalgono.

Un  $\text{LER} > 1$  indica un vantaggio relativo nella superficie di suolo utilizzata dalla consociazione ed un più efficiente utilizzo delle risorse ambientali come acqua, luce e azoto da parte di questa pratica rispetto alla coltura. Tuttavia, l'indice risulta utile anche per investigare ed individuare il possibile vantaggio competitivo di una specie rispetto ad un'altra con cui è consociata, così come eventuali interazioni negative tra le specie (Bedoussac et al. 2015).

## 2.4 Analisi statistica dei dati

Produzione di granella e LER sono stati analizzati mediante Analisi della Varianza (ANOVA), e successivi confronti e contrasti tra le medie, utilizzando il software JMP 11.0. La normalità nella distribuzione dei dati è stata verificata mediante il programma statistico Past.

L'analisi dei dati è stata eseguita separatamente per le due specie, valutando indipendentemente le colture pure e le consociazioni.

Per le colture pure è stata applicata un'ANOVA applicando un modello per il disegno a blocchi randomizzati con un solo trattamento a 12 livelli per il frumento duro e 2 livelli per il favino.

Per l'analisi dei dati delle colture consociate, le fonti di variazione dell'ANOVA sono state i "Blocchi", i fattori principali "Wheat" e "Faba", e l'interazione di primo ordine "Wheat x Faba". Le differenze tra le medie sono state valutate mediante test t o confronti multipli eseguiti utilizzando il Test HSD di Tukey (Honestly Significant Difference). Questo approccio ha permesso di valutare sia il comportamento medio delle singole varietà sia il

comportamento delle singole varietà nelle diverse combinazioni di colture consociate. I contrasti sono stati applicati per i confronti tra le medie dell'interazione "Wheat x Faba".

## Capitolo 3

### RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 3.1 Produzione frumento duro

##### 3.1.1 Frumento duro in coltura pura

L'Analisi della Varianza dei dati sulle produzioni di frumento duro in coltura pura (Tabella 1) mostra che la fonte di variazione tra "Blocchi" non è risultata significativa, mentre la fonte di variazione "Wheat" è risultata altamente significativa indicando una variabilità tra le produzioni delle diverse varietà di frumento duro. Il test di Tukey è stato impiegato per valutare nel dettaglio le differenze tra varietà. Le produzioni medie delle 12 varietà in coltura pura sono risultate mediamente elevate (Tabella 2), con una scarsa differenziazione tra varietà. Infatti differenze significative sono state riscontrate solo tra le varietà più produttive (Claudio, Nazzareno e Marco Aurelio) e quelle meno produttive (San Carlo e Aureo). Questo risultato era atteso in quanto San Carlo e soprattutto Aureo sono note come varietà meno produttive ma con indici qualitativi elevati. Complessivamente si può comunque notare come le produzioni registrate da tutte le varietà siano elevate, a conferma del buon andamento della prova di campo, nonostante la scarsa piovosità registrata nei mesi di gennaio-febbraio 2020.

**Tabella 1. Risultati dell'ANOVA per la produzione di frumento duro in coltura pura**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,892	0,297	0,898	0,452
Wheat	11	19,112	1,737	5,245	<,0001
Errore	47	10,931	0,233		

**Tabella 2. Confronti Multipli tra le produzioni medie delle 12 varietà di frumento duro in coltura pura**

<b>"Wheat" Pura</b>	<b>t/ha*</b>
Claudio	6,93 <b>a</b>
Nazzareno	6,57 <b>ab</b>
M-Aurelio	6,29 <b>ab</b>
Antalis	6,06 <b>abc</b>
Rangodur	5,99 <b>abcd</b>
Achille	5,85 <b>abcd</b>
Natur	5,82 <b>abcd</b>
Tirex	5,75 <b>abcd</b>
Odisseo	5,64 <b>abcd</b>
Svevo	5,46 <b>bcd</b>
San Carlo	4,83 <b>cd</b>
Aureo	4,58 <b>d</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie



*Foto 1. Frumenti in coltura pura: Nazzareno (sx) e Marco Aurelio (dx)*

### 3.1.2 Frumento duro in consociazione

L'Analisi della Varianza relativa alle produzioni di frumento duro in consociazione ha indicato che la fonte di variazione tra "Blocchi" non è risultata statisticamente significativa, analogamente a quanto osservato per le colture pure.

**Tabella 3. Risultati dell'ANOVA per la produzione di frumento duro in consociazione**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,44	0,147	0,78	0,506
Wheat	11	18,382	1,671	8,93	<,0001
Faba	1	4,471	4,471	24,43	<,0001
Wheat x Faba	11	3,822	0,347	1,85	0,060
Errore	69	12,91	0,187		

La fonte di variazione "Wheat" (Tabella 3) rappresenta l'andamento della produzione media delle singole varietà di frumento duro in consociazione con il favino (media delle produzioni registrate con le due varietà di favino). La variabilità tra varietà riflette la *performance* media delle singole varietà in consociazione, fornendo indicazioni utili per identificare le varietà di frumento duro più idonee ad essere coltivate in coltura consociata con il favino.

**Tabella 4. Confronti multipli (test HSD) tra le produzioni medie delle 12 varietà di frumento in consociazione con il favino**

Wheat	t/ha*
Claudio	4,32 a
M-Aurelio	3,64 ab
Antalis	3,55 bc
Tirex	3,55 bc
Nazzareno	3,54 bcd
Rangodur	3,30 bcde
Achille	3,22 bcde
San Carlo	3,05 bcde
Svevo	2,98 bcde
Odisseo	2,89 cde
Natur	2,82 de
Aureo	2,68 e

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

I confronti multipli tra le medie hanno evidenziato che la varietà Claudio ha mostrato la miglior *performance* in consociazione con il favino (Tabella 4), in quanto ha presentato una produzione media significativamente più elevata di tutte le altre varietà eccetto Marco Aurelio.

Antalis, Tirez, Nazzareno, Rangodur, Achille, San Carlo e Svevo sono risultate statisticamente differenti da Claudio ma non da Marco Aurelio, mentre Odisseo ha presentato una produzione significativamente inferiore a Claudio e Marco Aurelio ma non rispetto alle altre varietà.

E' interessante notare che Claudio è risultata anche la varietà più produttiva in coltura pura (Tabella 2). Comunque, mentre in coltura pura la produzione della varietà Claudio non è risultata significativamente diversa rispetto a molte altre varietà in prova, in consociazione Claudio si è chiaramente messa in evidenza rispetto a quasi tutte le altre varietà eccetto Marco Aurelio. Questo risultato sembrerebbe indicare che Claudio ha mostrato di essere la varietà che ha risposto meglio alla consociazione con il favino rispetto alle altre varietà inserite nella prova sperimentale.

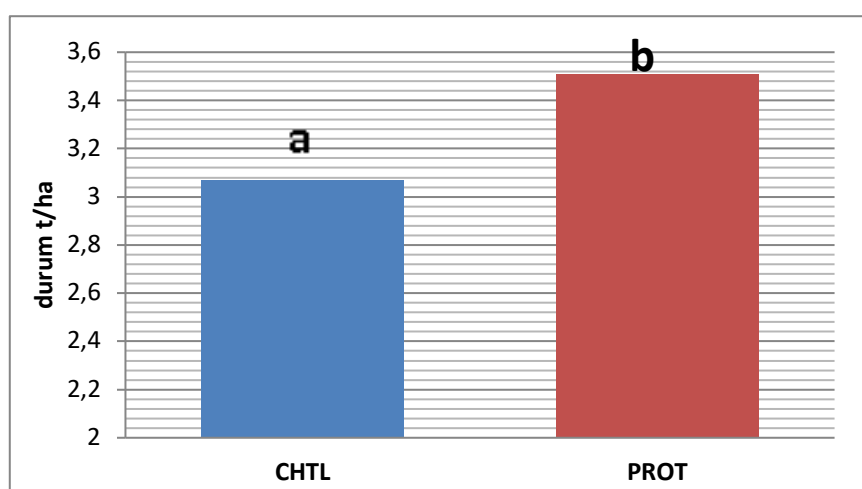
Le varietà Natur e Aureo hanno mostrato produzioni significativamente inferiori rispetto alle varietà più produttive. A questo riguardo si può notare che, mentre Aureo ha confermato il suo basso livello di produzione sia in coltura pura che in consociazione, Natur in consociazione è risultata significativamente inferiore a varietà quali Nazzareno, Tirez, Antalis, Claudio e Marco Aurelio, rispetto alle quali in coltura pura non aveva dimostrato una differenza significativa. Questo risultato sembrerebbe quindi indicare che Natur può essere considerata tra le varietà meno idonee ad essere impiegata in coltura consociata con il favino.

