



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

CONSOCIAZIONE DEL FAVINO (*Vicia faba minor*) CON FRUMENTO DURO A  
VARIE DENSITA' DI SEMINA

Intercropping faba bean (*Vicia faba minor*) with  
Durum wheat at different sowing densities

TIPO TESI: sperimentale

Studente:  
MATTEO SOCCI

Relatore:  
PROF./DOTT. STEFANO TAVOLETTI  
CORRELATORE:

CORRELATORE:  
DOTT.SSA ARIELE MERLETTI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

“Se camminassimo solo nelle giornate di sole non raggiungeremmo mai la nostra destinazione” ( Paulo Coelho)

# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE .....	4
ELENCO DELLE FIGURE .....	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	6
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	7
1.1 Il favino ( <i>Vicia faba minor</i> ) .....	9
1.2 La consociazione.....	13
1.3 Scopo della tesi.....	19
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI .....	21
2.1 Materiali vegetali e densità di semina utilizzate .....	21
2.2 Disegno sperimentale e gestione della prova in campo .....	23
2.3 Land Equivalent ratio (LER).....	24
2.4 Analisi statistica dei dati.....	25
CAPITOLO 3 RISULTATI.....	26
3.1 Frumento duro: produzione di granella e $LER_{durum}$ .....	26
3.2 Favino: produzione di seme e $LER_{faba}$ .....	32
3.3 $LER_{TOTALE} : LER_{durum} + LER_{faba}$ .....	36
CONCLUSIONI .....	39
BIBLIOGRAFIA .....	40

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Densità di semina (piante/m <sup>2</sup> ) delle colture pure e delle colture consociate..	23
Tabella 2: Produzione di granella di frumento duro: risultati dell'ANOVA.....	26
Tabella 3: Confronti multipli (test HSD di Tukey) tra le medie della produzione del frumento e del LER <sub>durum</sub> nelle diverse "Colture" (colture pure e consociazioni).....	30
Tabella 4: LER <sub>durum</sub> : risultati dell'ANOVA.....	30
Tabella 5: Produzione di seme di favino: risultati dell'ANOVA.....	32
Tabella 6: Confronti multipli (test HSD di Tukey) tra le medie della produzione di favino nelle diverse "Colture" (colture pure e consociazioni) e valori ottenuti dal LER <sub>fab</sub> .....	33
Tabella 7: LER <sub>fab</sub> : risultati dell'ANOVA.....	34
Tabella 8: LER <sub>totale</sub> : risultati dell'ANOVA.....	36

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1 : Confronto degli ettari di favino e pisello proteico coltivati in Italia dal 2004 al 2020.....	11
Figura 1-2 : Confronto tra la produzioni di favino e pisello proteico coltivato in Italia dal 2004 al 2020.....	12
Figura 1-3 : Esempio di una consociazione a strisce tra frumento e pisello proteico.....	16
Figura 2-1 : Campo sperimentale suddiviso in parcelle.....	22
Figura 3-1 : Consociazione con Mix 1 (20% frumento - 100% favino).....	27
Figura 3-2 : Consociazione con Mix 2 (40% frumento - 100% favino).....	28
Figura 3-3 : Consociazione con Mix 5 (100% frumento - 100% favino).....	29
Figura 3-4 : $LER_{durum}$ : Confronto tra valori attesi ed osservati in base alla densità di semina.....	31
Figura 3-5 : $LER_{faba}$ : Confronto tra l'atteso in base alle densità di semina e l'osservato...	34
Figura 3-6 : Confronti tra le medie della produzione di frumento duro (in rosso) e favino (in blu), risultati Tukey HSD.....	35
Figura 3-7 : Valori ottenuti del $LER_{totale}$ , suddivisi nelle due componenti: $LER_{durum}$ e $LER_{faba}$ .....	37

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

LER Land Equivalent Ratio.

LER<sub>DURUM</sub> Produzione (t/ha) in consociazione/ Produzione (t/ha) in coltura pura di frumento.

LER<sub>FABA</sub> Produzione (t/ha) in consociazione/ Produzione (t/ha) in coltura pura di favino.

# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Ad oggi l'agricoltura deve affrontare contemporaneamente diverse sfide, tra cui quella di garantire la sicurezza alimentare per una crescente popolazione attraverso l'aumento della produttività e del reddito degli agricoltori, riducendo l'impatto ambientale del settore agricolo e il cambiamento climatico (*Beddington et al., 2012; Foresight, 2011; FAO, 2011; IAASTD, 2009*).

Si prevede che entro il 2050, più di 2 miliardi di persone soffriranno di insicurezza alimentare (*Bruinsma, 2009; Banca Mondiale, 2007*). Causa importante di ciò, nei paesi in via di sviluppo è l'instabilità delle rese della monocoltura, dovuto alla sua minore resistenza alle perturbazioni ambientali ed agli stress biotici (*Lithourgidis et al., 2011*). La stabilità della resa è cruciale per la sicurezza alimentare della sussistenza e dei piccoli agricoltori (*Trenbath, 1999*).

Queste sfide future richiedono che i sistemi agroalimentari diventino più efficienti a tutte le misure: dalla piccola azienda agricola a livello globale.

La diversificazione dei sistemi agricoli nel tempo e nello spazio dovrebbe giocare quindi un ruolo importante in questo contesto (*IPES-Food, 2016; IAASTD, 2009*). La consociazione, vale a dire la coltivazione di due o più specie di colture contemporaneamente nello stesso campo (*Vandermeer et al., 1998*), potrebbe contribuire all'intensificazione sostenibile della produzione vegetale (*IPES-Food, 2016; Jensen et al., 2015; Bommarco et al., 2013; IAASTD, 2009; Niggli et al., 2008*) ed alla diversificazione nello spazio. Questa pratica è infatti considerata un modo efficiente per raggiungere la sostenibilità in agricoltura da parte di molti agricoltori, ricercatori e responsabili politici in tutto il mondo (*Vandermeer, 2011; Jackson et al., 2007; Altieri, 1999*). La consociazione porta vantaggi basati sui principi ecologici di competizione, complementarità e compensazione (*Hauggaard-Nielsen et al., 2008; Vandermeer et al., 1998*). Il vantaggio più comune è l'ottenimento di una resa più elevata in un'area specifica attraverso un uso più efficiente e complementare del suolo e delle risorse disponibili per la crescita, rispetto alle monocolture (*Hauggaard-Nielsen et al., 2008; Dhima et al., 2007; Banik et al., 2006; Jensen, 1996*). Inoltre, la consociazione consente di

mantenere, e se possibile incrementare la biodiversità delle piante all'interno dei sistemi agricoli, riconosciuto quest'ultimo aspetto, come un importante pilastro dello sviluppo sostenibile (IAASTD 2009; Davies et al. 2009). Circa 7000 specie usate in misura significativa dall'uomo in tutto il mondo (Walter e Lebot 2003), di cui solo 82 forniscono il 90% dell'energia consumata dagli esseri umani (Prescott-Allen e Prescott-Allen 1990). Ciò nonostante salvaguardare o ripristinare "vecchie" varietà sarà sempre più complicato, perché la maggior parte di queste colture e varietà tradizionali sono poco appetibili rispetto alle moderne varietà più produttive.

La consociazione si sposa bene con i concetti dell'agricoltura biologica, soprattutto sul ridurre l'impatto ambientale dell'agricoltura e salvaguardare la biodiversità, favorendo la coltivazione di quelle colture considerate più marginali e meno redditizie, ma che sono fondamentali con la loro attività come le leguminose.

Si ritiene che l'effetto di stabilizzazione della resa delle colture consociate, in particolare delle consociazioni tra leguminose e cereali, si basi sul principio di compensazione, ovvero due diverse colture hanno meno probabilità di essere entrambe perse a causa, ad esempio, di malattie, parassiti o condizioni climatiche estreme. È stato dimostrato che, a qualsiasi livello di disastro, la consociazione ha minori probabilità di fallimento rispetto a quella di una coltura pura (Rao e Willey, 1980). Complementarità, come il diverso sviluppo radicale, diversa architettura della porzione epigea o uso differenziale delle risorse (come l'azoto), sono altri fattori che contribuiscono ad una maggiore stabilità della resa. Consociare i legumi, che possono fissare biologicamente l'azoto atmosferico ( $N_2$ ) con i cereali, è un modo per migliorare la complementarità nell'utilizzo delle risorse azotate (Andersen et al., 2005; Jensen, 1996). A causa della minore capacità competitiva dei legumi da granella per l'acquisizione di N del suolo, i cereali consociati possono ottenere una maggiore percentuale di azoto dal terreno, con conseguente aumento della resa rispetto alle piante in coltura pura (Hauggaard-Nielsen e Jensen 2005; Corre-Hellou et al., 2006).

Inoltre, la coltura consociata o mista può alterare il microclima di un altro componente della consociazione, rendendolo sfavorevole all'attacco di parassiti e malattie, con il risultato di una maggiore produttività e stabilità.

Nonostante questi vantaggi, la coltivazione di legumi da granella, è sfavorita, anche nelle rotazioni delle colture biologiche, a causa di una reputazione di basse produzioni e reddito e instabilità legata a diversi fattori come l'intolleranza allo stress idrico, le difficoltà di raccolta a causa di allettamento, attacchi di agenti patogeni che causano malattie come



*Ascochyta* spp., *Botrytis* spp. o *Erysiphe* spp., sensibilità ai parassiti come *Sitona lineatus* L. o *Acyrtosiphon pisum* Harris e la competizione dell'erbe infestanti.

