



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

LA CONSOCIAZIONE GRANO TENERO – FAVINO:  
OPPORTUNITÀ PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ  
DELLE PRODUZIONI AGRARIE

*INTERCROPPING BREAD WHEAT – FABIA BEAN:  
AN OPPORTUNITY TO IMPROVE SUSTAINABILITY  
OF AGRICULTURAL PRODUCTS*

TIPO TESI: SPERIMENTALE

Studente:

ALESSANDRO MONTEVERDE

Relatore:

PROF. STEFANO TAVOLETTI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020



A mio nonno Lorenzo



# INDICE

ELENCO DELLE FIGURE .....	6
ELENCO DELLE TABELLE.....	7
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	8
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	9
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI.....	13
1.1 Materiali vegetali	13
1.2 Semina e cure colturali	14
1.3 Raccolta della prova e rilevamento dei dati	14
1.4 Analisi dei dati	15
CAPITOLO 2 RISULTATI E DISCUSSIONE .....	16
2.1 Produzione delle colture pure	16
2.2 Produzione del frumento tenero in consociazione	18
2.3 Produzione del favino in consociazione	21
2.4 Land Equivalent Ratio del frumento	24
2.5 Land Equivalent Ratio del favino	26
2.6 Land Equivalent Ratio totale	28
2.7 Peso ettolitrico del frumento	29
2.8 Contenuto proteico della granella del frumento	30
CONCLUSIONI .....	31
RINGRAZIAMENTI .....	32
BIBLIOGRAFIA .....	33
Schede Varietali del Frumento	33
Schede Varietali del Favino	34
Articoli Scientifici e Libri	35

## ELENCO DELLE FIGURE

○ <i>Figura 2.1 Produzione delle colture pure di frumento e favino</i> .....	17
○ <i>Figura 2.2 Produzione media delle 12 varietà di frumento in consociazione</i> .....	18
○ <i>Figura 2.3 Produzione media del frumento in consociazione con le 3 varietà di favino</i> .....	19
○ <i>Figura 2.4 Produzione media di ciascuna varietà di frumento in consociazione con le 3 varietà di favino</i> .....	19
○ <i>Figura 2.5 Produzione media delle singole varietà di favino in consociazione con il frumento</i> .....	21
○ <i>Figura 2.6 Produzione media del favino in consociazione con ciascuna varietà di frumento</i> .....	22
○ <i>Figura 2.7 Produzione media delle 3 varietà di favino nelle singole consociazioni con 12 varietà di frumento</i> .....	22
○ <i>Figura 2.8 LER delle varietà di frumento</i> .....	24
○ <i>Figura 2.9 LER medio del frumento con le 3 varietà di favino</i> .....	25
○ <i>Figura 2.10 LER del frumento nelle singole consociazioni</i> .....	25
○ <i>Figura 2.11 LER medio delle 3 varietà di favino</i> .....	26
○ <i>Figura 2.12 LER medio del favino con le 12 varietà di frumento</i> .....	27
○ <i>Figura 2.13 LER delle 3 varietà di favino nelle singole consociazioni con le 12 varietà di frumento</i> .....	27
○ <i>Figura 2.14 LER totale delle singole consociazioni</i> .....	28
○ <i>Figura 2.15 Peso ettolitrico del frumento</i> .....	29
○ <i>Figura 2.16 Contenuto proteico del frumento</i> .....	30

## ELENCO DELLE TABELLE

○ <i>Tabella 1.1 Caratteristiche varietali dei frumenti</i> .....	13
○ <i>Tabella 1.2 Caratteristiche varietali dei favini</i> .....	14
○ <i>Tabella 2.1 Produzione delle colture pure: ANOVA</i> .....	16
○ <i>Tabella 2.2 Produzione del frumento in consociazione: ANOVA</i> .....	18
○ <i>Tabella 2.3 Produzione del favino in consociazione: ANOVA</i> .....	21

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> : analisi della varianza
CV	<i>Cultivar, Cultivated Variety</i> : varietà coltivata, varietà
DIVERSIFY	<i>Designing InnoVative plant teams for Ecosystem Resilience and agricultural Sustainability</i> : Progettare squadre innovative di piante per la resilienza degli ecosistemi e la sostenibilità dell'agricoltura
H2020	<i>Horizon 2020</i> : Orizzonte 2020
HSD	<i>Honest Significant Difference</i> : differenza significativa onesta
ISQ	Indice Sintetico di Qualità
LER	<i>Land Equivalent Ratio</i> : rapporto di terreno equivalente
N.D.	Non dichiarato
PANIF. SUP.	Panificabile superiore
SEMIALTERN.	Semialternativo



## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Un ecosistema naturale può presentare più specie vegetali vicine tra loro ed esiste una correlazione positiva tra produttività dell'ecosistema, in termini di biomassa complessiva, e la sua biodiversità (Tilman, *et al.*, 1996, 2001; Hooper & Vitousek, 1998; Hector, *et al.*, 1999; Schlapfer & Schmidt, 1999; Lovelock & Ewel, 2005). Nell'agricoltura intensiva si ricorre ad una impostazione degli agroecosistemi consistente in superfici possibilmente ampie dedicate ad una singola coltura. Questo, da un punto di vista ecologico, è un'anomalia (Boudreau, 2013), anche se semplifica la gestione. La resa areica e le caratteristiche qualitative della coltura sono massimizzate ricorrendo anche ad input esterni, quali fertilizzanti ed agrofarmaci. Il loro uso ed altri avanzamenti tecnologici hanno portato le quantità di derrate alimentari prodotte a livelli che non hanno eguali nella storia. Insieme ad altri fattori non agricoli, ciò ha permesso alla popolazione mondiale di passare dai 2,5 miliardi di persone dell'anno 1950 ai 7,8 odierni (dati ONU 2019). Attendibili previsioni danno quella del 2050 a circa 9 (stima ONU 2019).

Alcuni studi però (Neri, 2013) ci indicano che nel passaggio da un ecosistema naturale ad uno agricolo a biodiversità sempre più ridotta ci si muove verso la perdita della sua naturale ed intrinseca fertilità. Altri studi fanno notare come il modello di produzione agroalimentare attuale ci stia costando troppo, in termini ambientali e non solo, producendo vere e proprie esternalità negative (Mousavi & Eskandari, 2011; Fitzpatrick, *et al.*, 2017). Risulta quindi ragionevole cercare di sviluppare e rendere praticabili delle valide tecniche che consentano all'agricoltura di soddisfare i fabbisogni attuali, riducendo l'uso di input esterni e mantenendo gli agroecosistemi in grado di sostenere produzioni future.

Vista la suddetta correlazione positiva tra produttività complessiva e biodiversità, molte attività di ricerca e sperimentazione in agricoltura hanno voluto contribuire all'ottenimento delle conoscenze necessarie al conseguimento di produzioni quali-quantitativamente buone coltivando insieme almeno due specie. Parliamo quindi di *consociazione*.