Complessivamente, l'analisi della produzione di granella delle 12 varietà di frumento duro ha messo in evidenza un'interessante differenziazione tra varietà nell'attitudine ad essere coltivate in coltura consociata con il favino.

La fonte di variazione "Faba" (Tabella 3) è risultata altamente significativa e rappresenta il confronto tra la produzione media del frumento duro (media delle 12 varietà) quando consociato con due differenti varietà di favino. L'analisi di questa fonte di variazione ha permesso quindi di valutare l'effetto medio delle due varietà di favino sulla produzione del frumento duro, consentendo di mettere in evidenza eventuali differenze tra le due varietà di favino nella capacità competitiva nei confronti del frumento duro.

Il confronto tra le medie (Figura 2) ha evidenziato che il frumento duro ha dato una produzione significativamente maggiore in combinazione con il Prothabat69 (3,51 t/ha) rispetto alla combinazione con il Chiaro di Torre Lama (3,07 t/ha). Questo risultato può essere dovuto al fatto che il Chiaro di Torre Lama risulta più competitivo del Prothabat69 in consociazione, mettendo in evidenza che la scelta della varietà di favino da inserire nella consociazione può avere effetti significativi sulla produzione del frumento duro.

**Figura 2. Produzione media delle dodici varietà nelle consociazioni con il Chiaro di Torre Lama (CHTL) e con il Prothabat69 (PROT) a confronto**



L'interazione "Wheat x Faba" è risultata non significativa ma ha mostrato un valore del *Pvalue* molto basso ( $P=0,06$ ). Questa interazione ha consentito di confrontare il comportamento di ciascuna delle 12 varietà di frumento duro con ciascuna delle 2 varietà di favino, fornendo quindi indicazioni su una eventuale differenza nella risposta produttiva delle varietà di frumento duro in relazione alla varietà di favino inserita nella coltura consociata. Il livello di significatività della varianza dell'interazione suggerisce che mediamente non è stato riscontrato un differente andamento della produzione di granella delle varietà di frumento duro. Comunque, visto che il *Pvalue* è risultato molto basso, separatamente per ciascuna varietà di frumento duro è stato eseguito un contrasto tra le produzioni medie ottenute in consociazione con il Chiaro di Torre Lama e con Prothabat69 (Tabella 5).



**Tabella 5. Contrasti tra le medie della produzione di frumento duro per le dodici varietà di frumento duro tra la combinazione con il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69**

Wheat	Produzione frumento duro (t/ha)			Pvalue
	Chiaro di Torre Lama	vs	Prothabat69	
Achille	2,65	vs	3,79	<b>0,0004</b>
Antalis	2,65	vs	4,10	<b>0,0006</b>
Aureo	2,44	vs	2,91	0,129
Claudio	4,05	vs	4,58	0,086
M-Aurelio	3,74	vs	3,55	0,536
Natur	2,45	vs	3,14	<b>0,040</b>
Nazzareno	3,61	vs	3,47	0,642
Odisseo	2,67	vs	3,10	0,166
Rangodur	3,22	vs	3,39	0,585
San Carlo	3,00	vs	3,10	0,757
Svevo	2,73	vs	3,22	0,115
Tirex	3,29	vs	3,81	0,098



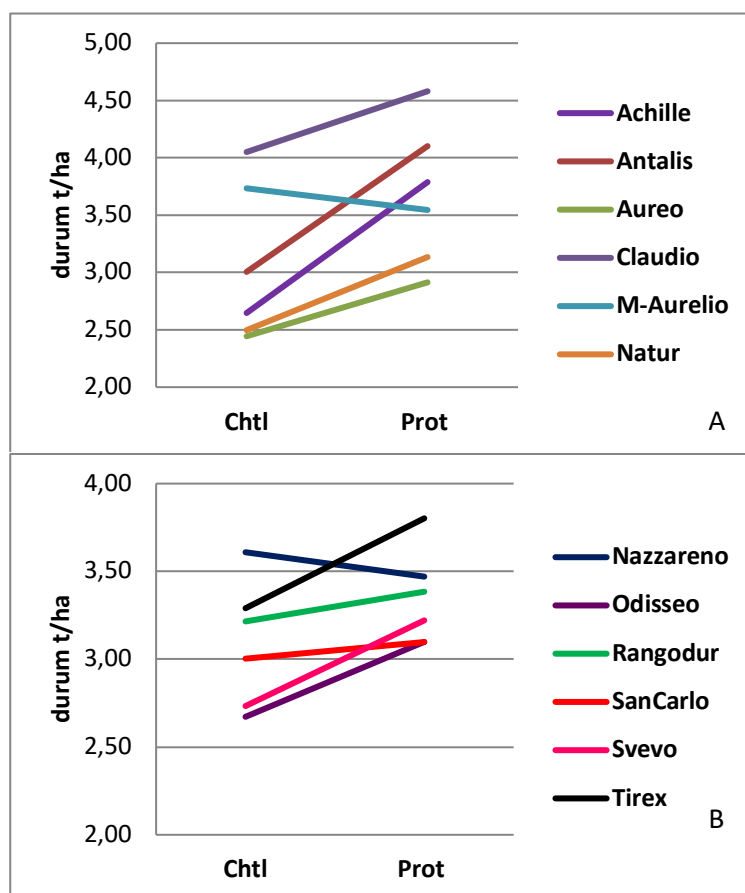
*Foto 2. Consociazioni con maggiore resa in frumento: Antalis-ChTL (sx) e Claudio-ChTL (dx)*

I risultati mostrano che le varietà Achille ( $P < 0,001$ ), Antalis ( $P < 0,01$ ) e Natur ( $P < 0,05$ ) hanno presentato una produzione di granello significativamente più elevata nella

consociazione con Prothabat69 (Tabella 5), mentre per le altre varietà non sono state riscontrate differenze significative tra le due consociazioni. Si deve comunque notare che per Claudio e Tirez la produzione è stata più elevata con il Prothabat69, sebbene con differenze non significative ( $P=0,08$  e  $P=0,09$ , rispettivamente).

Questi risultati confermano in media quanto osservato in precedenza valutando l'effetto medio delle due varietà di favino sulla produzione del frumento duro (Figura 2) poiché il Chiaro di Torre Lama si è dimostrata più competitiva nei confronti del frumento duro rispetto al Prothabat69, sebbene lo studio dell'interazione frumento-favino abbia messo in evidenza differenti andamenti tra le 12 varietà analizzate. La Figura 3 (a e b) riassume i risultati ottenuti mettendo a confronto le produzioni delle 12 varietà di frumento duro ottenute nelle singole consociazioni.

**Figure 3. A) Produzione delle varietà Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot); B) Produzione delle varietà Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo, Tirez in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot)**



Dai grafici in Figura 3 si nota chiaramente che la maggior parte delle varietà ha registrato una produzione maggiore con il Prothabat69, sebbene per Nazzareno e Marco Aurelio si può notare un andamento inverso rispetto alle altre e cioè una produzione maggiore con il Chiaro di Torre Lama ma la differenza tra le due consociazioni con le due varietà di favino non risulta significativa.

### 3.1.3 LER<sub>durum</sub>

Per quanto riguarda il LER<sub>durum</sub> l'ANOVA (Tabella 6) ha mostrato come statisticamente significative le fonti di variazione "Wheat" e "Faba", analogamente a quanto osservato per le produzioni di granella. Il confronto tra le medie ha evidenziato che il LER<sub>durum</sub> medio del frumento duro in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (0,53) è risultato significativamente minore di quello ottenuto in consociazione con il Prothabat69 (0,60).