### **1.1 Il Favino (*Vicia faba*)**

Il favino (*Vicia faba* L.), legume da granella coltivato in tutto il mondo come fonte di proteine per alimenti e mangimi, allo stesso tempo, offre servizi eco-sistemici come l'immissione di azoto (N) rinnovabile nelle colture e nel suolo attraverso la fissazione biologica di N<sub>2</sub>, e una diversificazione dei sistemi di coltivazione. Anche se la resa media globale è quasi raddoppiata negli ultimi 50 anni, la superficie totale seminata a favino è diminuita del 56% nello stesso periodo. Le fluttuazioni stagionali nella resa in granella della coltura e la progressiva sostituzione dei sistemi di coltivazione tradizionali, che utilizzavano legumi per fornire azoto e mantenere la fertilità del suolo, con sistemi industrializzati, in gran parte a base di cereali, che dipendono fortemente dai combustibili fossili (= fertilizzanti N, meccanizzazione pesante) sono alcune delle spiegazioni di questo declino di importanza.

Il favino (*Vicia faba minor*) viene coltivato in tutto il mondo nei sistemi di coltivazione come legume da granella e da sovescio. Gli studi inerenti l'inserimento di questo legume nei sistemi di coltivazione tendono a concentrarsi sull'effetto della leguminosa come pre-coltura in rotazioni principalmente con cerealicole (Jensen et al. 2010). *Vicia faba* ha la più alta percentuale di fissazione di N<sub>2</sub> dei principali legumi da granella della stagione fredda. Questo lo rende altamente benefico per le colture successive, e diversi studi hanno dimostrato un notevole risparmio (fino a 100-200 kg N ha<sup>-1</sup>) nella quantità di fertilizzazione azotata necessaria per le colture successive. Tuttavia, da valutare, i potenziali rischi di perdite di N dal sistema del terreno vegetale associati alla coltivazione del favino attraverso la lisciviazione dei nitrati o le emissioni di N<sub>2</sub>O nell'atmosfera come conseguenza della rapida mineralizzazione di azoto dai suoi residui. Sarebbe interessante da questo punto di vista, sviluppare misure preventive migliorate, come le colture di cattura, le colture intercalari o le tecnologie no-till, al fine di fornire agli agricoltori strategie per ridurre al minimo i possibili effetti indesiderati sull'ambiente che potrebbero derivare dall'inclusione del favino nel sistema di coltivazione. La ricerca quindi, può portare ad una riduzione dell'attuale grado di variabilità delle rese, in modo che la coltivazione della leguminosa possa rivelarsi una componente chiave dei futuri sistemi di coltivazione dei seminativi, dove il calo delle forniture e gli alti prezzi dell'energia fossile probabilmente limitano l'accessibilità economica e l'uso di fertilizzanti. Ciò contribuirà ad affrontare la crescente domanda da parte dei

consumatori e dei governi per ridurre l'impatto dell'agricoltura sull'ambiente e sul clima attraverso nuovi approcci più sostenibili alla produzione alimentare. (*Jensen et al. 2010*)

Questo legume contribuisce quindi alla sostenibilità dei sistemi agricoli attraverso diversi aspetti: la sua capacità di contribuire all'azoto (N) del sistema attraverso la fissazione biologica, la diversificazione dei sistemi se inserito nelle rotazioni colturali, che porta ad una diminuzione delle malattie, parassiti ed erbe infestanti e ad un potenziale aumento della biodiversità, la riduzione del consumo di energia fossile nella produzione vegetale e la fornitura di alimenti e mangimi ricchi di proteine.

Nonostante tali benefici, negli ultimi anni questa leguminosa è stata coltivata solo su circa 2,6 milioni di ettari (*FAOSTAT, 2008*), dato paragonabile ad appena il 39% della superficie globale di piselli secchi (*Pisum sativum* L.) e solo il 3% della superficie di soia (*Glycine max* L.) L'area seminata a favino è in declino nei principali paesi di produzione come la Cina, e riflette una tendenza generale sin dagli anni '60 verso una crescente dipendenza degli agricoltori dai fertilizzanti piuttosto che dai sistemi di leguminose come fonte di input di azoto (*Smil, 2001; Crews and Peoples, 2004*). La produttività della maggior parte dei sistemi di coltivazione a base di cereali (*FAOSTAT, 2008*) sono ora fortemente dipendenti dall'energia fossile per la produzione, il trasporto e la diffusione di fertilizzanti azotati (*Smil, 2001*). Le emissioni di CO<sub>2</sub> come risultato della produzione, distribuzione e applicazione del fertilizzante N<sub>2</sub>, e le implicazioni sanitarie e ambientali delle perdite di grandi quantità di N dai terreni fertilizzati come conseguenza del loro inefficiente utilizzo (*Peoples et al., 2004; Crews and Peoples, 2005*), suggerisce che sarebbe opportuno rivalutare il ruolo potenziale dei legumi, come il favino, come fonte di N per i futuri sistemi di coltivazione (*Jensen e Hauggaard-Nielsen, 2003; Crews and Peoples, 2004*).

La situazione italiana della coltivazione delle leguminose da granella, tra cui il favino, sta conoscendo una fase di nuovo interesse dopo un progressivo calo subito negli ultimi cinquanta anni. Come detto in precedenza, le rese basse ed instabili e la semplificazione degli ordinamenti colturali sono causa di questo calo.

L'incremento delle rese determinato dalla disponibilità di varietà nettamente innovative per adattamento e architettura della pianta, unito al miglioramento delle caratteristiche nutrizionali della granella, hanno contribuito in modo importante a questo rilancio. Una sostanziale espansione di queste colture anche in Italia richiede però il verificarsi di una serie di condizioni: ad un sistema di incentivi che ne riconosca appieno il valore strategico e ambientale deve accompagnarsi un prezzo di mercato allineato sui valori europei e soprattutto lo sviluppo e l'ottimizzazione delle filiere interessate (dalla produzione in campo

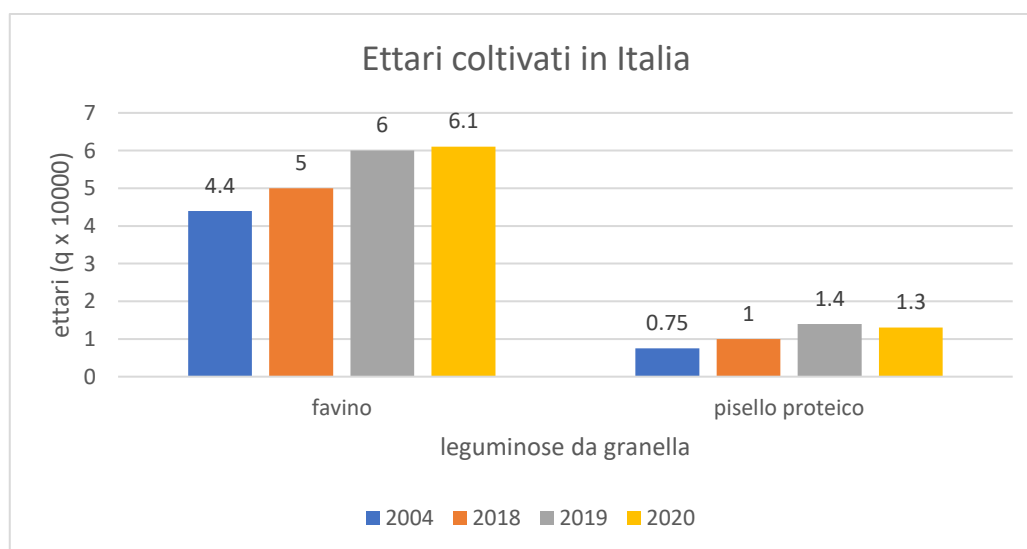
all'utilizzazione nei mangimi e nell'alimentazione animale); Inoltre è opportuno esaminare e sfruttare al meglio le possibilità di autoconsumo offerte da queste colture all'azienda agro zootecnica. Le recenti emergenze provocate dalla BSE hanno reso ancora più necessaria la disponibilità di fonti proteiche vegetali alternative alla soia.

Per quanto riguarda il favino (*Vicia faba* spp), è la leguminosa da granella maggiormente coltivata in Italia. La produzione è prevalentemente localizzata nelle regioni del Sud. I dati reperiti dal sito ISTAT riferiti al periodo 1999 – 2004 indicano una superficie nazionale investita a fava, indipendentemente dalla sottospecie, di oltre 44.000 ettari, le regioni ove la coltura era più presente erano nell'ordine: Sicilia con 14.980 ha, Calabria e Puglia con più di 5.000 ha ciascuna, Toscana e Campania con circa 4.000 e 3.000 ha rispettivamente, quindi Sardegna, EmiliaRomagna e Marche con superfici comprese tra 2.000 e 1.000 ha.

Le produzioni per ettaro di fava da granella si attestavano nel 2004 sui 19 quintali, complessivamente nel 2004 sono state prodotte circa 85.000 tonnellate di granella.