La consociazione, pratica agricola molto antica, è utilizzata in varie parti del Mondo anche da più di 2000 anni (Vandermeer, 1989) ed è definibile come la coltivazione di specie differenti insieme nello spazio e nel tempo, per tutta la durata dei loro cicli colturali o per una parte di essi (Lithourgidis, *et al.*, 2011; Vandermeer, 1989, 2011; Altieri, 1999; Francis, 1986). La consociazione è ancora diffusa soprattutto nelle regioni tropicali, nelle aziende piccole che praticano un'agricoltura di sussistenza; essa ha effetti positivi sulla salute delle piante, riducendo l'incidenza di diverse fitopatie (Boudreau, 2013).

Essa può incrementare le rese delle colture migliorando l'efficienza nell'uso delle risorse e della superficie agraria disponibile. Inoltre, se è stata scelta la giusta combinazione di colture, gli input esterni - quali la concimazione azotata - possono essere ridotti (Exner, *et al.*, 1999).

Uno studio (Mousavi & Eskandari, 2011) riporta i seguenti modi di realizzarla:

- A file (*row-intercropping*): due o più colture in simultanea dove almeno la prima è seminata in file regolari;
- Mista (*mixed-intercropping*): due o più colture in simultanea senza sistemazione ordinata (adatta per pascoli e prati polifiti);
- A strisce (*strip-intercropping*): due o più colture in simultanea su strisce di terreno differenti, ad una larghezza tale da permettere di coltivarle indipendentemente conservandone l'interazione;
- Temporanea (*relay-intercropping*): le due colture condividono la coltivazione per una parte del loro ciclo.

Le colture, quando consociate, competono tra loro sia a livello ipogeo, per l'approvvigionamento di acqua e nutrienti, sia a livello epigeo, per intercettare a fini fotosintetici la maggior quantità di luce possibile. La competizione interspecifica può essere bilanciata dalla cosiddetta complementarietà, molto importante ai fini del risultato quali-quantitativo della produzione della consociazione (Xiao, *et al.*, 2004; Duchene, *et al.*, 2017).

La complementarietà è il più complesso e documentato meccanismo migliorante la produttività delle colture consociate rispetto alle colture pure, con riguardo in particolare ad un miglior uso delle risorse disponibili (Bedoussac, 2009; Bedoussac, *et al.*, 2015). Conosciuta anche come complementarietà interspecifica, è un concetto che suggerisce che le colture differiscono tra loro nel modo in cui trovano ed usano ciò di cui necessitano, limitando la competizione e beneficiando reciprocamente della loro contemporanea presenza.

La complementarietà è considerabile come una suddivisione e condivisione di ordine spaziale, temporale e chimico dell'utilizzo, appunto, delle risorse stesse (Justes, *et al.*, 2014). È molto frequente riscontrare in campo la combinazione di tutti e tre i tipi (Bedoussac & Justes, 2010).

Specie diverse:

- possono esplorare ed occupare zone ipogee a diversa profondità (Bargaz, *et al.*, 2015) e questo dipende dall'architettura radicale; parliamo perciò di stratificazione verticale delle nicchie radicali (Hauggaard-Nielsen & Jensen, 2005); anche le parti aeree possono sfruttare in diversi modi la radiazione solare, riducendo la competizione, come nel caso di grano duro e pisello (Bedoussac & Justes, 2010);
- possono avere esigenze che si manifestano ad una certa distanza temporale le une dalle altre e quindi non competere nello stesso momento; uno studio (Amossé, *et al.*, 2013) descrive i diversi

tempi di crescita di trifoglio e frumento consociati, che non si ostacolano nell'intercettazione luminosa;

- rilasciano sostanze che rendono maggiormente biodisponibili, per tutte le specie, dei nutrienti che altrimenti lo sarebbero stati meno; il fosforo, maggior fattore limitante la crescita dei vegetali dopo l'azoto (Vance, *et al.*, 2000), è solitamente abbondante nei suoli, ma per gran parte in forme insolubili (Schachtman, *et al.*, 1998); in un sistema a bassi input, la consociazione cereale/legume migliora l'acquisizione del fosforo.

È nota la capacità delle leguminose di instaurare simbiosi a livello di rizosfera con batteri del genere *Rhizobium*, in grado di compiere fissazione dell'azoto atmosferico; motivo per cui, nelle rotazioni, si prevede quando possibile l'alternanza nel tempo di queste colture con un cereale, che è completamente dipendente dall'azoto disponibile nel suolo. Questa capacità riduce, o evita, la competizione interspecifica per l'azoto con l'eventuale cereale consociato (Carof, 2006; Hauggaard-Nielsen, *et al.*, 2008).

Per questo una delle consociazioni più praticate e studiate è quella tra graminacee e leguminose. Sono note, ad esempio, mais e fagiolo, mais e soia, orzo e pisello, grano e lupino, grano e favino (Haymes & Lee, 1999; Duchene, *et al.*, 2017).

Con particolare riguardo alla rizosfera, è stato dimostrato che i sistemi cereale/legume possono promuovere interazioni benefiche nelle quali le piante possono trarre vantaggi e migliorare la loro crescita e produzione. Difatti: frumento o orzo consociati con leguminose hanno avuto un maggior contenuto di proteine nella granella (Jensen, *et al.*, 2006; Bedoussac, 2009); la biodisponibilità del fosforo cresce, anche nei suoli alcalini (Hinsinger, *et al.*, 2011; Latati, *et al.*, 2014) così come l'attività e la biomassa microbica (Singh *et al.*, 1986; Tang, *et al.*, 2014); la leguminosa può abbassare il pH del suolo accrescendo così il rilascio di nutrienti nella soluzione circolante (Li, *et al.*, 2007); in suoli calcarei, con disponibilità molto bassa di ferro e zinco, le graminacee sono in grado di mobilitare questi elementi rilasciando sostanze chelanti, beneficiandone esse stesse e riducendo la carenza degli stessi elementi nelle specie vicine (Li, *et al.*, 2014); l'aumentata disponibilità di fosforo e la presenza del cereale migliorano l'efficienza della simbiosi del legume con i batteri del genere *Rhizobium* e, quindi, la nutrizione azotata del cereale stesso (Latati, *et al.*, 2016); un mix di essudati del legume, quali acidi organici, enzimi, vitamine, amminoacidi, fitosiderofori, può avere un ruolo primario nel modificare la rizosfera e rendere solubili calcio, fosforo e ferro, anche chelando quest'ultimo (Dakora & Phillips, 2002; Fridley, 2002; Hinsinger, *et al.*, 2003); è dimostrato che la componente microbica del suolo è specie-specifica (Marschner, *et al.*, 2001), perciò, dal momento che gli apparati radicali sono liberi di interagire, sia il cereale che il legume beneficiano dell'accresciuta biodiversità microbica dovuta alla loro consociazione (Duchene, *et al.*, 2017). Quindi, in ultima istanza, la produzione delle colture consociate, se comparata alle colture singole, può aumentare (Haymes & Lee, 1999).