Il test di Tukey (Tabella 7) ha mostrato che tra le dodici varietà non vi è una grandissima variabilità. Infatti, differenze significative nel LER<sub>durum</sub> sono state osservate solo tra le tre varietà San Carlo, Claudio e Tirez rispetto alla varietà Natur che ha riportato il LER<sub>durum</sub> più basso e leggermente inferiore all'atteso (0,50). Le altre varietà si sono collocate in posizione intermedia non essendo statisticamente differenti dalle altre sopracitate, come mostrato dalla Tabella 7.

**Tabella 6. LER<sub>durum</sub>, risultati dell'ANOVA**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,014	0,005	0,863	0,464
Wheat	11	0,188	0,017	3,045	<b>0,0023</b>
Faba	1	0,134	0,134	23,873	<b>&lt;,0001</b>
Wheat x Faba	11	0,117	0,011	1,892	0,055
Errore	69	0,388	0,006		

**Tabella 7. Confronti multipli (test HSD) tra le medie dei LER<sub>durum</sub> delle dodici varietà di frumento duro calcolati come media delle consociazioni con le due varietà di favino, Chiaro dei Torre Lama e Prothabat69**

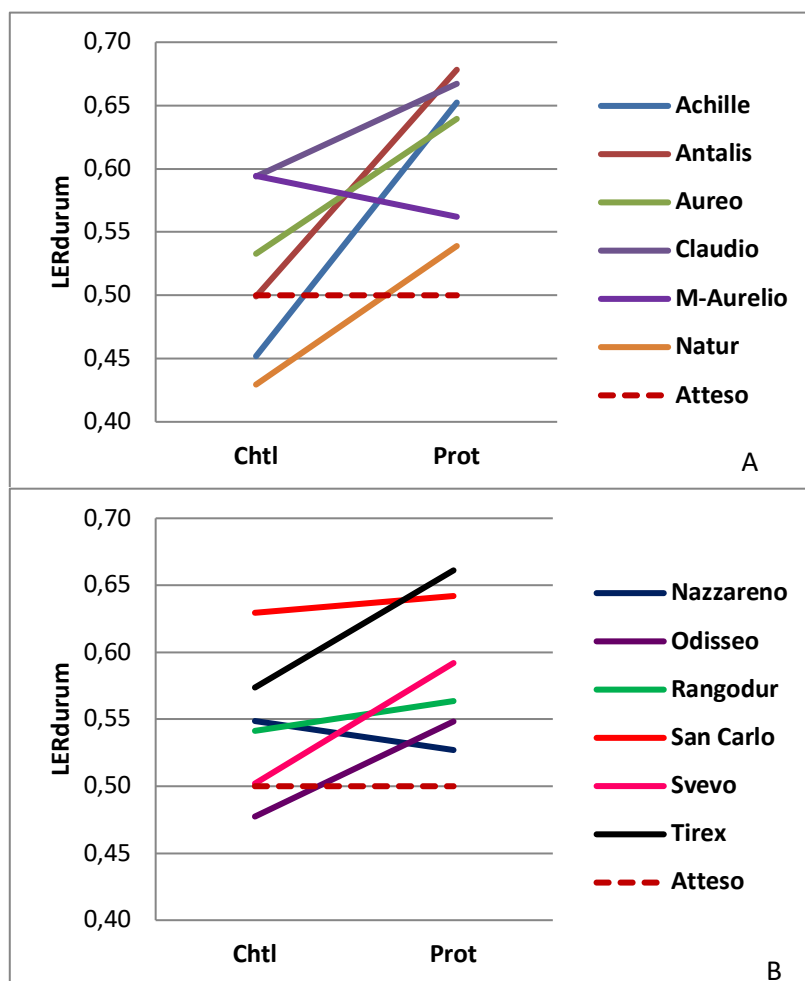
<b>"Wheat"</b>	<b>LER<sub>durum</sub>*</b>
San Carlo	0,63 <b>a</b>
Claudio	0,62 <b>a</b>
Tirex	0,61 <b>a</b>
Antalis	0,58 <b>ab</b>
Aureo	0,58 <b>ab</b>
M-Aurelio	0,57 <b>ab</b>
Rangodur	0,55 <b>ab</b>
Achille	0,55 <b>ab</b>
Svevo	0,54 <b>ab</b>
Nazzareno	0,53 <b>ab</b>
Odisseo	0,51 <b>ab</b>
Natur	0,48 <b>b</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

Dal grafico in Figura 4 si nota che il frumento duro in consociazione ha prodotto di più rispetto all'atteso, andando a confermare che il frumento duro in media ha risposto bene alla consociazione con il favino. Il LER<sub>durum</sub> di ogni varietà, calcolato come media delle consociazioni con le due varietà di favino, è risultato sempre superiore al LER atteso (0,5) in base alla densità di semina utilizzata, ad eccezione della varietà Natur, il cui LER medio (0,48) è risultato essere leggermente inferiore all'atteso.

Tuttavia l'analisi dell'interazione Wheat x Faba ha evidenziato che se si confronta il LER delle diverse varietà in consociazione con il Chiaro di Torre Lama con quello della combinazione con il Prothabat69 si osserva che con quest'ultima varietà i valori sono sempre superiori all'atteso, mentre con il Chiaro di Torre Lama molti frumenti hanno dato valori di LER inferiori all'atteso (Figura 4). Questi sono Achille, Natur e Odisseo. Il LER ha permesso quindi di comprendere la risposta del frumento duro alla consociazione con il favino. In questo caso si può notare come la buona risposta media sia dovuta maggiormente ai risultati del frumento duro in consociazione con il Prothabat69 (Figura 4) per alcune varietà.

**Figura 4. A) LER<sub>durum</sub> delle varietà Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot) e confronto con LER atteso; B) LER<sub>durum</sub> delle varietà Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo, Tirex in consociazione con il Chiaro di Torre Lama (Chtl) e con il Prothabat69 (Prot) e confronto con LER atteso**



I contrasti tra le medie (Tabella 8) hanno mostrato che per le varietà Achille, Antalis, Aureo e Natur la differenza tra le due combinazioni con i due diversi favini risulta statisticamente significativa. Per le prime due la differenza è molto marcata come si nota dalla Figura 5. Il Chiaro di Torre Lama ha determinato minori produzioni per il frumento duro, dimostrando che le varietà di frumento duro hanno subito una maggior competizione con il Chiaro di Torre Lama che non con il Prothabat69.

**Tabella 8. Contrasti tra le medie del LER<sub>durum</sub> della consociazione con il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 per le dodici varietà di favino**

Wheat	LER <sub>durum</sub>			Pvalue
	Chiaro di Torre Lama	vs	Prothabat69	
Achille	0,45	vs	0,66	<b>0,0002</b>
Antalis	0,5	vs	0,68	<b>0,0013</b>
Aureo	0,53	vs	0,64	<b>0,046</b>
Claudio	0,59	vs	0,67	0,176
M-Aurelio	0,6	vs	0,56	0,541
Natur	0,43	vs	0,54	<b>0,041</b>
Nazzareno	0,55	vs	0,53	0,672
Odisseo	0,48	vs	0,55	0,191
Rangodur	0,54	vs	0,57	0,672
San Carlo	0,63	vs	0,64	0,887
Svevo	0,5	vs	0,59	0,094
Tirex	0,57	vs	0,66	0,094

Il LER<sub>durum</sub> inoltre ha permesso di comprendere come le diverse varietà si sono comportate rispetto alla coltura pura: un esempio si nota con la varietà Aureo confrontando i risultati del LER con quelli delle produzioni in coltura pura. Sebbene risulti una delle meno produttive, in consociazione con il Prothabat69 è tra le varietà con una risposta migliore in termini di LER.

### **3.2 Produzione di favino**

#### **3.2.1 Favino in coltura pura**

Dall'Analisi della Varianza per la produzione di favino in coltura pura la differenza tra il Chiaro di Torre Lama (3,5 t/ha) e il Prothabat69 (3,33 t/ha) non è risultata significativa, così come la varianza tra "Blocchi". Si deve notare che le produzioni delle due varietà in coltura pura sono state relativamente elevate ed in linea con i valori di elevate produzioni che questa coltura fa registrare nell'area in cui è stata eseguita la prova sperimentale. L'elevata produzione in coltura pura del favino, così come le produzioni in coltura pura ottenute per il

frumento duro, hanno confermato la buona riuscita della prova sperimentale nell'area oggetto di studio.