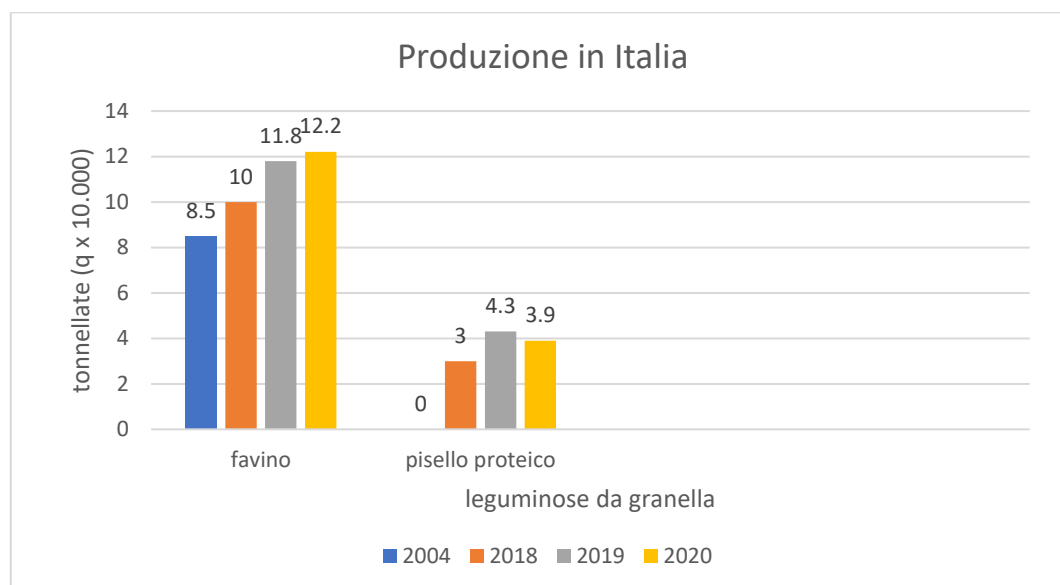
Confrontando questi dati con quelli dell'ultimo triennio 2018- 2020 sempre reperiti dal sito ISTAT, si può notare come la superficie investita a favino è notevolmente incrementata, (come descritto nella Figura 1), passando nel 2018 da 50.421 ettari a 60.007 ha nel 2019, ed infine 61.982 ha nel 2020, a testimonianza del forte interesse che questa coltura ha suscitato negli agricoltori italiani.

Per quanto riguarda le produzioni si attestano sulle 119.809 tonnellate nell'ultimo anno.



**Figura 1-1: Confronto degli ettari di favino e pisello proteico coltivati in Italia dal 2004 al 2020**

Anche in questo caso il grafico nella Figura 2 ci consente di esaminare i livelli di produzione del favino dal 2004 fino al 2020, confrontandoli con quelli del pisello proteico.



**Figura 1-2: Confronto della produzione di favino e pisello proteico in Italia dal 2004 al 2020**

Questi dati ci consentono di capire come la coltura del favino da granella abbia avuto negli anni un forte trend di crescita, sia per quanto riguarda gli ettari coltivati, sia per le produzioni totali. Soprattutto questi dati assumono ancor più rilevanza se li confrontiamo con un'altra leguminosa come il pisello proteico.

Per sviluppare sistemi di coltivazione di successo è necessario capire come una coltura come il favino risponde alle variabili biologiche, chimiche, fisiche e climatiche e come questa risposta può essere influenzata dalla gestione. È anche importante determinare come la coltivazione del favino influisce sulla produttività delle colture successive (*Sebillotte, 1995; Crozat e Fustec, 2006; Peoples et al., 2009a*).

Il favino può anche fornire una serie di altri potenziali benefici di rotazione che non sono direttamente correlati all'azoto, come la riduzione dell'incidenza di erbe infestanti, la riduzione di malattie o parassiti, il miglioramento della struttura del suolo o il carry-over dell'acqua disponibile nel suolo (*Rochester et al., 2001; Kirkegaard et al., 2008; Peoples et al., 2009a, Peoples et al., 2009b*). Questo legume è noto per essere in grado di spezzare i

cicli di malattie trasmesse dal suolo all'interno dei cereali. Inoltre, i legumi in rotazione producono generalmente una maggiore attività microbica e una maggiore diversità nei suoli (*Lupwayi e Kennedy, 2007*). Alcuni di questi cambiamenti nella composizione della popolazione microbica nella rizosfera del legume possono essere correlati al rilascio di idrogeno molecolare (H<sub>2</sub>) come sottoprodotto della fissazione simbiotica dei noduli del legume (*Dong et al., 2003*).

In conclusione, il favino ha tre funzioni principali in un sistema di coltivazione di seminativi: 1) il contributo di alimenti e mangimi ricchi di proteine, 2) fornire N<sub>2</sub> al sistema attraverso la fissazione simbiotica, e 3) diversificare il sistema di coltivazione per ridurre i vincoli alla crescita e alla resa da parte di altre specie vegetali nella rotazione. Per aumentare i benefici del favino nel contesto di un'agricoltura futura, più sostenibile e meno dipendente dall'energia fossile, è essenziale stimolare la ricerca che mira ad eliminare l'instabilità delle rese del favino, a massimizzare i benefici della rotazione e a determinare, ed eventualmente a minimizzare o prevenire, il rischio che la coltivazione del favino abbia effetti indesiderati sull'ambiente.

## **1.2 La consociazione**

La consociazione è una pratica agricola che consiste nel far crescere contemporaneamente due o più colture sulla stessa area di terreno. Tuttavia, è molto importante evitare la competizione per spazio, risorse idriche, sostanze nutritive e radiazioni solari.

La consociazione cereali-leguminose fornisce un maggiore margine di manovra per ridurre al minimo l'impatto negativo dello stress da nutrienti, oltre a migliorare la produttività del sistema e la salute del suolo. I ricercatori hanno riportato un significativo miglioramento della produttività del sistema in consociazione, oltre a fornire cibo diversificato, in molti sistemi agricoli di sussistenza o a basso input, permettendo guadagni effettivi nella resa o una maggiore stabilità di questa con minori input. È stato dimostrato che la consociazione può: i) migliorare la conservazione del suolo (*Anil et al. 1998*), (ii) favorire il controllo delle erbe infestanti (*Banik et al. 2006; Corre-Hellou et al. 2011*), (iii) ridurre parassiti e malattie (*Trenbath 1993; Altieri 1999; Hauggaard-Nielsen et al. 2007; Corre-Hellou e Crozat 2005; Ratnadass et al. 2012*) e (iv) fornire una migliore resistenza (*Anil et al. 1998*). Potrebbe quindi essere una via per realizzare una "intensificazione sostenibile".

Tutto questo ha portato ad un rinnovato interesse per la consociazione tra cereali/leguminose, pratica comune nei paesi con un alto livello di agricoltura di sussistenza,

anche in Europa, in particolare nell'agricoltura biologica e a basso input (*Anil et al. 1998; Malézieux et al. 2009*), in quanto sotto queste circostanze, tale pratica può supportare un aumento delle rese per unità di input, assicurare contro il fallimento del raccolto e le fluttuazioni di mercato, soddisfare le preferenze alimentari e/o le esigenze culturali, proteggere e migliorare la qualità del suolo e aumentare il reddito (*Rusinamhodzi et al., 2012*).

Per il successo della consociazione cereali/leguminose, si devono seguire i seguenti principi:

1. Il tempo di picco del fabbisogno di nutrienti delle colture componenti non deve essere sovrapposto.

2. La competizione per la luce dovrebbe essere minima tra le colture consociate.

Si adatta meglio, se le colture di cereali (più alte) sono piante amanti del sole e le leguminose intercalari (altezza ridotta) sono piante tolleranti all'ombra (*Oforie Stern 1987; Meena et al. 2017a, b*).

3. Dovrebbe esistere una complementarità tra le colture consociate per l'uso di risorse di crescita sia nel tempo che nello spazio. Il rapporto più importante tra cereali e legumi è la complementarità N-use (*Ofori e Stern 1987; Jensen 1996*). Ad esempio, nelle colture consociate di cereali/legumi, i legumi hanno la capacità di utilizzare l'N atmosferico, mentre le colture cerealicole associate dipendono per lo più dalle fonti di N del suolo. Alcune parti della N<sub>2</sub> fissato dai legumi può essere condiviso con i cereali; quindi c'è più complementarità e meno competizione (*Herridge et al. 1995*).

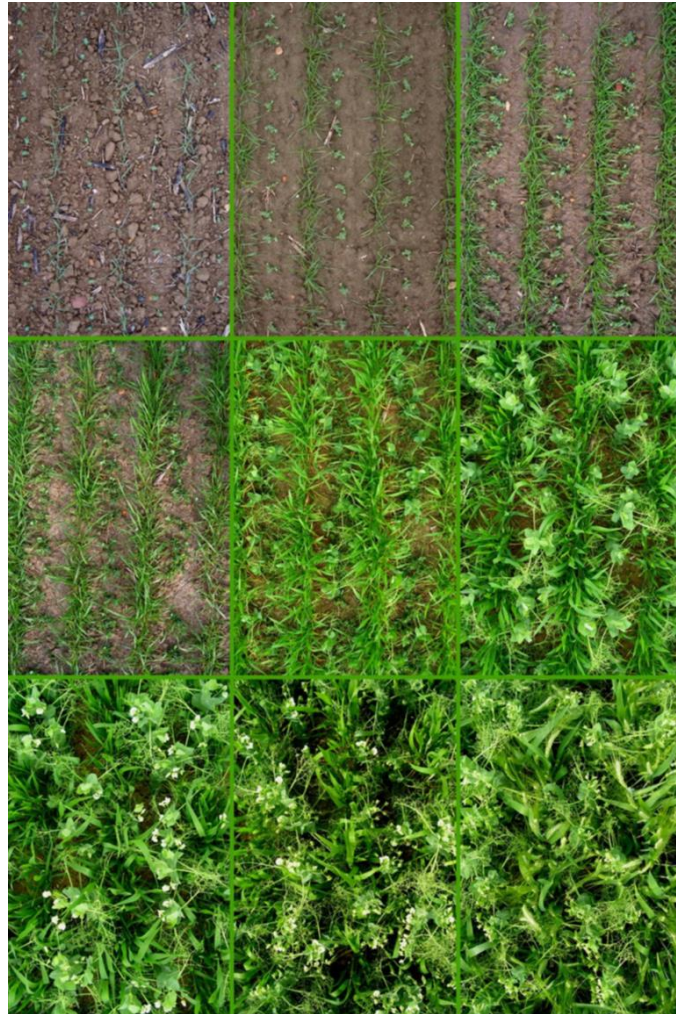
Quando i cereali e le leguminose sono coltivati come colture consociate ognuna di esse dovrebbe avere spazio sufficiente per massimizzare l'uso delle risorse disponibili, in modo che ci sia una competizione minima tra di loro. Per la produzione di cereali/legumi consociati in maniera ottimale, la disposizione spaziale, la densità delle piante, e la maturità delle colture componenti dovrebbe essere curata.