Visto che competizione e complementarità interspecifiche si verificano spesso insieme, la prevalenza dell'una sull'altra dipende da delicati equilibri. Molti fattori le influenzano, inclusi le specie delle piante consociate (Semere & Froud-Williams, 2001), le condizioni di stress (Callaway, *et al.*, 2002; Maestre, *et al.*, 2009), lo stato del suolo (Degens, *et al.*, 2000; Zegada-Lizarazu, *et al.*, 2006) e l'uso di fertilizzanti ed agrofarmaci, visto che è stato verificato come l'azotofissazione simbiotica abbia una correlazione negativa con la disponibilità di azoto minerale nel terreno (Jensen, 1996). Ciò è particolarmente importante da considerare nei sistemi a bassi input ed in agricoltura biologica: il minor apporto esterno di azoto incentiva la complementarità tra cereale e legume.

Introdurre la consociazione tra le pratiche dell'agricoltura attuale può essere difficile. Perciò la sfida sta proprio nel ricercare modalità in grado di assicurare una sufficiente complementarità, tale da compensare – se non addirittura superare – la competizione interspecifica. Per formulare validamente delle proposte, è fondamentale la conoscenza delle varie combinazioni possibili.

Avendo scelto di condurre una sperimentazione riguardante un comunissimo cereale, il frumento tenero (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*), ed una leguminosa da granella per uso zootecnico altrettanto diffusa, il favino (*Vicia faba* L. *minor* e *Vicia faba* L. *equina*), il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo principale lo studio del comportamento in coltura pura ed in consociazione di un'ampia gamma di loro cultivar.

La prova sperimentale di questa tesi è inserita nelle attività di ricerca del progetto H2020 “*Designing InnoVative plant teams for Ecosystem Resilience and agricultural Sustainability*” (acronimo: DIVERSify) ed è stata eseguita presso un terreno della Società Agricola Vaccarini che è stata coinvolta nel progetto in qualità di *Participatory Farmer*.

# Capitolo 1

## MATERIALI E METODI

### 1.1 MATERIALI VEGETALI

Nella prova sono state inserite 12 varietà di frumento tenero e 3 varietà di favino (tabelle 1.1 e 1.2) che sono state valutate sia in coltura pura che in consociazione tra il cereale e la leguminosa. Complessivamente quindi sono state valutate 15 colture pure e 36 combinazioni in consociazione (12 x 3). Le colture pure sono state seminate utilizzando una quantità di seme calcolata per ottenere una densità di 350 e 50 piante m<sup>2</sup> per le colture pure di frumento tenero e favino, rispettivamente. Le colture consociate sono state seminate utilizzando una densità del 55% e del 75% di frumento tenero e favino, percentuali riferite alla densità delle rispettive colture pure (Mix 55:75). Le caratteristiche delle varietà di frumento e favino inserite nella prova sono riassunte nelle Tabelle 1.1 e 1.2. I numeri romani per il frumento e le lettere maiuscole per i favini corrispondono alle loro schede varietali, elencate in bibliografia con link al sito web dove consultarle.

*Tabella 1.1 Caratteristiche varietali dei frumenti*

<b>Frumento</b> -scheda varietale	<b>Alternatività</b>	<b>Altezza (cm)</b>	<b>Peso di 1000 semi (g)</b>	<b>Proteine (%)</b>	<b>W</b>	<b>Cat. ISQ</b>
<i>ACA320</i> – I	Si	Medio-alta	Elevato	14,8	>500	Di forza
<i>Afrodite</i> – II	No	82 – 86	38 – 41	11 – 13	140	Panificabile
<i>Aquilante</i> - III	Si	Media	37 – 40	13 – 14,5	170 – 220	Panificabile
<i>Bologna</i> - IV	No	Medio-bassa	31 – 35	Elevate	300 – 350	Di forza
<i>Ilaria</i> - V	No	80 – 85	40 – 44	12 – 14	140 – 160	Panificabile
<i>Izalco</i> – VI	n.d.	Medio-alta	n.d.	13,5 – 15	300 – 450	Di forza
<i>Lucilla</i> – VII	Si	85 – 90	43 – 45	13 – 15	290 – 310	Di forza
<i>Marcopolo</i>	Semialtern.	Medio-alta	Medio	Medio-elev.	180 – 260	Panificabile
<b>VIII</b>						
<i>Moisson</i> – IX	Semialtern.	Alta	>46	n.d.	140 – 200	Panificabile
<i>Rebelde</i> – X	No	Media	36 – 39	14,5 – 15,5	350 – 450	Di forza
<i>Sofolk</i> – VI	n.d.	Media	n.d.	Elevate	250	Panif. sup.
<i>Stendal</i> - XI	Si	80 – 85	38 – 42	14 – 15	320 – 380	Di forza

Tabella 1.2 Caratteristiche varietali dei favini

Favino - scheda varietale	Alternatività	Altezza (cm)	Peso di 1000 semi (g)	Proteine (%)
<i>Chiaro di Torre Lama</i> – A	Si	95 – 105	330 – 460	24 – 26
<i>Prothabat69</i> – B	Si	n.d.	450 – 550	34 – 36
<i>Rumbo</i> - C	Si	95 – 105	380 – 580	25 – 27

## 1.2 SEMINA E CURE COLTURALI

La semina è stata effettuata il 5 Dicembre 2018 con seminatrice parcellare Vignoli utilizzando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati completi con 4 repliche e parcelle della lunghezza di 5 m e larghezza di 1,2 m. La concimazione è stata effettuata utilizzando urea (46% N) alle dosi di 180 e 90 kg N ha<sup>-1</sup> per le colture pure di frumento e per le colture consociate, rispettivamente. Le colture pure di favino non sono state concimate, essendo il favino una leguminosa che utilizza l'N atmosferico (N<sub>2</sub>) come fonte principale di N mediante il processo di azotofissazione. La concimazione è stata effettuata in due fasi. La prima concimazione (40% della dose totale di urea) è stata eseguita il 1° Marzo 2019, con il frumento allo stadio di accostamento, mentre la seconda è stata eseguita il 4 Aprile 2019 (60% della dose totale di urea) quando il frumento era in fase di levata. Non sono stati effettuati interventi con diserbanti per valutare la capacità competitiva delle colture nei confronti della flora infestante.

## 1.3 RACCOLTA DELLA PROVA E RILEVAMENTO DEI DATI

La raccolta è stata eseguita il 23 Luglio 2019 per singole parcelle utilizzando una mietitrebbia parcellare Wintersteiger Delta.