Foto 3. Favino in coltura pura: Chiaro di Torre Lama (sx) e Prothabat (dx)

### 3.2.2 Favino in consociazione

Per quanto riguarda la produzione di granella di favino in consociazione, l'ANOVA (Tabella 9) ha mostrato come significativa la fonte di variazione tra "Blocchi" e come altamente significative le altre fonti di variazione: "Wheat", "Faba" e l'interazione "Wheat x Faba".

**Tabella 9. Risultati dell'ANOVA per la produzione di granella di favino**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,259	0,086	3,73	<b>0,015</b>
Wheat	11	1,33	0,121	5,22	<b>&lt;,0001</b>
Faba	1	0,978	0,978	42,29	<b>&lt;,0001</b>
Wheat x Faba	11	1,654	0,150	6,5	<b>&lt;,0001</b>
Errore	69	1,595	0,023		

I confronti multipli tra Blocchi hanno evidenziato una differenza produttiva significativa del favino tra il blocco 1 ed il blocco 3. Il 2 ed il 4 si collocano in posizione intermedia e non risultano statisticamente significativi dagli altri due.

**Tabella 10. Confronti multipli (test HSD) tra i Blocchi**

<b>Blocco</b>	<b>Faba (t/ha)*</b>
3	1,54 <b>a</b>
4	1,51 <b>ab</b>
2	1,43 <b>ab</b>
1	1,41 <b>b</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

La significatività della fonte di variazione “Wheat” ha indicato la presenza di differenti risposte del favino (media delle due varietà prese in esame) in consociazione con le dodici varietà di frumento duro. Il test di Tukey (Tabella 11) ha mostrato che le varietà di grano con cui il favino ha dato i migliori risultati in termini produttivi sono state Natur, seguita da Achille, Antalis, Rangodur, Claudio e Marco Aurelio. Con Natur e Achille il favino ha dato produzioni significativamente maggiori rispetto alle consociazioni con Aureo e Tirex. Gli altri Mix si sono collocati in posizione intermedia.

**Tabella 11. Confronti multipli (test HSD) tra le medie della produzione di favino media tra il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 tra le dodici varietà di frumento duro**

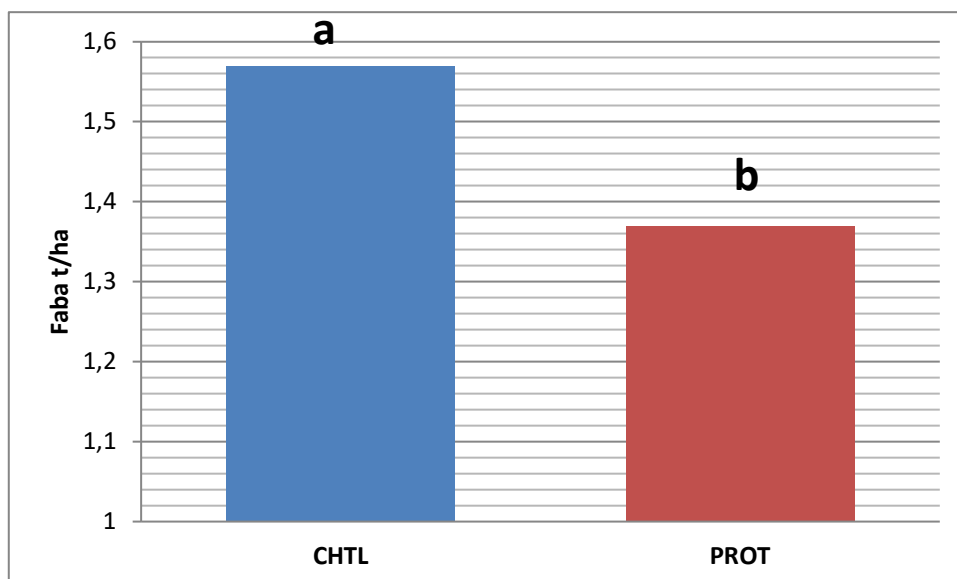
<b>"Wheat"</b>	<b>Faba (t/ha)*</b>
Natur	1,74 <b>a</b>
Achille	1,64 <b>ab</b>
Antalis	1,55 <b>abc</b>
Rangodur	1,51 <b>abc</b>
Claudio	1,50 <b>abc</b>
M-Aurelio	1,05 <b>abc</b>
Nazzareno	1,44 <b>bc</b>
Odisseo	1,43 <b>bc</b>
Svevo	1,39 <b>bc</b>
San Carlo	1,38 <b>bc</b>
Aureo	1,36 <b>c</b>
Tirex	1,31 <b>c</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie



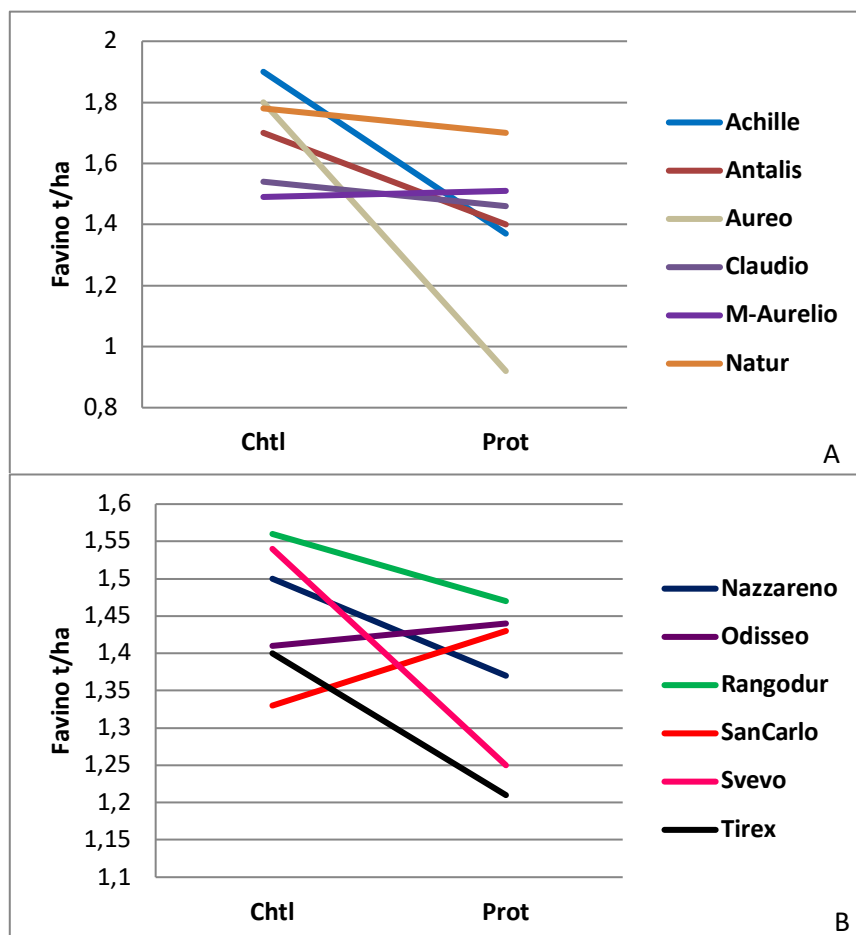
La significatività della fonte di variazione “Faba” ha messo in evidenza un differente comportamento produttivo medio delle due varietà di favino in consociazione con il frumento duro. Infatti, come mostra la Figura 5, la produzione media di Chiaro di Torre Lama, calcolata come media tra le dodici consociazioni (1,57 t/ha), è stata significativamente più elevata della produzione media di Prothabat69 nelle dodici consociazioni (1,37 t/ha), a differenza di quanto ottenuto in coltura pura. Questo risultato ha indicato che differenti varietà di favino possono mostrare diverse risposte in consociazione. Nel presente esperimento la varietà Chiaro di Torre Lama ha presentato una migliore risposta alla consociazione rispetto al Prothabat69. Questo aspetto riveste notevole importanza in quanto indica che la scelta varietale nelle consociazioni è determinante nella *performance* complessiva della coltura consociata.

**Figura 5. Produzione media del Chiaro di Torre Lama (CHTL) e del Prothabat69 (PROT)**



L’interazione “Wheat x Faba” ha permesso di confrontare le produzioni realizzate dalle singole varietà di favino in tutti i Mix presi in esame. In generale, il Prothabat69 ha mostrato produzioni inferiori al Chiaro di Torre Lama.