La consociazione è comune, in particolare nei paesi con un alto livello di quantità di agricoltura di sussistenza e basse quantità di agricoltura meccanizzazione. È spesso intrapresa da agricoltori che praticano un'agricoltura a basso input (alta manodopera) e a basso rendimento su piccoli appezzamenti di terreno (*Ngwira et al., 2012*). Sotto queste circostanze, tale pratica può supportare un aumento di rese per unità di input, assicurare contro il fallimento del raccolto e le fluttuazioni di mercato, soddisfare le preferenze alimentari e/o le esigenze culturali, proteggere e migliorare la qualità del suolo e aumentare il reddito (*Rusinamhodzi et al., 2012*).

In alcune regioni, la consociazione è stata, e rimane, la forma di agricoltura dominante. In America Latina, i piccoli agricoltori coltivano 70-90% di fagioli con mais, patate e altre colture, mentre il mais viene coltivato per interramento sul 60% delle superfici coltivate a mais della regione (*Francesco, 1986*). In Africa, il 98% dei ceci sono consociati. Il 90% dei fagioli in Colombia sono consociati; la percentuale totale di terreni coltivati ai tropici utilizzati per la consociazione variano da un minimo del 17% in India a un massimo del 94% in Malawi (*Vandermeer, 1989*). La Cina possiede oltre il 22% del patrimonio mondiale della popolazione, ma ha < 9% della terra coltivabile del mondo. Storicamente la consociazione ha contribuito notevolmente alla produzione nell'agricoltura cinese (*Tong, 1994*).

In Europa, la consociazione persiste nei sistemi agroforestali come la “paturagesboises” svizzera (sistemi di pascoli boschivi) e l'agricoltura mediterranea promiscua (cereali e ortaggi coltivati sotto gli alberi, spesso olivi e alberi da frutta o viti) (*Dupraz&Liagre,2011*). Tuttavia è stata trascurata negli anni ed è rara nell'agricoltura tradizionale, ma in aumento nell'agricoltura biologica (*Hauggaard-Nielsen et al., 2009; Pappa et al.,2011, 2012*).

Le colture consociate possono essere suddivise in, colture consociate miste (contemporaneamente coltivare due o più colture senza, o con una limitata disposizione distinta), a staffetta (piantare una seconda coltura prima che la prima coltura sia matura), a strisce (coltivazione in due o più colture contemporaneamente in strisce), permettendo l'interazione delle colture e la coltivazione indipendente. Nella consociazione a strisce, le strisce dovrebbero essere abbastanza ampie da seguire i principi di produzione delle singole colture ma abbastanza vicine da permettere alle colture di interagire tra loro (*Wang et al. 2015*). La consociazione a strisce sta diventando popolare in diverse parti del mondo grazie alla sua maggiore efficienza nell'uso delle radiazioni (*Yang et al. 2015*).



***Figura 1-3: Esempio di una consociazione a strisce tra frumento e pisello proteico***

Nella consociazione mista i semi di diverse colture vengono mescolati prima della semina e in generale seminati trasmettendoli sul campo in modo casuale. La consociazione mista è generalmente utilizzata nei paesi agricoli meno sviluppati per soddisfare le diverse esigenze di prodotti alimentari provenienti dalla limitata superficie del territorio (*Undie et al. 2012*). È inoltre in corso utilizzati nei pascoli per fornire prodotti diversificati e di qualità agli animali al pascolo (*Malezieux 2012*).

Nella consociazione a staffetta la seconda coltura è generalmente seminata/piantata in una coltura nel pieno della sua fase di riproduzione. Nelle zone in cui la stagione di coltivazione è limitata a due individui, colture sequenziali in successione, questa permette di coltivare due colture separate con successo nella stessa area nell'arco di un anno (*Balde et al. 2011*).



In conclusione, tra gli aspetti che più hanno colpito i tecnici e ricercatori su questa tipologia di coltivazione sono:

- Maggiore efficienza nell'uso del suolo a parità di condizioni ambientali e agronomiche: l'aspetto più importante di questa pratica. Per constatare ciò si utilizza l'indice LER (Land Equivalent Ratio) che mette a confronto la resa, peso secco o qualsiasi altro variabile quantitativa della produzione di una coltura consociata rispetto alla coltura pura, a parità di condizioni agronomiche e ambientali;
- La stabilità della resa: questo vantaggio delle consociazioni sembra essere maggiore quando la resa di uno o di entrambe le rispettive colture pure sono piuttosto basse, il che suggerisce che la consociazione può essere un modo più adatto per ottenere una stabilità rese in agricoltura biologica e sistemi a bassa disponibilità di azoto;
- Il maggior contenuto di proteine nei cereali consociati: soddisfare la domanda di azoto dei cereali è fondamentale per ottenere concentrazione di proteine nel grano soddisfacenti ed in linea con le attuali richieste da parte delle industrie di trasformazione (*Garrido-Lestache et al. 2004*). Di conseguenza, i cereali sono generalmente fertilizzati con elevati livelli di azoto non solo nei convenzionali sistemi di coltivazione, ma anche in sistemi organici che utilizzano notevoli quantità di input organici come il letame animale, compost ecc. Al contrario, nei sistemi a basso contenuto di azoto, la limitata risorsa di azoto rende difficile raggiungere una sufficiente concentrazione proteica come richiesto dalle industrie agroalimentari per il grano tenero per la produzione di pane o per il grano duro grano per fare la semola e la pasta. Le consociazioni sarebbero un modo per migliorare la qualità dei cereali raccolti e in particolare la sua concentrazione di proteine rispetto alle tradizionali monoculture (*ad es. Jensen 1996a; Knudsen et al. 2004; Gooding et al. 2007; Bedoussac e Justes 2010a; Naudin et al. 2010*). Studi svolti mostrano che le colture consociate di grano non fertilizzato e piselli invernali possono produrre nel grano concentrazioni di proteine non significativamente diverse dalla monocultura di grano concimato con 18,5 g N m<sup>-2</sup>. Nel caso di legumi, nessuna differenza nella concentrazione media di proteine potrebbe essere osservata tra la monocultura e le colture consociate (24,9 % in entrambi i casi) certamente grazie alla capacità dei legumi di soddisfare il loro fabbisogno di azoto mediante fissazione biologica;

- Un controllo maggiore delle erbe infestanti: le colture consociate possono potenzialmente ridurre le infestanti, le malattie e i parassiti (*Trenbath 1993; Altieri 1999*) spesso considerate come fattori determinanti, che influenzano la produzione vegetale (*Liebman 1988; White e Scott 1991; Liebman e Dyck 1993; Midmore 1993; Bulson et al. 1997; Liebman e Davis 2000; Hauggaard-Nielsen et al. 2001b*). In particolare, i legumi da granella, come i piselli (*P. sativum L.*), sono noti per essere concorrenti deboli contro le infestanti quando viene coltivata come unica coltura (*Wall et al. 1991; Townley-Smith e Wright 1994; McDonald 2003*). Questa soppressione delle infestanti può essere spiegata con il miglioramento nell'utilizzo delle risorse, lasciando meno spazio, acqua e nutrienti a disposizione delle infestanti. Azoto e luce sono due leve di crescita principali per ridurre la presenza di erbe infestanti. Tale vantaggio è dovuto alle complementarità delle specie consociate come: (i) nell'uso di azoto (azoto minerale del suolo e N<sub>2</sub> atmosferico), (ii) nella cattura dell'energia luminosa (*Bedoussac e Justes 2010b*) e (iii) nella copertura del suolo (*Anil et al. 1998*). È importante tenere presente che un cereale consociato è una componente preziosa per migliorare la capacità competitiva verso le infestanti e fornendo anche un supporto fisico a ridurre l'allettamento delle leguminose. Pertanto, la consociazione può essere un modo di produrre con successo legumi da granella in agricoltura biologica e ridurre gli interventi con diserbo meccanico per gestire le erbe infestanti;
  
- La maggior intercettazione dei raggi solari: come già spiegato in precedenza, le interazioni tra le specie non si possono trovare solo nel terreno, attraverso i minerali del suolo ed in particolare l'azoto, i nutrienti e l'assorbimento dell'acqua da parte del sistema radicale, ma anche in superficie, attraverso l'intercettazione della luce solare. In assenza di limitazioni per fattori abiotici e biotici come l'acqua, i nutrienti, parassiti, ed erbe infestanti, la resa di sostanza secca del raccolto dipende principalmente sulla radiazione assorbita (*Loomis e Williams 1963*). Differenze di specie e complementarità interspecifiche potrebbe permettere una migliore occupazione dinamica nello spazio, quando le colture differiscono nell'architettura delle piante e nel tempo, quando i cicli di vita delle colture sono diversi (*Trenbath 1986; Tsubo et al. 2001; Tsubo e Walker 2002; Poggio 2005*). Quindi, le colture consociate potrebbero permettere un aumento dell'intercettazione della luce durante la crescita delle piante in consociazione ed essere più efficienti rispetto alle colture

pure per uso di luce (*Jahansooz et al. 2007; Bedoussac e Justes 2010b*) permettendo maggiore produzione di biomassa e resa, rispetto alle monocolture;

- Minimizzazione degli input: numerosi studi suggeriscono che le consociazioni sono particolarmente adatte ai sistemi a basso contenuto di azoto (*Willey 1979a, 1979b; Oforie Stern 1987; Vandermeer 1989; Willey 1990; FukaieTrenbath 1993; Jensen 1996a; Hauggaard-Nielsen et al. 2003; Corre-Hellou et al. 2006 e Bedoussac e Justes 2010a,2010b*).