Il prodotto raccolto è stato sottoposto a vagliatura manuale e, relativamente alle colture consociate, la granella di frumento è stata separata dal seme di favino. Successivamente, è stata stimata la produzione (t ha<sup>-1</sup>) sia delle colture pure di frumento e favino sia delle colture consociate, in quest'ultimo caso considerando sia la produzione delle singole specie (frumento e favino) sia la produzione totale. Questo ha permesso di calcolare l'indice LER (Land Equivalent Ratio) sia riferito alle singole specie (LER<sub>frumento</sub> e LER<sub>favino</sub>) che totale (LER<sub>totale</sub>):

- **LER<sub>frumento</sub>** = Produzione (t ha<sup>-1</sup>) del frumento in consociazione / Produzione (t ha<sup>-1</sup>) in coltura pura
- **LER<sub>favino</sub>** = Produzione (t ha<sup>-1</sup>) del favino in consociazione / Produzione (t ha<sup>-1</sup>) in coltura pura
- **LER<sub>totale</sub>** = LER frumento + LER favino

Il LER totale ha permesso di valutare il comportamento complessivo della coltura consociata rispetto alle singole colture pure. In particolare:

- **LER<sub>totale</sub> > 1**: la consociazione è preferibile alle colture pure;
- **LER<sub>totale</sub> = 1**: la coltura consociata è equivalente alle colture pure;
- **LER<sub>totale</sub> < 1**: le colture pure sono da preferire alla consociazione.

Inoltre, la granella di frumento raccolta da ciascuna parcella è stata utilizzata per determinare 2 parametri qualitativi importanti per il frumento tenero: peso specifico ( $\text{kg hl}^{-1}$ ) e contenuto proteico (%). Queste analisi sono state eseguite dal laboratorio del CERMIS (Centro Ricerche e Sperimentazione per il Miglioramento Vegetale “N. Strampelli”, Tolentino, MC). Si deve notare che la raccolta della prova è stata ritardata per motivi legati alle attività del progetto DIVERSify (visita ai campi di un’equipe del Regno Unito per eseguire filmati ed interviste sulle prove svolte nel 2019) e questo ha esposto le colture ad un evento meteorico sfavorevole con forte vento e pioggia intensa che si è verificato il 9-10 Luglio 2019. Questo aspetto ha influito sui parametri qualitativi della granella di frumento, riducendone in particolare il peso specifico.

#### 1.4 ANALISI DEI DATI

I dati relativi alla produzione quantitativa e qualitativa ed ai LER sono stati elaborati mediante Analisi della Varianza (ANOVA) ed i confronti tra le medie sono stati eseguiti utilizzando il test t di Student (per fattori con 2 livelli) ed il test *Honest Significant Difference* (HSD) di Tukey per confronti multipli tra le medie. La normalità dei residui e l’omogeneità delle varianze sono state testate mediante i test Shapiro-Wilk e Bartlett, rispettivamente.

## Capitolo 2

### RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 2.1 PRODUZIONE DELLE COLTURE PURE

Il test di Bartlett ha evidenziato una disomogeneità delle varianze nell'ANOVA eseguita analizzando insieme colture pure e consociate. Quindi, l'analisi dei dati è stata effettuata separatamente per le due categorie di colture. L'analisi del LER ha successivamente consentito di valutare la relazione tra colture pure e colture consociate, sia a livello di singola specie ( $LER_{\text{frumento}}$  e  $LER_{\text{favino}}$ ) sia di coltura nel suo complesso ( $LER_{\text{totale}}$ ).

Sulla base dei test sulla normalità dei residui e sull'omogeneità delle varianze, l'analisi statistica della produzione delle colture pure è stata eseguita includendo sia le 12 varietà di frumento tenero sia le 3 varietà di favino. L'ANOVA (Tabella 2.1) ha evidenziato una varianza tra varietà altamente significativa ed i confronti multipli tra le medie sono riportati in Figura 2.1.

Tabella 2.1 Produzione delle colture pure: ANOVA

Fonti di Variazione	g.l.	Varianza	F	Prob > F <sup>1</sup>
Blocchi	3	1,46	1,97	ns
Varietà (c. pure)	14	5,30	7,15	***
Errore	42	0,74		

<sup>1</sup> ns= non significativo, \*\*\* significativo per  $P < 0,001$



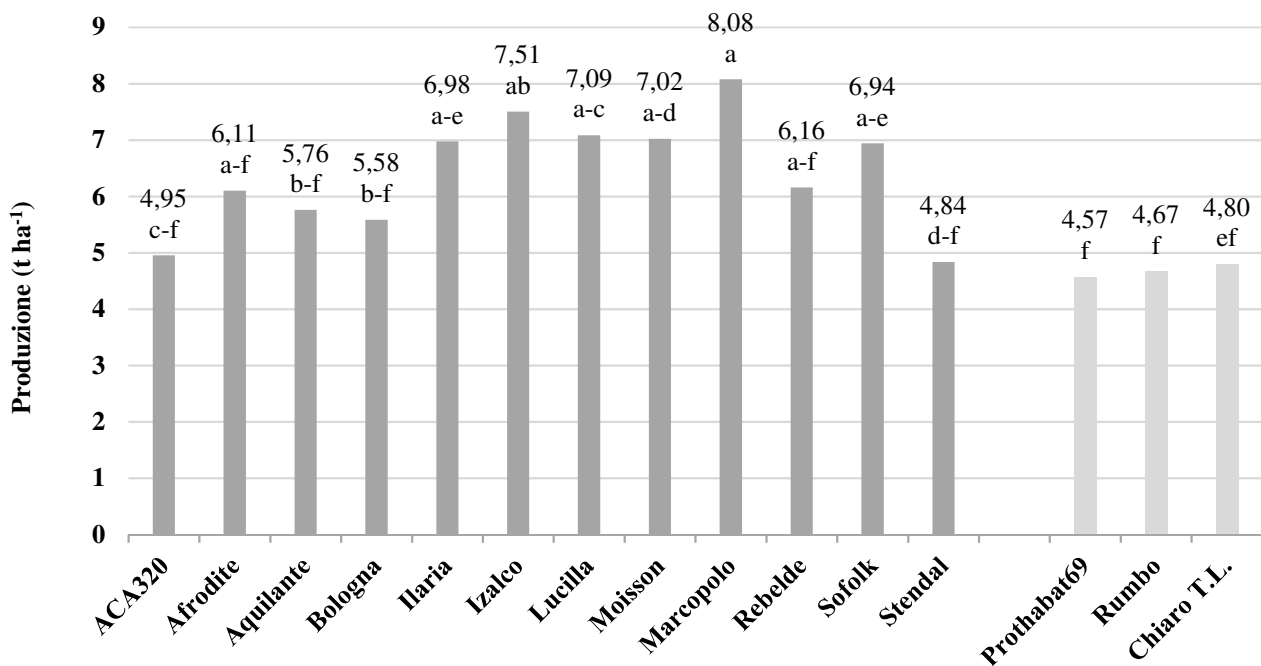


Figura 2.1 Produzione delle colture pure di frumento e favino

È stata evidenziata una notevole variabilità nei livelli medi di produzione tra le 12 varietà di frumento tenero, sebbene il test HSD abbia fatto riscontrare differenze significative solo tra le varietà più produttive (Marcopolo ed Izalco) e quelle meno produttive (ACA320 e Stendal). Le tre varietà di favino hanno mostrato produzioni di seme molto simili tra loro in coltura pura e vicine a quelle delle varietà meno produttive di frumento tenero (Figura 2.1). Le produzioni del favino sono state comunque estremamente elevate, a conferma del favorevole andamento climatico per questa coltura associato alla semina invernale, seppur tardiva. Questi aspetti relativi all'andamento produttivo delle colture pure verranno ripresi in seguito nella trattazione del comportamento delle varietà sia del cereale che della leguminosa nelle colture consociate.