**Figura 6. Confronto tra le produzioni delle varietà Chiaro di Torre Lama (Chtl) e Prothabat69 (Prot) nelle consociazioni con A) Achille, Antalis, Aureo, Claudio, M-Aurelio e Natur, e B) Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo e Tirez**



Dai contrasti tra le produzioni medie (Tabella 12) delle due varietà di favino in consociazione con la stessa varietà di frumento duro è risultato che il Chiaro di Torre Lama ha mostrato produzioni significativamente più elevate del Prothabat69 nelle consociazioni con le varietà Achille, Antalis, Aureo e Svevo. È inoltre possibile notare tali differenze anche dal grafico in Figura 6.

Nel caso delle consociazioni con le varietà Antalis e Achille si può notare come ad una maggior produzione del favino (varietà Chiaro di Torre Lama) corrisponda una minor produzione del frumento duro, mentre le due varietà di frumento hanno presentato una produzione significativamente più elevata nella consociazione con il Prothabat69 (Tabella 5). Complessivamente quindi si può osservare che in media la varietà Prothabat69 è meno competitiva del Chiaro di Torre Lama nei confronti del frumento duro, e che la *performance*

delle due varietà di favino è stata influenzata dalla varietà di frumento duro inserita nella consociazione.

**Tabella 12. Contrasti tra le medie della produzione di granella di favino in consociazione come tra il Chiaro di Torre Lama ed il Prothabat69 per le dodici varietà di frumento duro**

"Wheat"	Prod. Faba bean t/ha			Pvalue
	Chiaro di Torre Lama	vs	Prothabat69	
Achille	1,9	vs	1,37	<b>&lt;0,001</b>
Antalis	1,7	vs	1,4	<b>0,004</b>
Aureo	1,8	vs	0,92	<b>&lt;0,001</b>
Claudio	1,54	vs	1,46	0,459
M-Aurelio	1,49	vs	1,51	0,871
Natur	1,78	vs	1,7	0,532
Nazzareno	1,5	vs	1,37	0,231
Odisseo	1,41	vs	1,44	0,781
Rangodur	1,56	vs	1,47	0,380
San Carlo	1,33	vs	1,43	0,320
Svevo	1,54	vs	1,25	<b>0,008</b>
Tirex	1,4	vs	1,21	0,081



Foto 4. Consociazioni con maggiore resa in favino: Aureo-ChTL (sx) e Achille-ChTL (dx)

### 3.2.3 LER<sub>faba</sub>

Per quanto riguarda il LER<sub>faba</sub> l'ANOVA (Tabella 12) ha mostrato che tutte le fonti di variazione sono risultate altamente significative.

**Tabella 13. Risultati dell'ANOVA per il LER<sub>faba</sub>**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,076	0,025	9,93	<,0001
Wheat	11	0,116	0,011	4,12	0,0001
Faba	1	0,035	0,035	13,78	0,0004
Wheat x Faba	11	0,148	0,013	5,28	<,0001
Errore	69	0,176	0,003		

I confronti multipli tra i valori del LER<sub>faba</sub> tra i diversi blocchi (Tabella 14) hanno mostrato una differenza significativa tra i blocchi 1 e 4. Il 2 e 3 si sono collocati in posizione intermedia con il blocco 3 che non è risultato statisticamente differente dal blocco 4, ed il blocco 2 non è risultato staticamente differente dall'1. Questo andamento potrebbe indicare un effetto significativo del suolo sul LER del favino, in quanto i blocchi sono stati posizionati seguendo la pendenza (circa 4%) del suolo dove è stata eseguita la prova, con i blocchi posizionati dalla zona ad altitudine minore (blocco1) a quella ad altitudine maggiore (blocco 4) del campo sperimentale.

**Tabella 14. Confronti multipli tra le medie del LER<sub>faba</sub> nei vari blocchi (test HSD)**

Blocco	LER <sub>faba</sub> *
4	0,47 <b>a</b>
3	0,45 <b>ab</b>
2	0,42 <b>bc</b>
1	0,40 <b>c</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

I confronti multipli per il LER<sub>faba</sub> medio del favino (media delle due varietà) hanno messo in evidenza valori differenze significative in relazione alla varietà di frumento duro inserita nella coltura consociata (Tabella 15). In particolare, il LER<sub>faba</sub> più elevato è stato ottenuto nella consociazione con la varietà Natur, con un valore significativamente maggiore rispetto alle varietà Nazzareno, Odisseo, Svevo, San Carlo, Aureo, Tirex.

Il  $LER_{faba}$  nelle consociazioni con le varietà di frumento duro Achille, Antalis, Rangodur, Marco Aurelio e Claudio non è risultato statisticamente differente da quello ottenuto nella consociazione con Natur. Inoltre, il  $LER_{faba}$  ottenuto con queste varietà non è stato significativamente diverso da quello di tutte le rimanenti varietà, con l'unica eccezione rappresentata dalla differenza significativa tra le consociazioni con Achille e Tirex con tutte le altre varietà sopracitate (Tabella 15).

E' interessante notare in Tabella 15 che il favino ha presentato i valori di  $LER_{faba}$  più elevati nella consociazione con la varietà Natur, caratterizzata dal valore più basso di  $LER_{durum}$  tra tutte le 12 varietà di frumento duro (Tabella 7). Nella consociazione con la varietà Aureo, varietà di frumento duro che ha mostrato un  $LER_{durum}$  intermedio (Tabella 7), il favino ha presentato un basso valore di  $LER_{faba}$  (Tabella 15). Nella consociazione con la varietà Claudio, che ha mostrato un  $LER_{durum}$  elevato (Tabella 7), il  $LER_{faba}$  è stato intermedio (Tabella 15). Il confronto tra i valori medi del LER delle due specie sembrerebbe quindi indicare che non è presente una correlazione tra  $LER_{durum}$  e  $LER_{faba}$  nelle colture consociate, ma che la performance relativa delle due specie sia strettamente dipendente dalla combinazione di varietà inserite nella consociazione.

Altro elemento importante da considerare che si nota dai  $LER_{faba}$  è che in generale il favino assume valori inferiori all'atteso in base alla densità di semina (0,65) e cioè produce meno di quanto ci si aspetterebbe: ciò indica che la leguminosa è meno competitiva del cereale in consociazione, poiché il frumento duro è stato mediamente caratterizzato da valori di  $LER_{durum}$  superiori all'atteso.

**Tabella 15. Confronti multipli (test HSD) tra le medie delle due varietà di favino tra le dodici varietà di frumento duro**

"Wheat"	$LER_{faba}$ *
Natur	0,51 <b>a</b>
Achille	0,48 <b>ab</b>
Antalis	0,46 <b>abc</b>
Rangodur	0,44 <b>abc</b>
M-Aurelio	0,44 <b>abc</b>
Claudio	0,44 <b>abc</b>
Nazzareno	0,42 <b>bc</b>
Odisseo	0,42 <b>bc</b>
Svevo	0,41 <b>bc</b>
San Carlo	0,41 <b>bc</b>
Aureo	0,40 <b>bc</b>
Tirex	0,38 <b>c</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

Anche la fonte di variazione “Faba” è risultata significativa all’ANOVA (Tabella 13) ed il LER medio del Chiaro di Torre Lama (0,45) è risultato significativamente superiore al LER medio del Prothabat69 (0,41).

L’interazione “Wheat x Faba” ha permesso di mettere a confronto i valori di LER<sub>fabo</sub> ottenuti dalle singole varietà di favino nei vari Mix. I confronti multipli sono riportati in Tabella 16, da cui si riscontra un andamento molto simile a quanto ottenuto per le produzioni di granella di favino.