Secondo uno studio (di Hauggaard-Nielsen et al. 2001a), quando viene applicato il fertilizzante azotato, la crescita e la resa delle leguminose consociate sono significativamente ridotte, mentre quelle del grano sono leggermente aumentate, portando ad uno svantaggio delle colture consociate rispetto la coltura pura. Ciò implica che la consociazione può essere vantaggiosa quando la disponibilità di azoto corrispondente all'azoto del suolo più quello proveniente dal fertilizzante è al di sotto di un determinato soglia (12 g N<sub>2</sub> m<sup>2</sup> in questi esperimenti) grazie ad un elevato grado di utilizzo complementare dell'azoto tra le due specie per i bassi livelli di N<sub>2</sub>. Tali risultati sono stati riportati per diverse colture consociate di cereali/legumi (*Fujita et al. 1992; OforieStern 1987; Jensen 1996a; Naudin et al. 2010*).

### **1.3 Scopo della Tesi**

La tesi iniziata nel Dicembre del 2019 con le semine delle parcelle, nei terreni dell'azienda didattica sperimentale "Pasquale Rosati" dell'UNIVPM di Ancona, con l'obiettivo di analizzare gli effetti della consociazione tra frumento duro (varietà Tirez) e favino (Chiaro di Torre Lama), seminate con diverse percentuali di semina nel caso del frumento, nello specifico 20% – 40% – 60% – 80%– 100% rispetto la quantità di semina utilizzata in coltura pura, mentre il favino non ha subito variazioni delle dosi di semina tra la consociazione e la coltura pura (100%).

Durante il ciclo colturale è stato possibile constatare gli effetti della consociazione sul controllo delle erbe infestanti, in quanto le parcelle sono gestite secondo i principi dell'agricoltura biologica, anche se tale variabile non è stata sottoposta ad analisi.

Mentre con la raccolta delle singole parcelle è stato possibile constatare la produttività del frumento (peso dei campioni, contenuto proteico, peso ettolitrico), a seconda delle diverse densità di semina rispetto alle colture pure. Allo stesso modo il favino è stato raccolto ed

esaminato, per verificare l'influenza della consociazione e della quantità di cereale presente sulla resa della granella. Per valutare la consociazione è stato utilizzato l'indice LER (Land Equivalent Ratio) che ci ha consentito di analizzare l'efficienza in termini di utilizzo del suolo del frumento consociato rispetto ad un frumento puro.

## Capitolo 2

### MATERIALI E METODI

#### 2.1 Materiali vegetali e densità di semina utilizzate

La prova sperimentale di campo è stata effettuata presso il Centro di Ricerca e Servizio Azienda Agraria “Pasquale Rosati” dell’Università Politecnica delle Marche nell’anno 2020.

La scelta delle varietà da utilizzare nella prova di consociazione cereali-leguminose è ricaduta sulla varietà Tirez per il frumento duro e sul Chiaro di Torre Lama, per il favino.

Il Tirez è una varietà medio-alta, caratterizzata da spigatura e ciclo di maturazione precoce, buona produzione, elevati tenore proteico ed indice di glutine (82-84).

Il Chiaro di Torre Lama è tra le varietà più diffuse nella Regione Marche, in quanto caratterizzata da buon adattamento alle condizioni pedoclimatiche regionali e da elevata produzione di granella: il seme è relativamente piccolo (peso dei 1000 semi: 330-460 g) ed il contenuto proteico medio (24-26% su s.s.).

La scelta per il favino è ricaduta su questa varietà anche sulla base delle prove di consociazione precedentemente effettuate che hanno messo in evidenza una maggiore capacità competitiva del Chiaro di Torre Lama verso il frumento duro, rispetto all’altra varietà testata (Prothabat69), mostrando produzioni significativamente maggiori in alcune combinazioni con il cereale.

Sempre sulla base di precedenti prove che hanno messo in evidenza una bassa capacità competitiva delle leguminose in consociazione con il cereale, il favino è stato inserito nelle colture consociate con la stessa densità di semina utilizzata in coltura pura, cioè 45 pt/m<sup>2</sup>, anche per valutare il comportamento del frumento duro alla presenza del legume alla massima fittezza di semina.

Allo scopo di valutare quindi l’efficacia della consociazione rispetto alla coltura pura il grano duro è stato inserito in consociazione con densità di semina crescenti: 20%, 40%, 60%, 80% e 100% rispetto alla coltura pura. Come fittezza al 100% è stato considerato un numero di pt/m<sup>2</sup> pari a 350, la normale densità di semina utilizzata nella coltura pura di questo cereale.



*Figura 2-1: Campo sperimentale suddiviso in parcelle*

Sono state ottenute così ottenute 5 colture consociate che sono state confrontate con le 2 rispettive colture pure. Lo schema sperimentale ha quindi incluso le combinazioni riportate in Tabella 1.

**Tabella 1.** Densità di semina (piante/m<sup>2</sup>) delle colture pure e delle colture consociate.

Colture*	Pt/m <sup>2</sup>	
	Grano	Favino
Tirex Coltura pura	350	
Chiaro TL Coltura pura		45
Mix 1 (20-100)	70	45
Mix 2 (40-100)	140	45
Mix 3 (60-100)	210	45
Mix 4 (80-100)	280	45
Mix 5 (100-100)	350	45

\*il codice identificativo utilizzato per le colture consociate (Mix) riporta la percentuale di seme impiegata in ciascuna consociazione, indicando prima la densità del frumento duro e di seguito quella del favino (es. 20-100 indica una densità di semina del 20% rispetto la coltura pura per il grano duro e del 100% per il favino).

## 2.2 Disegno sperimentale e gestione della prova in campo

Il disegno sperimentale utilizzato è un blocco randomizzato completo con cinque repliche e parcelle di 5 m di lunghezza e 1,2 m di larghezza per una superficie totale di 6 m<sup>2</sup>.

La semina è stata eseguita il giorno 31 Gennaio 2020 con seminatrice parcellare (Vignoli).

Non è stato effettuato diserbo chimico per poter anche valutare la crescita e sviluppo nelle diverse parcelle in base alla presenza delle diverse percentuali di cereale e leguminosa, anche se è stato effettuato un leggero diserbo manuale all'emergenza delle plantule per tenere sotto controllo la presenza del Convolvolo o Vilucchio (*Convolvulus arvensis*) in quanto la notevole presenza dell'infestante avrebbe potuto ostacolare l'andamento della prova. La valutazione della presenza delle erbe infestanti tuttavia, non è stata argomento della tesi.

Le colture pure e le consociazioni sono state tutte valutate in assenza di fertilizzazione e messe quindi in condizioni di sfruttare solo il livello di fertilità del terreno e la complementarità delle due specie nell'approvvigionamento del fabbisogno in azoto. La scelta è dovuta anche al fatto che attualmente non si hanno indicazioni specifiche

sull'apporto di elementi nutritivi nelle colture consociate cereali-leguminose e questo richiederebbe delle prove a parte.

Il giorno 15 e 16 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:

- 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, è stato misurato il peso di ciascuno campione di seme allo scopo di ottenere la produzione per spiga/legume.

La raccolta delle singole parcelle è stata effettuata il 16 Luglio 2020 con mietitrebbia parcellare Wintersteiger-Delta. Successivamente la produzione delle colture consociate è stata sottoposta a vagliatura manuale allo scopo di separare la granella di frumento duro dal seme di favino. Dopo aver pesato separatamente il cereale e la leguminosa in tutte le parcelle ne è stata calcolata la produzione in t/ha e da questa si è proceduto con il calcolo dell'indice LER (Land Equivalent Ratio), utilizzato per confrontare le consociazioni con le colture pure e valutarne il possibile vantaggio.

### 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 alla coltura pura.

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

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

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

Sommando i due valori ottenuti si ottiene il LER totale:

$$LER_{\text{totale}} = LER_{\text{fab}} + LER_{\text{durum}}$$



Il valore del  $LER_{totale}$  è indice del comportamento della consociazione rispetto la coltura pura.

Quindi se:

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

## 2.4 Analisi statistica dei dati

I dati della produzione di favino e frumento duro,  $LER_{faba}$ ,  $LER_{durum}$  e  $LER_{totale}$  sono stati analizzati mediante Analisi della Varianza (ANOVA) e confronti tra le medie, utilizzando il software JMP 7.0, eseguiti separatamente per il cereale e la leguminosa per tutti i parametri eccetto il  $LER_{totale}$ . Avendo utilizzato un disegno sperimentale a blocchi randomizzati, le fonti principali di variazione sono risultate i “Blocchi” e le “Colture” (consociazioni e colture pure).

Nell’analisi dei LER la fonte di variazione “Colture” è stata rinominata “Consociazioni”, non comprendendo ovviamente le colture pure.

Per la varianza “tra Colture” la differenza tra le medie è stata valutata mediante il Test HSD di Tukey (HonestlySignificantDifference) ed ha fornito informazioni sull’efficacia complessiva delle consociazioni frumento duro-favino.

## Capitolo 3

# RISULTATI

### 3.1 Frumento duro: Produzione di granella e $LER_{durum}$

Dall'Analisi della Varianza (ANOVA) della produzione di granella di frumento duro (Tabella 2), la fonte di variazione tra "Blocchi" non è risultata statisticamente significativa. La varianza tra "Colture", invece, è risultata altamente significativa, come presumibile in base alle diverse densità di semina impiegate ed al confronto tra colture pure e consociate.