## 2.2 PRODUZIONE DEL FRUMENTO TENERO IN CONSOCIAZIONE

L'ANOVA mostrata in Tabella 2.2 ha permesso di valutare l'effetto medio delle singole varietà di frumento tenero in consociazione, l'effetto medio del frumento (insieme delle 12 varietà valutate) con le tre varietà di favino ed infine il comportamento delle 12 varietà di frumento nelle singole combinazioni di colture consociate (interazione frumento x favino). Si ha infatti una combinazione fattoriale tra i 12 livelli del fattore "frumento tenero" ed i 3 livelli del fattore "favino". I risultati ottenuti hanno evidenziato una varianza altamente significativa sia nel comportamento medio delle 12 varietà di frumento (fonte di variazione FT) sia nel comportamento medio del frumento con le 3 varietà di favino (fonte di variazione FA). Questo indica sia che le 12 varietà di frumento rispondono in modo differente alla consociazione con il favino, sia che le 3 varietà di favino hanno avuto un effetto di competizione diverso nei confronti del frumento.

Tabella 2.2 Produzione del frumento in consociazione: ANOVA

Fonti di Variazione	g.l.	Varianza	F	Prob > F <sup>1</sup>
Blocchi	3	0,75	2,05	ns
Frumento Tenero (FT)	11	4,04	11,04	***
Favino (FA)	2	34,06	93,04	***
FT x FA	22	0,44	1,20	ns
Errore	105	0,37		

<sup>1</sup> ns= non significativo, \*\*\* significativo per P<0,001

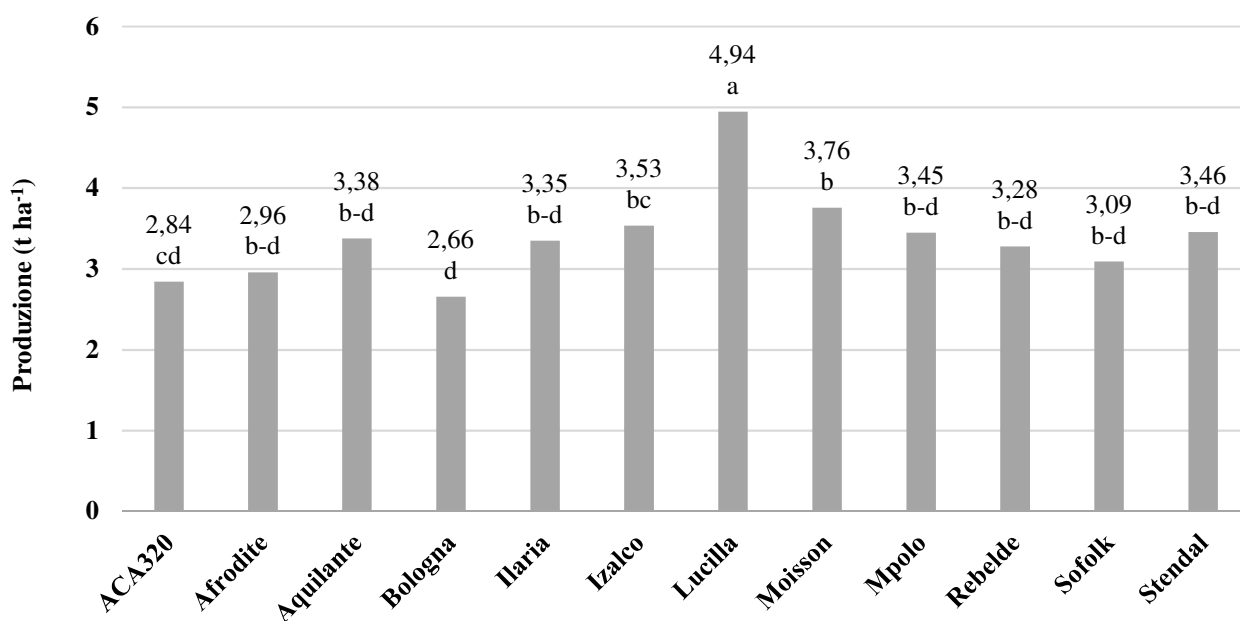


Figura 2.2 Produzione media delle 12 varietà di frumento in consociazione

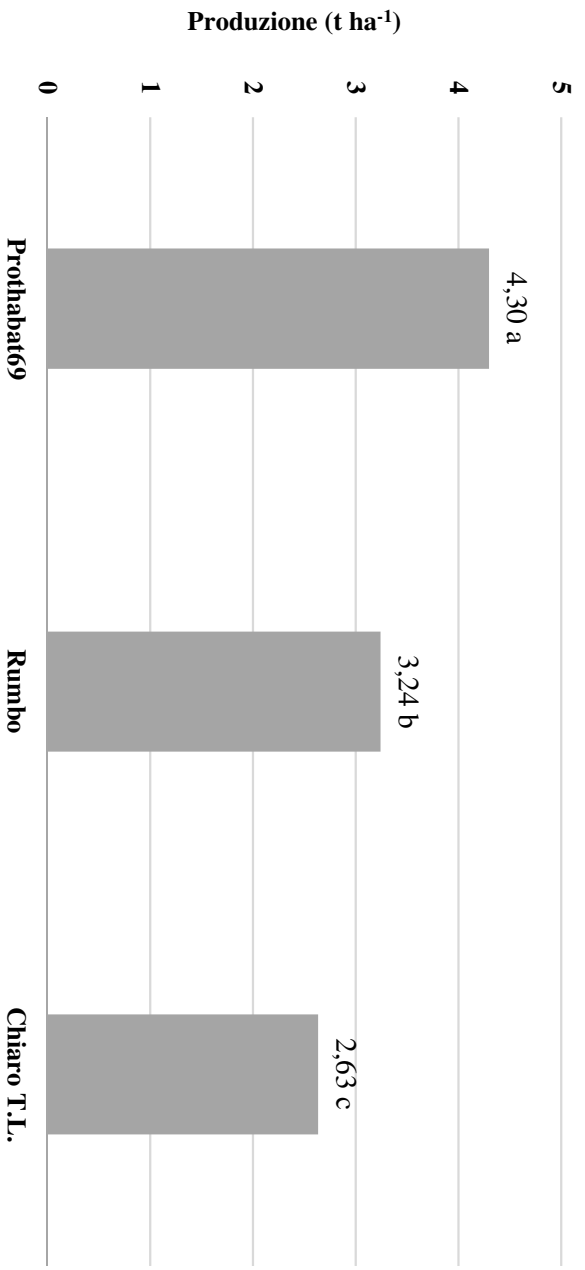


Figura 2.3 Produzione media del fumento in consociazione con le 3 varietà di favino