**Tabella 16. Confronti multipli (test Hsd) tra tutte le consociazioni**

Mix	Faba t/ha	
Achille-Chtl	1,9	<b>a</b>
Aureo-Chtl	1,8	<b>ab</b>
Natur-Chtl	1,78	<b>ab</b>
Natur-Prot	1,7	<b>abc</b>
Antalis-Chtl	1,7	<b>abc</b>
Rangodur-Chtl	1,56	<b>abcd</b>
Claudio-Chtl	1,54	<b>abcd</b>
Svevo-Chtl	1,54	<b>abcd</b>
M-Aurelio-Prot	1,51	<b>abcd</b>
Nazzareno-Chtl	1,5	<b>abcd</b>
M-aurelio-Chtl	1,49	<b>bcd</b>
Rangodur-Prot	1,47	<b>bcd</b>
Claudio-Prot	1,46	<b>bcd</b>
Odisseo-Prot	1,44	<b>bcd</b>
San Carlo-Prot	1,43	<b>bcd</b>
Odisseo-Chtl	1,41	<b>bcd</b>
Tirex-Chtl	1,4	<b>bcd</b>
Antalis-Prot	1,4	<b>bcd</b>
Achille-Prot	1,37	<b>cd</b>
Nazzareno-Prot	1,37	<b>cd</b>
San Carlo-Chtl	1,33	<b>cde</b>
Svevo-Prot	1,25	<b>de</b>
Tirex-Prot	1,21	<b>de</b>
Aureo-Prot	0,92	<b>e</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

I contrasti (Tabella 17) tra i LER del Chiaro di Torre Lama e del Prothabat69, ottenuti nelle consociazioni con le diverse varietà di frumento duro, hanno mostrato come altamente significative le differenze nelle consociazioni con Achille e Aureo, mentre una differenza non significativa ma con un *Pvalue* molto basso è stata osservata relativamente alla consociazione con le varietà Antalis e Svevo ( $P=0,054$  e  $P=0,07$ , rispettivamente).

**Tabella 17. Contrasti tra le medie del  $LER_{faba}$  tra Chiaro di Torre Lama e Prothabat69 nelle dodici varietà di frumento duro**

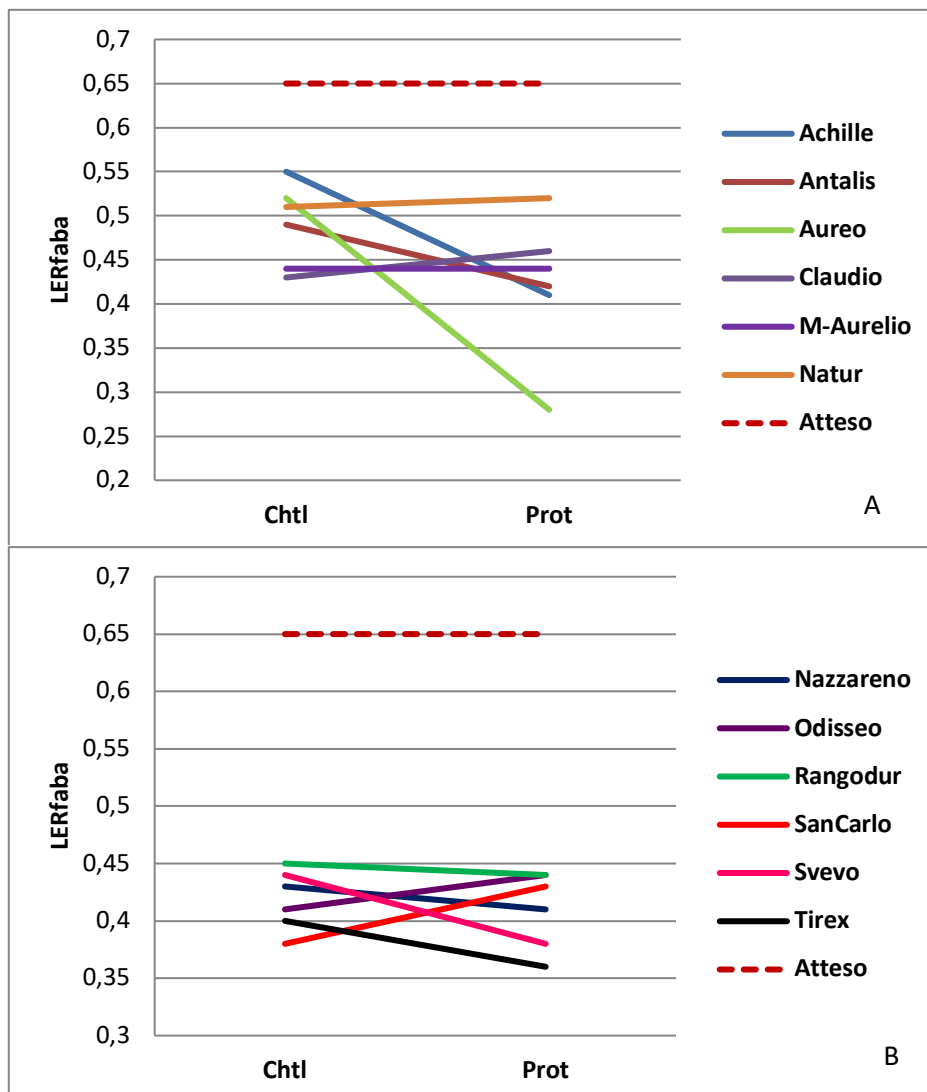
"Wheat"	$LER_{faba}$			<i>Pvalue</i>
	Chiaro di Torre Lama	vs	Prothabat69	
Achille	0,55	vs	0,41	<b>0,0004</b>
Antalis	0,49	vs	0,42	0,054
Aureo	0,52	vs	0,28	<b>&lt;0,001</b>
M-Aurelio	0,43	vs	0,46	1,000
Claudio	0,44	vs	0,44	0,444
Natur	0,51	vs	0,52	0,834
Nazzareno	0,43	vs	0,41	0,577
Odisseo	0,41	vs	0,44	0,404
Rangodur	0,45	vs	0,44	0,834
San Carlo	0,38	vs	0,43	0,146
Svevo	0,44	vs	0,38	0,073
Tirex	0,40	vs	0,36	0,267

L'analisi del  $LER_{faba}$  ha permesso di comprendere il comportamento del favino in risposta alla consociazione con il cereale. I risultati ottenuti hanno mostrato che la leguminosa in generale ha prodotto meno dell'atteso, come si nota dal grafico in Figura 7 in base alle densità di semina, confermandosi come specie meno competitiva del frumento duro in coltura consociata.

In alcuni casi si è notato un comportamento differente delle due varietà di favino testate sia in termini produttivi, sia in termini di LER: il Chiaro di Torre Lama con alcune varietà di frumento ha dato risultati migliori rispetto al Prothabat69 confermandosi come varietà più competitiva, probabilmente grazie alla sua maggiore altezza. Ciò è confermato dal fatto che

all'aumentare del  $LER_{faba}$  della varietà Chiaro di Torre Lama si nota una riduzione del  $LER_{durum}$  della corrispondente varietà inserita nella consociazione. Questo risultato indica che in alcuni casi anche la performance del frumento viene influenzata dalla performance in consociazione del favino.

**Figura 7. Confronto tra  $LER_{faba}$  mostrato dalle varietà Chiaro di Torre Lama (Chtl) e Prothabat69 (Prot) a confronto in consociazione con A) Achille, Antalis, Aureo, Claudio MAurelio e Natur, e B) Nazzareno, Odisseo, Rangodur, San Carlo, Svevo e Tirez**





### 3.2.4 LER<sub>totale</sub>

Il LER<sub>totale</sub> ha permesso di valutare l'andamento generale della consociazione e l'efficacia di questa rispetto alla coltura pura in termini di utilizzo delle risorse.

Dall'Analisi della Varianza del LER<sub>totale</sub> (Tabella 18) sono risultate significative tutte le fonti di variazione.

**Tabella 18. Risultati dell'ANOVA del LER<sub>totale</sub>**

Fonte di variazione	g.l.	Devianza	Varianza	F	Pvalue
Blocchi	3	0,152	0,051	11,55	<,0001
Wheat	11	0,145	0,013	3,01	<b>0,0025</b>
Faba	1	0,032	0,032	7,34	<b>0,0085</b>
Wheat x Faba	11	0,109	0,010	2,27	<b>0,019</b>
Errore	69	0,303	0,004		

Per quanto riguarda i blocchi (Tabella 19) si nota che il blocco 4 ha dato un LER totale significativamente maggiore del blocco 1. I blocchi 3 e 2 si sono collocati in posizione intermedia: il blocco 3 non è risultato statisticamente differente dal blocco 4 ed il blocco 2 dal blocco 1. Questi risultati riflettono quanto ottenuto per il LER<sub>faba</sub>.