**Tabella 2.** Produzione di granella di frumento duro: risultati dell'ANOVA.

Fonte di Variazione	g.l. <sup>1</sup>	Devianza	Varianza	F	P	* <sup>2</sup>
<b>Blocco</b>	4	0,985	0,246	0,859	0,505	n.s.
<b>Colture</b>	5	68,137	13,626	47,568	<0,0001*	***
<b>Errore</b>	20	5,729	0,286			

1 g.l.= gradi di libertà

2\*= Significatività statistica: n.s.=non significativo; \*= P<0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= P<0,001

Dai confronti tra le medie (Tabella 3) si può notare che il Tirez in coltura pura ha prodotto significativamente di più del Tirez in consociazione. In particolare, la produzione del Tirez nelle 5 consociazioni è risultata sempre inferiore all'atteso, e questo sta ad indicare che il frumento duro ha sempre risentito della competizione esercitata dall'elevata fittezza del favino. Il Mix 1 (20-100), ha dato una produzione significativamente inferiore a tutti gli altri Mix, come prevedibile in base alle densità di semina (20% della coltura pura).



*Figura 3-1: Consociazione con mix 1 (20% Frumento – 100% favino)*

I Mix 2, 3, 4 si sono collocati in posizione intermedia, con il Mix 2 che ha mostrato una produzione statisticamente maggiore del Mix 1 e minore del 5 ma non statisticamente differente dai Mix 3 e 4. Nel Mix2 Tirez ha comunque presentato una produzione pari al 42% del Tirez in coltura pura, in linea con l'atteso (40%), mentre le produzioni dei Mix 3, 4 e 5 sono risultate sempre inferiori all'atteso.



***Figura 3-2: Consociazione con mix 2 (40% Frumento – 100% favino)***

Questo risultato dimostra che, quando il favino nelle consociazioni si trova alla densità di semina della coltura pura, l'incremento della densità di semina del frumento duro dal al 60% (Mix 3) all' 80% (Mix 4) non ha comportato un guadagno significativo in produzione rispetto all'inserimento del Tirez alla densità del 40% (Mix 2); Infatti l'ANOVA relativa al  $LER_{durum}$  ha evidenziato una varianza tra "Consociazioni" altamente significativa (Tabella 4) ed i valori del  $LER_{durum}$  dei Mix 2, 3 e 4 (Tabella 3) sono risultati molto simili. Interessante è stato osservare che il Tirez nel Mix 5 ha mostrato un incremento del LER rispetto agli altri Mix, pur avendo una produzione di granella significativamente inferiore al Tirez in coltura pura a causa della competizione interspecifica con il favino.



***Figura 3-3: Consociazione con mix 5 (100% Frumento – 100% favino)***

Complessivamente quindi la produzione di granella del Tirez in consociazione non ha seguito un andamento lineare e proporzionale alla densità di semina del frumento duro, a causa del diverso livello di competizione sia inter- che intraspecifica che ha caratterizzato i diversi Mix messi a confronto. L'eventuale effetto sulle caratteristiche qualitative della granella dovrà essere valutato.

**Tabella 3.** Confronti multipli (test HSD di Tukey) tra le medie della produzione di frumento e del LER<sub>durum</sub> nelle diverse “Colture” (coltura pura e consociazioni).

Colture	Prod. (t/ha) <sup>1</sup>	LER <sub>durum</sub>
Tirex Coltura pura	5,86 A	-----
Mix 5 (100-100)	3,59 B	0,61 A
Mix 3 (60-100)	2,89 BC	0,49 AB
Mix 4 (80-100)	2,62 BC	0,45 AB
Mix 2 (40-100)	2,45 C	0,42 B
Mix 1 (20-100)	0,84 D	0,14 C

<sup>1</sup>Medie che non hanno lettere in comune sono statisticamente differenti (P<0,05)

**Tabella 4** .LER<sub>durum</sub>: risultati dell’ANOVA.

Fonte di Variazione	g.l. <sup>1</sup>	Devianza	Varianza	F	P	* <sup>2</sup>
<b>Blocco</b>	4	0,030	0,0075	0,747	0,573	n.s.
<b>Consociazioni</b>	4	0,603	0,1508	14,927	<0,0001*	***
<b>Errore</b>	16	0,161	0,0101			

<sup>1</sup> g.l.= gradi di libertà

<sup>2</sup>\*= Significatività statistica: n.s.=non significativo; \*= P<0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= P<0,001

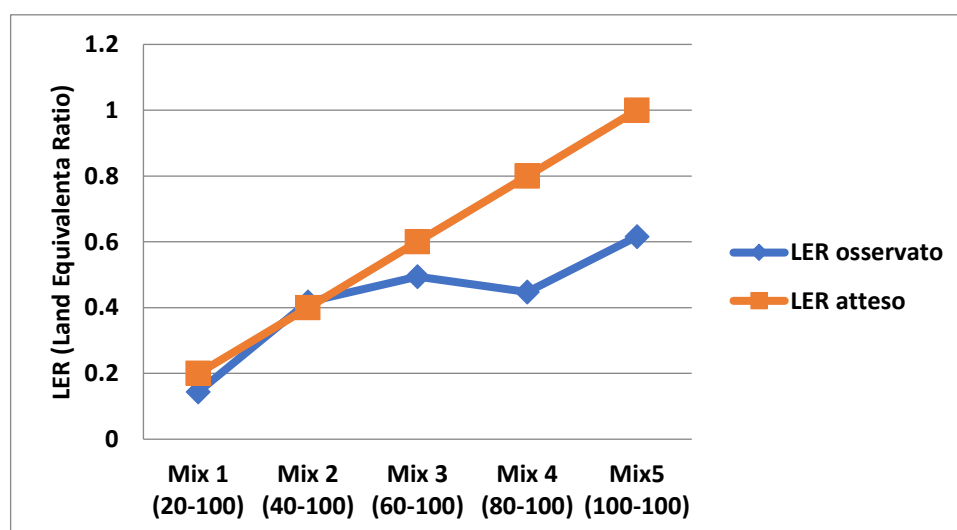
I risultati dei LER delle singole colture ci permettono di valutare quanto una coltura in consociazione ha prodotto rispetto alla rispettiva coltura pura e se il valore di produzione osservato nel Mix risulta maggiore, uguale o minore rispetto a quello atteso in base alla densità di semina impiegata.

Per quanto riguarda il LER<sub>durum</sub> si può notare dai risultati dell’Analisi della Varianza (Tabella 4) che la fonte di variazione tra “Blocchi” è risultata statisticamente non significativa, mentre è stata altamente significativa la fonte di variazione tra “Consociazioni”.

Dai confronti tra le medie (Tabella 3) dei LER del frumento duro si osservano analoghi risultati ottenuti per le produzioni. Il Mix in cui si riscontra il LER più alto è il Mix 5 e

quello che dà il LER più basso è il Mix 1, come prevedibile dalle produzioni ottenute e dalle densità di semina. I Mix 2, 3 e 4 si collocano anche qui in posizione intermedia con il Mix 3 e 4 non statisticamente differenti dal Mix 5. I valori di  $LER_{durum}$  hanno confermato che le produzioni osservate sono risultate sempre inferiori all'atteso, ad eccezione del Mix 2 dove la produzione del Tirez ha rispettato il valore atteso. Questo aspetto è comunque da mettere in relazione all'elevata densità del favino in tutte le consociazioni prese in esame. Infatti, in prove precedenti in cui il favino era stato inserito ad una densità (50% e 65%) minore del 100% il frumento duro ha fatto registrare produzioni maggiori dell'atteso in base alle densità di semina. Quindi, il risultato qui ottenuto potrebbe essere dovuto al fatto che questo cereale, quando si trova in consociazione con la leguminosa in questione, inserita ad una densità pari alla fittezza utilizzata in coltura pura, ha risentito maggiormente della competizione in termini produttivi rispetto a Mix in cui il favino è presente a densità inferiori.

La Figura 3-4, mostra l'andamento dei  $LER_{durum}$  osservati ed attesi nei vari Mix (e quindi all'aumentare della densità di semina del frumento duro). Si può notare che nel Mix 1 la differenza tra il valore osservato e quello atteso non è elevata, nel Mix 2 i valori si equivalgono. Passando da questi ai Mix in cui in frumento si trova a densità maggiori, la differenza tra il valore osservato e quello atteso aumenta. Ciò conferma che all'aumentare del frumento duro e con il favino al 100% oltre ad aumentare la competizione intraspecifica, aumenta anche quella interspecifica tra le due colture e di questo anche il cereale ne risente in termini produttivi con questi determinati tipi di combinazioni.



**Figura 3-4:  $LER_{durum}$ : confronto tra valori attesi ed osservati in base alle densità di semina.**

Questi risultati sommati a quelli del  $LER_{fabaci}$  permetteranno di comprendere il comportamento generale della consociazione frumento duro-favino a queste densità di semina in termini di suolo utilizzato.

### 3.2 Favino: Produzione di seme e $LER_{fabaci}$

L'ANOVA ha mostrato che la varianza tra "Blocchi" non è risultata statisticamente significativa, mentre la fonte di variazione tra "Colture" è risultata altamente significativa (Tabella 5).