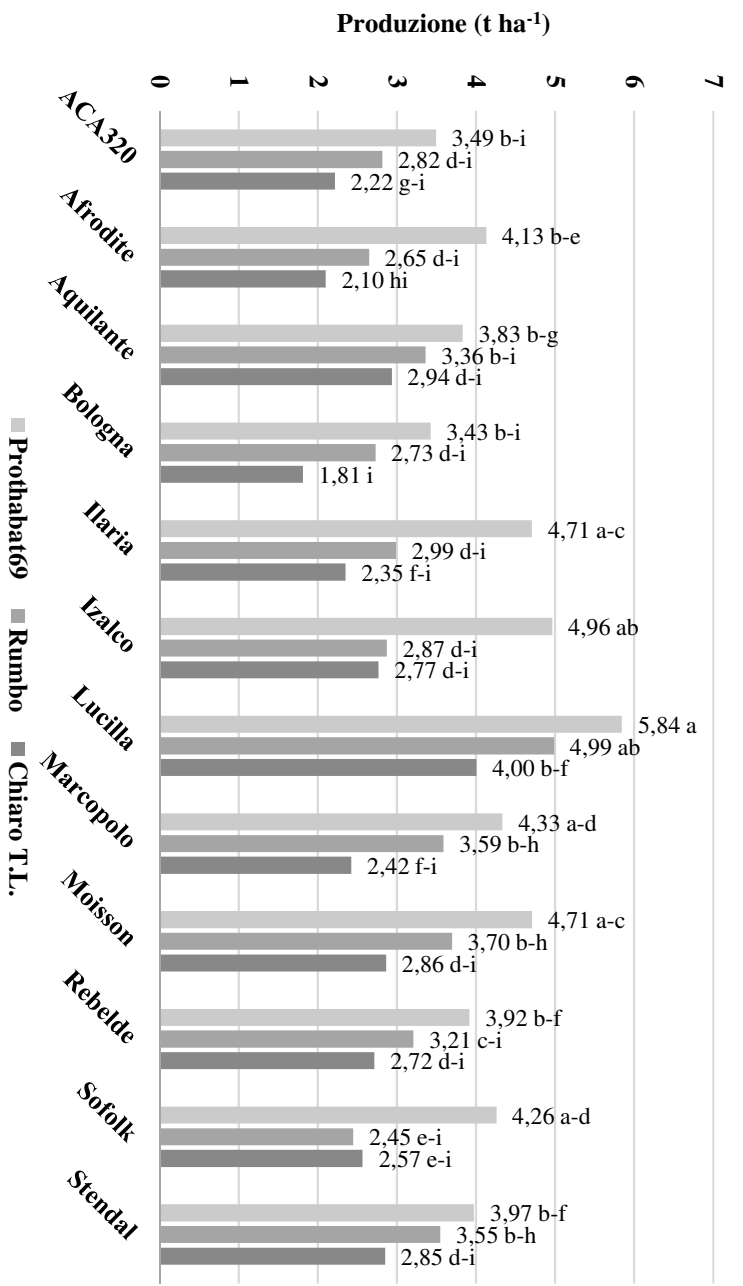


Figura 2.4 Produzione media di ciascuna varietà di fumento in consociazione con le 3 varietà di favino

I confronti multipli tra le medie (Figura 2.2) hanno evidenziato che Lucilla ha mostrato la più alta produzione di granella, significativamente più elevata rispetto a tutte le altre varietà, mentre Bologna, varietà qualitativamente di alto pregio ma poco produttiva anche in coltura pura (Figura 2.1), ha fatto registrare la produzione media più bassa tra le colture consociate. Marcopolo, pur avendo mostrato la più alta produzione in coltura pura, in consociazione ha dato un risultato simile a tutte le altre varietà. Questo aspetto è molto importante perché sembrerebbe indicare che le migliori varietà in coltura pura potrebbero non essere le migliori in consociazione con il favino.

Estremamente interessanti sono i risultati dei confronti tra le produzioni medie del frumento (media delle 12 varietà di frumento) con ognuna delle 3 varietà di favino (Figura 2.3) da cui emerge chiaramente che le tre varietà di favino hanno mostrato un effetto significativamente diverso sulla produzione media del frumento, con Prothabat69 e Chiaro di Torre Lama che hanno presentato la minore e maggiore competitività nei confronti del frumento, mentre Rumbo si è posto in posizione intermedia. Infatti in consociazione con Prothabat69 la produzione media del frumento ( $4,30 \text{ t ha}^{-1}$ ) è risultata significativamente più elevata sia di quella mostrata in consociazione con Rumbo ( $3,24 \text{ t ha}^{-1}$ ) che con Chiaro di Torre Lama ( $2,63 \text{ t ha}^{-1}$ ), con una differenza significativa anche tra le medie delle consociazioni con Rumbo e Chiaro di Torre Lama (Figura 2.3).

La mancanza di significatività della varianza dell'interazione FT x FA ha indicato che questo andamento produttivo del frumento, rispetto alla varietà di favino consociata, è risultato pressoché simile per tutte le varietà di frumento, come si può evincere dalla Figura 2.4 che mostra come tutte le varietà abbiano presentato tendenzialmente produzioni più elevate in consociazione con Prothabat69, più basse con Chiaro di Torre Lama ed intermedie con Rumbo.

Complessivamente quindi i risultati dell'analisi della produzione di granella del frumento in consociazione con il favino hanno messo in evidenza che la risposta produttiva del frumento varia in relazione alla varietà di favino consociata e che la scelta della varietà di favino è importante qualora la consociazione abbia come interesse principale la performance del cereale rispetto a quella della leguminosa.

## 2.3 PRODUZIONE DEL FAVINO IN CONSOCIAZIONE

Lo stesso modello di ANOVA utilizzato per analizzare la produzione del frumento è stato applicato alla produzione di seme delle 3 varietà di favino in coltura pura ed in consociazione (tabella 2.3). La fonte di variazione tra varietà di favino (FA) è risultata altamente significativa, delineando differenze significative tra le produzioni medie delle singole varietà di favino inserite nella prova. Altamente significativa è stata anche la varianza tra le produzioni medie del favino (medie delle 3 varietà di favino) in relazione alla varietà di frumento con cui è stata consociata. Infine l'interazione FA x FT non è risultata significativa.