**Tabella 19. Confronti multipli (test HSD) tra le medie del LER<sub>totale</sub> nei vari blocchi**

Blocco	LER <sub>totale</sub> *
4	1,05 <b>a</b>
3	1,02 <b>ab</b>
2	0,98 <b>bc</b>
1	0,94 <b>c</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

Relativamente alla fonte di variazione "Wheat", andando ad analizzare i risultati del test di Tukey si nota una variabilità non molto elevata tra i valori di LER<sub>totale</sub> calcolati come media delle consociazione delle due varietà di favino con ogni varietà di frumento duro.

La varietà Claudio ha presentato il LER<sub>totale</sub> medio più elevato e statisticamente differente da Svevo e Odisseo, mentre tutte le altre varietà hanno mostrato valori di LER<sub>totale</sub> intermedi e statisticamente non differenti da nessuna di queste 3 varietà (Tabella 20).

Si può notare che in generale la consociazione frumento duro-favino ha dato valori di LER molto vicini ad 1. Quindi si può concludere che, in termini di utilizzo delle risorse, consociazione e coltura pura si equivalgono. Tuttavia degno di essere messo in evidenza è l'aspetto che riguarda l'efficace contenimento delle infestanti di una consociazione cereali e leguminose rispetto ad una coltura pura di leguminose, notoriamente conosciute come specie poco competitive verso le infestanti, grazie alla presenza del frumento che ha una forte capacità allelopatica verso le commensali. A questo aspetto si collega quindi il minor utilizzo di input chimici.

**Tabella 20. Confronti multipli (test HSD) tra le medie del LER<sub>totale</sub> tra le dodici varietà di frumento duro come media delle consociazioni con le due varietà di favino**

"Wheat"	LER <sub>totale</sub> *
Claudio	1,07 <b>a</b>
Antalis	1,04 <b>ab</b>
San Carlo	1,04 <b>ab</b>
Achille	1,03 <b>ab</b>
M-Aurelio	1,02 <b>ab</b>
Tirex	0,99 <b>ab</b>
Natur	0,99 <b>ab</b>
Rangodur	0,99 <b>ab</b>
Aureo	0,98 <b>ab</b>
Nazzareno	0,96 <b>ab</b>
Svevo	0,95 <b>b</b>
Odisseo	0,93 <b>b</b>

\*i valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

La fonte di variazione "Faba" è risultata significativa (Tabella 18). Il LER<sub>totale</sub> medio per il Chiaro di Torre Lama (0,98) è risultato significativamente inferiore (P=0,008) a quello del Prothabat69 (1,02). Il minore valore di LER<sub>totale</sub> nel Chiaro di Torre Lama può essere dovuto al fatto che il cereale ha risentito negativamente, sia in termini produttivi che di utilizzo delle risorse, della consociazione con la varietà maggiormente competitiva di favino.

L'interazione "Wheat x Faba" ha permesso di confrontare il LER totale di tutti i Mix. Dal test di Tukey (Tabella 21) il LER<sub>totale</sub> delle consociazioni Claudio-Prothabat69 ed Antalis-Prothabat69 è risultato significativamente più elevato del LER<sub>totale</sub> delle consociazioni

Odisseo-Chiaro di Torre Lama e Aureo-Prothabat69. Gli altri Mix si sono collocati in posizione intermedia e non sono risultati statisticamente differenti dagli altri Mix.

**Tabella 21. Confronti multipli (test HSD) tra le medie del LER<sub>totale</sub> nei vari Mix**

Mix	LER <sub>totale</sub>	
Claudio-Prot	1,11	<b>a</b>
Antalis-Prot	1,1	<b>a</b>
San Carlo-Prot	1,08	<b>ab</b>
Achille-Prot	1,07	<b>ab</b>
Natur-Prot	1,05	<b>abc</b>
Aureo-Chtl	1,05	<b>abc</b>
Claudio-Chtl	1,04	<b>abc</b>
Tirex-Prot	1,02	<b>abc</b>
M-Aurelio-Chtl	1,02	<b>abc</b>
M-Aurelio-Prot	1,02	<b>abc</b>
San Carlo-Chtl	1,01	<b>abc</b>
Rangodur-Prot	1	<b>abc</b>
Achille-Chtl	0,99	<b>abc</b>
Antalis-Chtl	0,99	<b>abc</b>
Odisseo-Prot	0,99	<b>abc</b>
Rangodur-Chtl	0,99	<b>abc</b>
Nazzareno-Chtl	0,98	<b>abc</b>
Tirex-Chtl	0,98	<b>abc</b>
Svevo-Prot	0,97	<b>abc</b>
Svevo-Chtl	0,94	<b>abc</b>
Natur-Chtl	0,94	<b>abc</b>
Nazzareo-Prot	0,94	<b>abc</b>
Aureo-Prot	0,92	<b>bc</b>
Odisseo-Chtl	0,89	<b>c</b>

\*I valori che hanno lettere differenti indicano differenze significative tra le medie

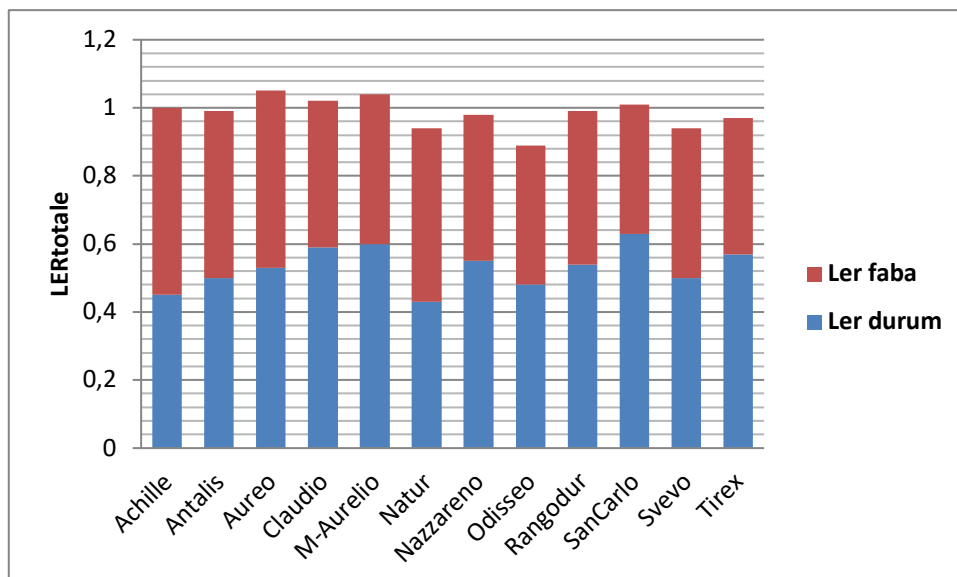
I contrasti tra i diversi Mix hanno rivelato differenze significative nel LER<sub>totale</sub> delle consociazioni tra Chiaro di Torre Lama e Prothabat69 con le seguenti varietà di frumento duro: Antalis, Aureo, Natur e Odisseo (Tabella 22). Questi risultati complessivamente hanno confermato che la scelta varietale è di fondamentale importanza nel determinare l'effetto della coltura consociata sull'utilizzo delle risorse disponibili. In particolare, è stato

evidenziato che l'interazione tra varietà di favino e varietà di frumento solo in alcuni casi ha determinato un effetto significativo sul valore del  $LER_{totale}$  legato alla scelta della varietà di favino inserita nella coltura consociata.