**Tabella 5.** Produzione di seme di favino: risultati dell'ANOVA.

Fonte di Variazione	g.l. <sup>1</sup>	Devianza	Varianza	F	p <sup>2</sup>
<b>Blocco</b>	4	0,410	0,1025	1,9433	0,142
<b>Colture</b>	5	19,959	3,9918	75,528	<0,0001*
<b>Errore</b>	20	1,057	0,05285		

1 g.l.= gradi di libertà

2\*= Significatività statistica: n.s.=non significativo; \*= P<0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= P<0,001

Analizzando i confronti multipli tra le medie (Tabella 6) si osserva che il Chiaro di Torre Lama in coltura pura ha dato una produzione significativamente maggiore di tutti i Mix, nonostante sia stata impiegata per il favino la stessa densità di semina in tutte le consociazioni (45 pt/m<sup>2</sup>). Quindi, il favino ha risentito significativamente, in termini produttivi, della competizione interspecifica con il frumento duro. Infatti la produzione del favino ha mostrato produzioni decrescenti all'aumentare della densità del frumento duro nei vari Mix presi in esame, come confermato dall'andamento del  $LER_{fabaci}$  (Tabelle 6 e 7). Tra le 5 consociazioni valutate, il Mix 1 ha presentato una produzione significativamente più elevata di tutti gli altri Mix. In questa combinazione il cereale è stato inserito ad una densità del 20% rispetto la coltura pura, la più bassa tra quelle testate, ed ha evidentemente esercitato un minor effetto competitivo nei confronti del favino. I Mix 2, 4 e 3 si sono collocati in posizione intermedia con produzioni significativamente inferiori al Mix 1 ed alla coltura pura ma maggiori del Mix 5, ad eccezione del Mix 3 che non è risultato statisticamente



differente dal Mix 5. In quest'ultima combinazione, dove sia il favino che il frumento duro sono inseriti alla fittezza delle rispettive colture pure, il favino ha dato i risultati più bassi. L'andamento del  $LER_{faba}$  ha confermato i risultati relativi alla produzione di seme (Tabella 6), evidenziando che il favino ha risentito fortemente della competizione con il cereale, in quanto anche nel Mix1 il favino non ha raggiunto una produzione simile alla coltura pura.

I risultati dell'ANOVA relativi al  $LER_{faba}$  (Tabella 7) hanno mostrato una varianza tra "Blocchi" non significativa ed una varianza tra "Consociazioni" altamente significativa. Dai confronti tra le medie (Tabella 6) si nota che per il favino sono state osservate produzioni minori di quelle attese in base alle densità di semina, anche nelle consociazioni con una bassa densità di frumento duro, confermando la bassa capacità competitiva della leguminosa in coltura consociata con un cereale.

**Tabella 6.** Confronti multipli (test HSD di Tukey) tra le medie della produzione di favino nelle diverse "Colture" (coltura pura e consociazioni) e valori ottenuti del  $LER_{faba}$ .

Colture	Prod. (t/ha) <sup>1</sup>	$LER_{faba}$
Chiaro TL Coltura pura	3,58 A	----
Mix 1 (20-100)	2,93 B	0,82 A
Mix 2 (40-100)	1,91 C	0,53 B
Mix 4 (80-100)	1,73 C	0,49 B
Mix 3 (60-100)	1,65 CD	0,46 BC
Mix5 (100-100)	1,23 D	0,34 C

<sup>1</sup>Medie che non hanno lettere in comune sono statisticamente differenti (P<0,05).

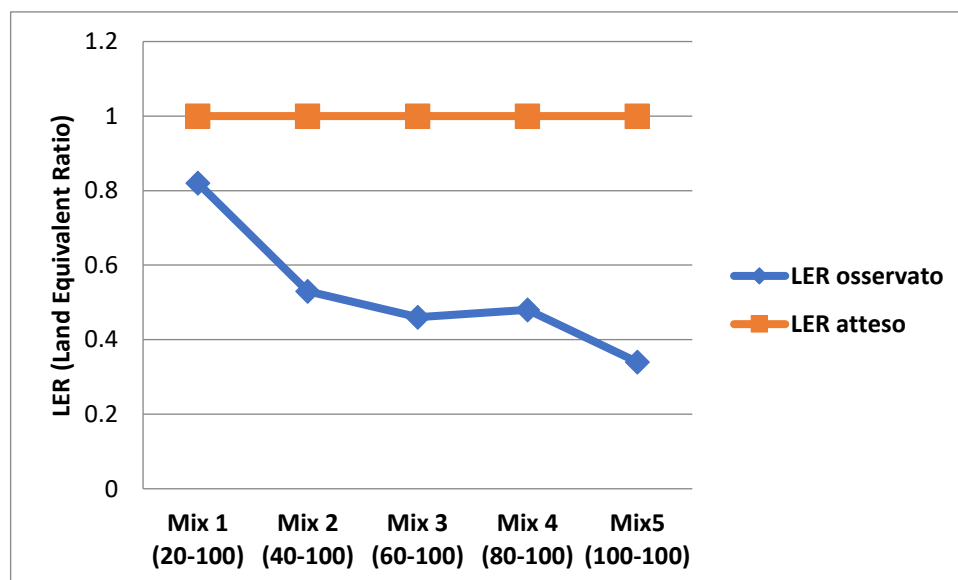
**Tabella 7.** LER<sub>fabo</sub>: risultati dell'ANOVA

Fonte di Variazione	g.l. <sup>1</sup>	Devianza	Varianza	F	p <sup>2</sup>
<b>Blocchi</b>	4	0,029	0,00725	1,406	0,276
<b>Consociazioni</b>	4	0,634	0,1585	29,881	<0,0001*
<b>Errore</b>	16	0,084	0,00525		

1 g.l.= gradi di libertà

2\*= Significatività statistica: n.s.=non significativo; \*= P<0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= P<0,001

La Figura 3-5, mostra il LER del favino osservato e quello atteso in base alle densità di semina, che ovviamente è pari ad 1 essendo il favino stato seminato in consociazione con la stessa densità utilizzata in coltura pura. Si nota come il LER ottenuto nel Mix 1 dove il frumento duro è inserito alle densità più basse è quello che si avvicina di più all'atteso. Seguono i Mix 2, 3 e 4 ed infine il Mix 5 significativamente minore di tutti gli altri tranne che del Mix 3.

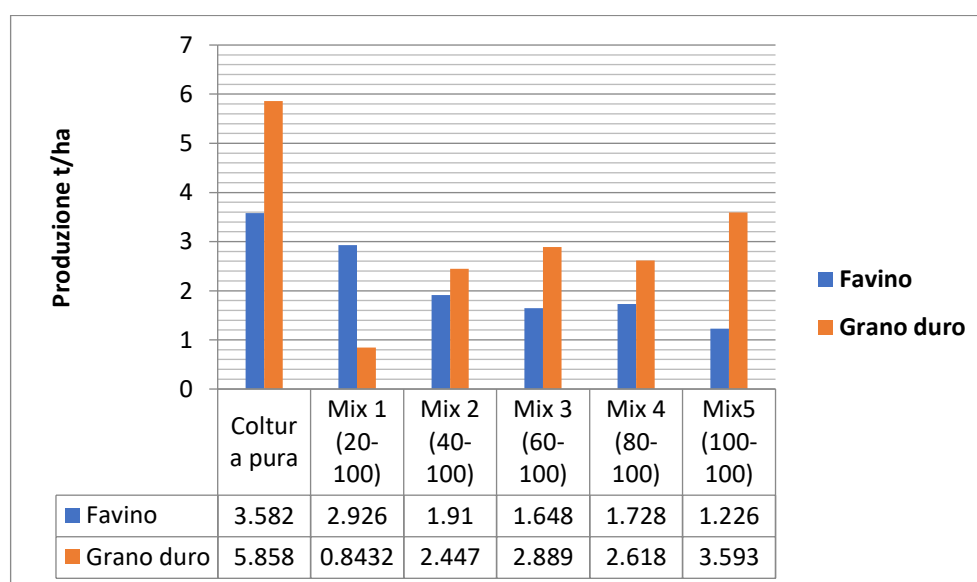


**Figura 3-5:** LER<sub>fabo</sub>: confronto tra l'atteso in base alle densità di semina e l'osservato

Nonostante i risultati relativi al  $LER_{faba}$  indichino produzioni minori di quelle attese in base alla densità di semina, il Mix 1 dove il grano era presente al 20% rispetto la coltura pura ha messo in evidenza buoni risultati da parte del favino in termini produttivi con una produzione di 2,926 t/ha, l'82% delle 3,582 t/ha ottenute in coltura pura. È quindi il Mix che meglio remunera la quantità di seme di favino e di frumento duro investiti nella consociazione, in quanto anche il cereale in questo Mix ha dato risultati vicini all'atteso; Inoltre si deve considerare che a compensare la lieve perdita in produzione del favino vi è l'effetto di contenimento delle infestanti oramai risaputo da parte del frumento dovuto ad effetti allelopatici che rendono il terreno più difficilmente colonizzabile da parte soprattutto delle infestanti annuali.

È noto infatti che la problematica delle infestanti è molto diffusa nelle leguminose coltivate con metodo biologico; In particolare per il favino si è notato che il periodo critico è quello della fine del ciclo colturale, quando questa leguminosa perde le foglie e lascia il terreno con una bassa copertura e le infestanti riescono a crescere facilmente. Da questo punto di vista la consociazione in questione potrebbe essere una soluzione al mancato utilizzo di prodotti chimici per il diserbo.

La Figura 3-6, riassume i risultati complessivamente ottenuti relativamente alla produzione del frumento duro (Tabella 3) e del favino (Tabella 6), da cui si può notare che all'aumentare della densità del cereale, e quindi della sua produzione, la produzione della leguminosa è diminuita in maniera quasi proporzionale.