Tabella 2.3 Produzione del favino in consociazione: ANOVA

Fonti di Variazione	g.l.	Varianza	F	Prob > F
Blocchi	3	1,60	10,39	***
Favino (FA)	2	23,46	152,26	***
Frumento Tenero (FT)	11	1,98	12,84	***
FA x FT	22	0,14	0,94	ns
Errore	105	0,15		

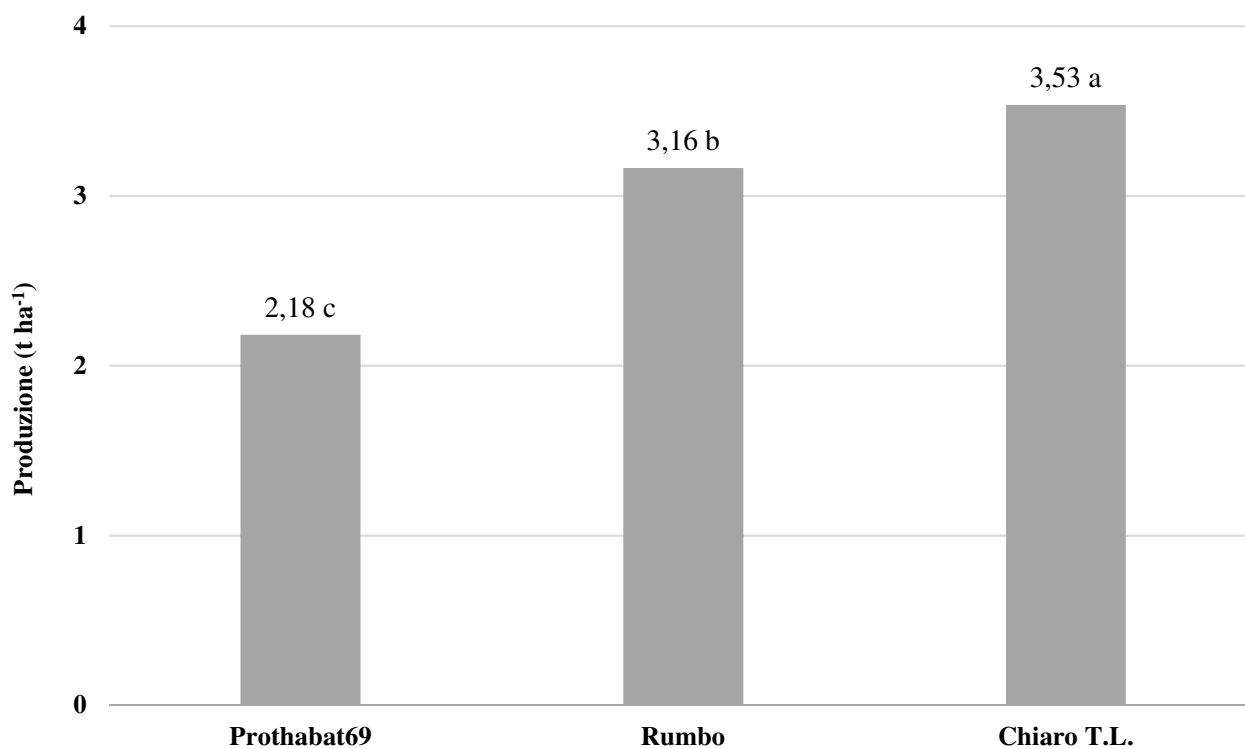


Figura 2.5 Produzione media delle singole varietà di favino in consociazione con il frumento

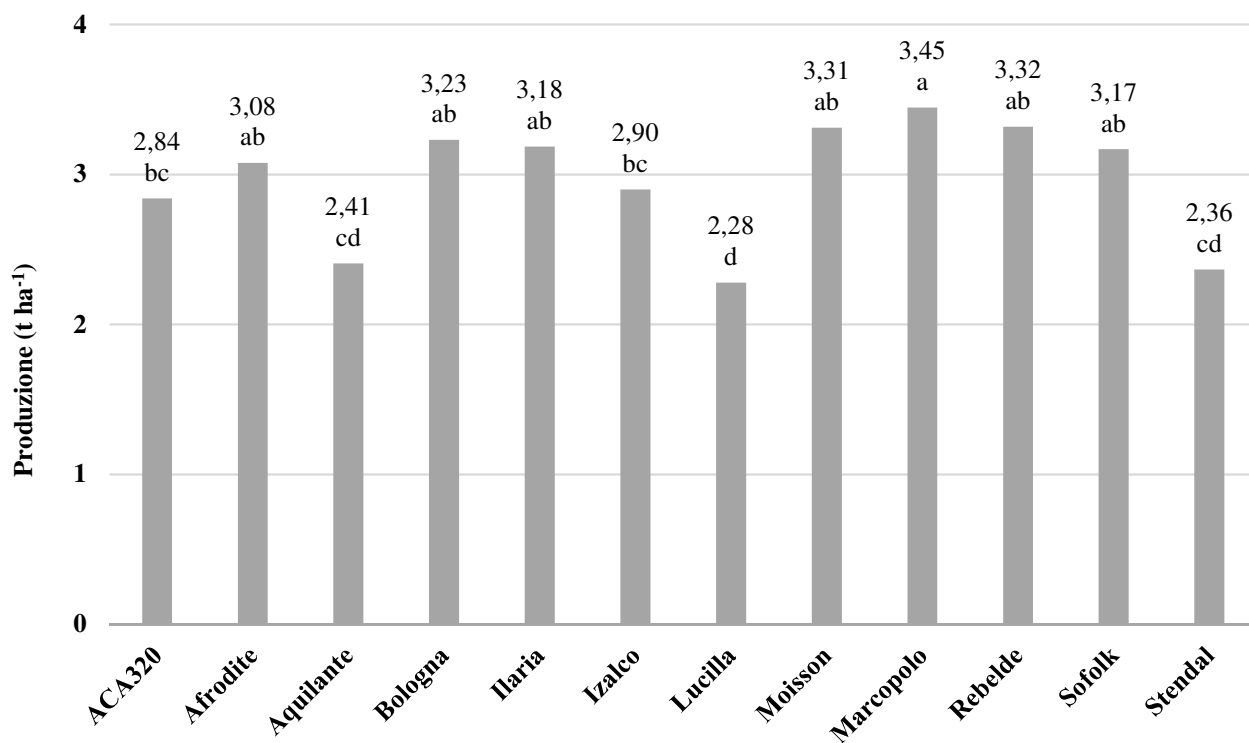


Figura 2.6 Produzione media del favino in consociazione con ciascuna varietà di frumento