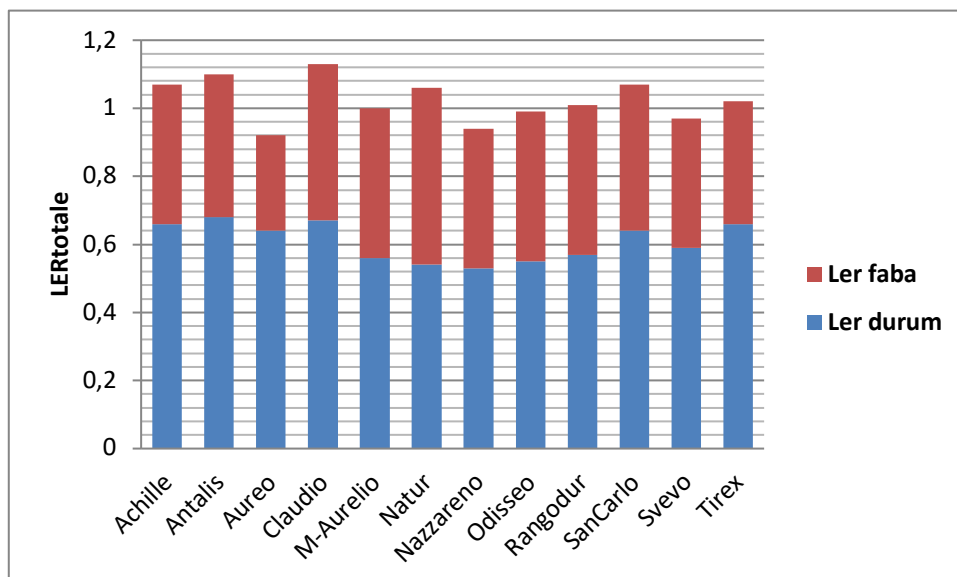
**Tabella 22. Contrasti tra le medie del  $LER_{totale}$  tra la consociazione con Chiaro di Torre Lama e col Prothabat69 nelle dodici varietà**

"Wheat"	$LER_{totale}$			Pvalue
	Chiaro di Torre Lama	vs	Prothabat69	
Achille	0,99	vs	1,07	0,154
Antalis	0,99	vs	1,1	<b>0,024</b>
Aureo	1,05	vs	0,92	<b>0,006</b>
Claudio	1,04	vs	1,11	0,126
M-Aurelio	1,02	vs	1,02	0,915
Natur	0,94	vs	1,05	<b>0,019</b>
Nazzareno	0,98	vs	0,94	0,396
Odisseo	0,89	vs	0,99	<b>0,032</b>
Rangodur	0,99	vs	1	0,710
San Carlo	1,01	vs	1,08	0,170
Svevo	0,94	vs	0,97	0,595
Tirex	0,98	vs	1,02	0,314

**Figura 8. Contributo relativo al valore del  $LER_{totale}$  delle componenti  $LER_{faba}$  e  $LER_{durum}$  diviso per Chiaro di Torre Lama**



**Figura 9. Contributo relativo al valore del  $LER_{totale}$  delle componenti  $LER_{faba}$  e  $LER_{durum}$  diviso per Prothabat69**



In conclusione, il  $LER_{totale}$  della consociazione frumento duro-favino ha mostrato sempre valori intorno ad uno quando il cereale è inserito ad una densità del 50% della coltura pura e la leguminosa al 65%. La Figura 8 riassume il contributo relativo dei valori di  $LER_{durum}$  e

$LER_{\text{faba}}$  al  $LER_{\text{totale}}$ . Il frumento duro ha dato sempre risposte positive e maggiori dell'atteso, mentre il favino ha dato valori inferiori all'atteso. Tuttavia in alcuni casi al corrispondere di un miglioramento della risposta del favino, come nel caso del Chiaro di Torre Lama con alcune varietà corrisponde una risposta meno positiva del cereale o addirittura inferiore all'atteso. Nella consociazione risulta importante scegliere quindi non solo la giusta densità tra le due specie, ma anche la varietà in base agli obiettivi attesi: massimizzare la produzione della leguminosa, massimizzare la produzione del frumento duro o massimizzare l'utilizzo delle risorse mediante consociazione del cereale con la leguminosa.

## Capitolo 4

# CONCLUSIONI

La presente tesi ha messo in evidenza la diversa attitudine varietale in entrambe le specie ad essere coltivata in consociazione. Sia nel frumento duro che nel favino, alcune varietà hanno dato risposte migliori. Quindi per la progettazione di un sistema colturale che comprenda la consociazione è necessario tenere in considerazione questo aspetto attraverso la scelta di varietà che diano un comportamento soddisfacente in combinazione. Prove di questo tipo possono essere anche utili in vista di una futura selezione di varietà adatte alla consociazione.

Il frumento duro ha confermato di essere una specie che risponde bene alla consociazione, anche se può essere influenzato in alcuni casi dal favino con cui è consociato, come evidenziato dai risultati del  $LER_{durum}$ .

Il favino invece, si è confermato come una specie poco competitiva in consociazione con il cereale, come mostrato dai  $LER_{faba}$  sempre minori dell'atteso. Le due specie insieme, riescono a dare dei  $LER_{totale}$  equivalenti alle colture pure: ciò dimostra che in termini di utilizzo delle risorse le due colture si equivalgono e quindi questa consociazione potrebbe essere una valida strategia di coltivazione nei sistemi a basso input o di agricoltura biologica, tenendo in considerazione anche la migliore capacità di questo sistema di fronteggiare le infestanti.

Qualora si confermino i vantaggi osservati sarebbe interessante in futuro fare una valutazione economica tenendo in considerazione i risparmi e i costi a questa pratica associati, quali ad esempio la separazione del seme, al fine di valorizzare tale sistema in apposite filiere produttive.

## BIBLIOGRAFIA

- Aziz M., Mahmood A., Asif M. and Ali A., 2015. Wheat-based intercropping. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 25 (4): 896-907.
- Bedoussac L., Journet E., Hauggaard-Nielsen H., Naudine C., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 911-935.
- Boudreau M., 2013. Diseases in Intercropping Systems. *Annual review of Phytopatology*, 51:499-519.
- Brooker R., Jones H., Paterson E., Watson C., 2014. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206 (1): 107-117.
- Cadotte M. W., Bares-Cavender J., Tilman D., Oakley T., 2009. Using phylogenetic, functional and trait diversity to understand patterns of plant community productivity. *PLoS ONE* 4 (5) e5695.
- Carr, P.M., J.C. Gardner, B.G. Schatz, S.W. Zwinger, and S.J. Guldan, 1995. Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil intercrop. *Agron. J.* 87: 574-579.
- Cox GW, Atkins MD, 1979. *Agricultural ecology: an analysis of world food production systems*. Freeman WH, San Francisco.
- Dietrich JP, Schmitz C, Lotze-Campen H, Popp A, Müller C, 2014. Forecasting technological change in agriculture – an endogenous implementation in a global land use model. *Technol Forecast Soc Chang* 81: 236–249.
- Francis CA. 1986. Introduction: distribution and importance of multiple cropping. In: Francis CA, ed. *Multiple cropping systems*. New York, NY, USA: MacMillan Publishing Co., 1–19.
- Gomes AA, Gomez KA, 1983. *Multiple cropping in the humid tropic of Asia*. IDRC, Ottawa, Ontario.
- Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, von Fragstein P, Pristeri A, Monti M, 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N<sub>2</sub> fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research* 113: 64–71.
- He Q., Bertness M. D., Altieri H. A., 2013. Global shifts towards positive species interactions increasing environmental stress. *Ecology Letters*, 16 (5).
- Huston A. M., 1997. Hidden treatments in ecological experiments: re-evaluating the ecosystems function of biodiversity. *Oecologia* 110 (4): 449-460.



Jensen E., Peoples M. and Hauggaard-Nielsen H., 2010. Faba bean in cropping systems. *Field crops research*, 115 (3): 203-216.

Karkanis A., Ntatsi G., Lapse L., Fernández J., Vågen I., Rewald B., Alsin I., Kronberga A., Balliu A., Olle M., Bodner G., Dubova L., Rosa E. and Savvas D., 2018. Faba Bean Cultivation – Revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1115.

Layek J., Das A., Mitran T., Mena R. S., 2018. Cereal + Legume Intercropping: an option for improving productivity and sustaining soil health. In: *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Meena, R.S., Das, A., Yadav, G.S., Lal, R. (Eds.), Springer, Singapore, pp. 347-386.

Mace M. G., Norris K., 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27: 19-26.

Pappa V., Rees B., Walker L. R., Baddeley J. A., 2011. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 141(1-2): 153-161.

Trenbath B. R., 1974. Biomass Productivity of Mixture. *Advances in Agronomy*, 26:177-210.

Vandermeer J. H., 1989. *The Ecology of intercropping*. Cambridge: Cambridge University Press.