**Figura 3-6: Confronti tra le medie della produzione di frumento duro (in rosso) e favino (in blu): risultati Tukey HSD**

Ulteriori indagini saranno necessarie per individuare la combinazione ottimale frumento duro-favino che consenta al favino di mostrare produzioni di granella simili alla coltura pura, avvantaggiandosi dell'effetto positivo della consociazione con il cereale per un miglior controllo della flora infestante. A questo riguardo si deve comunque notare che l'andamento meteorologico del 2020 è stato particolarmente favorevole per il frumento duro e sfavorevole in generale per tutte le leguminose da granella, come confermato dai livelli produttivi ottenuti presso le aziende dell'area oggetto di studio. I risultati quindi suggeriscono di ripetere la prova per più anni sia per campionare un *range* di condizioni ambientali più rappresentativo, sia per identificare la densità migliore del frumento duro nelle consociazioni dove il favino è presente alla densità di semina della coltura pura, inserendo ulteriori densità di semina del frumento duro.

### 3.3 LER<sub>totale</sub>: LER<sub>durum</sub>+ LER<sub>faba</sub>

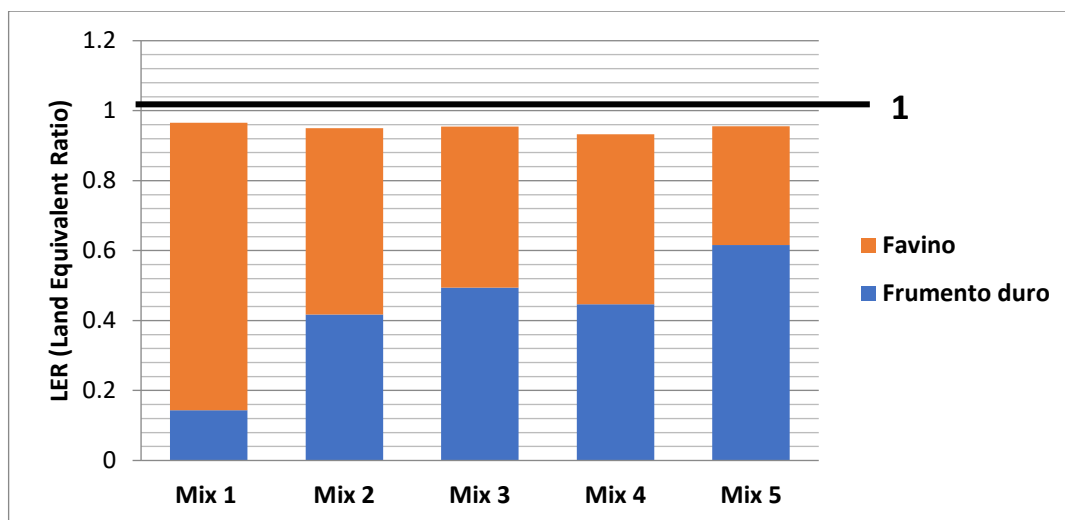
I risultati dell'Analisi della Varianza (ANOVA) hanno mostrato per il LER<sub>totale</sub> una non significatività statistica di entrambe le fonti di variazione prese in esame ("Blocco" e "Consociazioni"). Questo risultato indica che non c'è differenza tra i vari Mix in termini di utilizzo del suolo.

**Tabella 8.** LER<sub>totale</sub>: risultati dell'ANOVA

Fonte di Variazione	g.l. <sup>1</sup>	Devianza	Varianza	F	P	*2
<b>Blocco</b>	4	0,044	0,011	1,265	0,276	n.s.
<b>Consociazioni</b>	4	0,002	0,0005	0,0827	0,986	n.s.
<b>Errore</b>	16	0,142	0,0089			

1 g.l.= gradi di libertà

2\*= Significatività statistica: n.s.=non significativo; \*= P<0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= P<0,001



**Figura 3-7: Valori ottenuti del  $LER_{totale}$ , suddivisi nelle due componenti:  $LER_{durum}$  e  $LER_{fabas}$ .**

La Figura 3-7, rappresenta il  $LER_{totale}$  dei diversi Mix diviso nelle due componenti: quella del frumento duro e quella del favino. Il  $LER_{totale}$  medio di tutti i Mix è risultato pari a 0,95, di poco inferiore ad 1, diversamente dai LER ottenuti in prove precedenti che mostravano valori sopra ad 1, indicando un vantaggio in termini di uso del suolo da parte della consociazione frumento duro-favino quando però quest'ultimo è inserito a densità più basse di quelle testate in questa prova. In quelle prove la componente del cereale ha fatto registrare produzioni maggiori dell'atteso, dimostrando una buona capacità competitiva verso la leguminosa in coltura consociata e contribuendo molto quindi al valore finale del LER.

Tuttavia, in un'ottica di valorizzazione della leguminosa, scegliere di aumentare la densità di semina di questa e diminuire quella del cereale potrebbe essere una valida strategia di coltivazione del favino senza l'utilizzo di input chimici per il diserbo grazie all'aiuto del grano duro nella competizione con le infestanti.

Degno di nota è il Mix 1, che con LER di 0,96 non si scosta molto dalla soglia di 1, ed anche in termini di LER parziali è quello che ha dato i risultati migliori in termini di uso del suolo. Sebbene la produzione del Mix 1 sia stata più bassa di quella attesa, è risultata la più vicina a quella della coltura pura fornendo valori soddisfacenti dal punto di vista della produzione di favino. Inoltre, anche se non è stata investigata la competizione contro le infestanti in questa prova, oltre ad essere risaputa la capacità allelopatica del cereale nei confronti di queste, le parcelle di favino consociato con il cereale, sono risultate visivamente

meno colonizzate dalle piante infestanti. Risultati soddisfacenti, inoltre, da questo punto di vista sono stati appositamente ottenuti da prove precedenti. Questo offre uno spunto per proseguire con le prove per la ricerca di una combinazione efficace per valorizzare la leguminosa con metodi di coltivazione a basso input valutando la competizione contro le infestanti delle consociazioni prese in esame confrontandola con la coltura pura della leguminosa.

## CONCLUSIONI

Complessivamente, la prova sperimentale ha fornito indicazioni preliminari per ottimizzare la coltivazione del favino sfruttando la consociazione con il frumento duro. Entrambe le varietà impiegate, Tirez per il frumento duro e Chiaro di Torre Lama per il favino, sono molto diffuse nella Regione Marche. Mentre la coltivazione del frumento duro non presenta articolari problemi sia in agricoltura convenzionale che in agricoltura biologica, la coltura del favino è soggetta a maggior variabilità nelle rese, dovute alle condizioni ambientali delle singole annate, e soprattutto in agricoltura biologica è fortemente limitata dallo sviluppo delle erbe infestanti. La consociazione, opportunamente ottimizzata relativamente alle densità di semina del cereale e della leguminosa, potrebbe essere una valida opportunità per la reintroduzione delle leguminose da granella nelle rotazioni colturali. Quest'ultimo aspetto riveste particolare importanza soprattutto in relazione all'attuale politica agricola comunitaria che si è posta come obiettivo principale l'aumento della sostenibilità sia economica che ambientale dei sistemi produttivi.

## BIBLIOGRAFIA

- Aziz M., Mahmood A., Asif M., Ali A. 2015. Wheat – based intercropping: a review. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, Page: 896-907.
- Bedoussac L., Hauggaard – Nielsen H., Journet E. T., Waudin C. 2014. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal – grain legume intercrops in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Brooker W. R., Paterson E., Jones G. H., Watson C., 2014. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and Ecology. *New Phytologist*
- Layet J., Das A., Mitran T., Meena R., 2018. Cereal+Legume Intercropping: An Option for Improving Productivity and Sustaining Soil Health. *Chapter*
- Raseduzzaman Md., Jensen S. E., 2017. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*.
- Martin-Guay M. O., Paquette A., Drupas J., Rivest David. 2018. The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, pp 767-772.
- Jensen, Erik Steen, Peoples, Mark B., Hauggaard-Nielsen, Henrik. (2010) Faba bean in cropping systems. *Field crops research*. Volume: 115 Number: 3, pp 203-216.
- Anestis Karkanis, Georgia Ntatsi, Liga Lepse, Juan A. Fernández, Ingunn M. Vågen, Boris Rewald, Ina Alsin, Arta Kronberga, Astrit Balliu, Margit Olle, Gernot Bodner, Laila Dubova, Eduardo Rosa and Dimitrios Savvas. 2018. Faba Bean Cultivation – Revealing Novel Managing Practices for More Sustainable and Competitive European Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*.



## ***RINGRAZIAMENTI***

A conclusione di questo elaborato, desidero menzionare e ringraziare tutte le persone che hanno contribuito al raggiungimento di questo mio obiettivo.

In primis vorrei ringraziare l'Università politecnica delle Marche e tutti coloro che hanno dato vita al corso di laurea magistrale in Scienze Agrarie e del territorio.

Desidero poi ringraziare il relatore, il Prof. Stefano Tavoletti e la correlatrice, la Dott.ssa Ariele Merletti, sempre pronti a darmi le giuste indicazioni in ogni fase della realizzazione dell'elaborato. Grazie a voi ho accresciuto le mie conoscenze e competenze. Ringrazio i miei compagni Maya, Riccardo e Mattia con cui ho condiviso questo progetto e per l'aiuto datomi nelle fasi di campionamento.

Ringrazio i miei genitori, mia sorella, mia nonna, insomma la mia famiglia, perché senza di loro non avrei mai potuto intraprendere e continuare questo percorso di studi, e li ringrazio per tutti gli utili consigli.

Ringrazio Ale, per avermi sempre incoraggiato e spronato, anche nei momenti più complicati di questo percorso di studi.

Infine ringrazio me stesso perché se sono riuscito a terminare questa maledetta università è anche un po' merito mio, in questo periodo di incertezze e di paure ho saputo focalizzare un obiettivo, con una frase ben stampata in mente "never say never , because limits like fears are often just illusions".