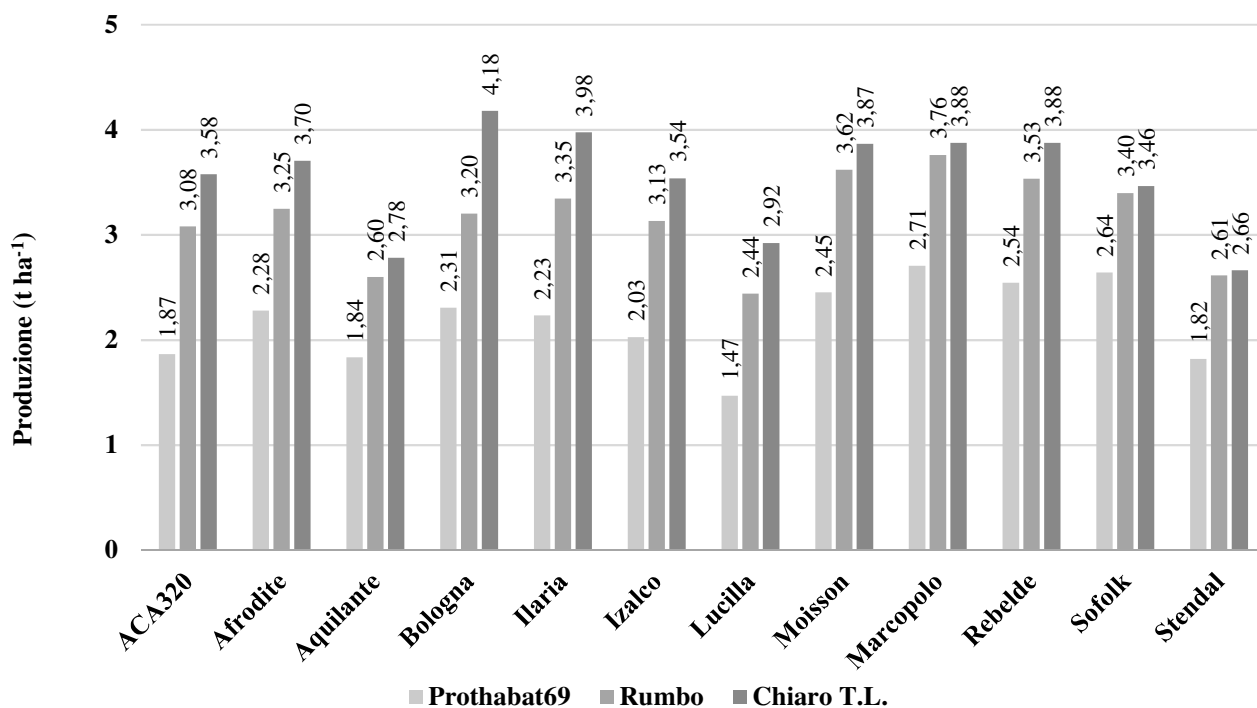


Figura 2.7 Produzione media delle 3 varietà di favino nelle singole consociazioni con 12 varietà di frumento

I confronti multipli tra le produzioni medie delle 3 varietà di favino in consociazione (Figura 2.5) ha mostrato che queste, pur avendo mostrato produzioni molto simili in coltura pura (Figura 2.1), in consociazione hanno mostrato un comportamento molto differente tra loro. In particolare, Chiaro di Torre Lama è risultata la più produttiva, Prothabat69 la meno produttiva e Rumbo si è collocato in posizione intermedia tra le altre due varietà di favino, con differenze significative tra tutte e tre le varietà (Figura 2.5). Quindi, se la competizione con il frumento nelle colture consociate influisce sulla performance produttiva del favino, questi risultati indicano che è stata osservata una differente capacità competitiva delle 3 varietà di favino nei confronti del frumento, con Prothabat69 la meno competitiva e Chiaro di Torre Lama la più competitiva. Considerando il comportamento medio del favino in consociazione con le singole varietà di frumento (Figura 2.6), i risultati ottenuti hanno evidenziato che, sebbene nella maggior parte delle consociazioni il favino abbia mostrato una produzione statisticamente simile, nelle consociazioni con Aquilante, Stendal e Lucilla la produzione media del favino è risultata significativamente inferiore alla maggior parte delle consociazioni con le altre varietà di frumento.

Questo risultato quindi conferma che differenti varietà di frumento esercitano un effetto diverso sulla produttività del favino. In particolare, mentre Lucilla è risultata la più produttiva in consociazione, e questo potrebbe giustificare una sua maggior capacità competitiva con il favino rispetto alle altre varietà di frumento tenero, per Stendal ed Aquilante devono essere considerati altri fattori legati alla competizione interspecifica che non si traducono necessariamente in una maggior produzione del frumento.

La mancanza di significatività dell'interazione FA x FT è mostrata chiaramente dalla Figura 2.7 in cui si può notare come in tutte le consociazioni delle 3 varietà di favino con le 12 di frumento tenero, il Prothabat69 sia sempre stato il meno produttivo, Rumbo è sempre risultato superiore a Prothabat69 ed inferiore a Chiaro di Torre Lama e Chiaro di Torre Lama è sempre stato il favino più produttivo.

Complessivamente quindi i risultati relativi al favino hanno evidenziato che le 3 varietà prese in esame, pur avendo mostrato un livello produttivo simile e con risultati interessanti come colture pure, hanno mostrato una differente capacità competitiva media nella consociazione con il frumento tenero. Quindi, come già evidenziato analizzando i risultati del frumento tenero, la combinazione varietale nelle consociazioni è di fondamentale importanza in relazione alla destinazione finale della granella raccolta.

## 2.4 LAND EQUIVALENT RATIO DEL FRUMENTO

I risultati relativi al  $LER_{\text{frumento}}$  sono riassunti nelle Figure 2.8-2.10. Come eseguito per analizzare la produzione di granella, anche il  $LER_{\text{frumento}}$  è stato analizzato considerando il LER medio delle singole varietà di frumento tenero (Figura 2.8). Essendo il frumento stato inserito nelle consociazioni ad una densità del 55% della coltura pura, il valore del LER atteso è stato pari a 0,55. Come mostrato dalla Figura 2.8, solo alcune varietà (ACA320, Aquilante, Lucilla e Stendal) hanno presentato un LER medio superiore al valore atteso. Questo aspetto è di notevole interesse in quanto, come indicato dai risultati produttivi, le diverse varietà di favino hanno mostrato una diversa capacità competitiva con il frumento ed un diverso effetto sulla produzione di granella delle 12 varietà prese in esame. Quindi, l'aver ottenuto un LER medio superiore all'atteso sta ad indicare che queste varietà sono risultate le più competitive con il favino, indipendentemente dalla varietà di favino (più o meno competitiva) inserita nella consociazione.

Infatti, come mostrato in Figura 2.9, il LER medio del frumento con le 3 varietà di favino è risultato superiore all'atteso solo nelle consociazioni con Prothabat69, la varietà di favino meno competitiva. Infine, analizzando il  $LER_{\text{frumento}}$  delle 12 varietà in tutte le singole combinazioni di colture consociate (Figura 2.9) si può notare che, mentre con Prothabat69 tutte le varietà tranne Marcopolo hanno mostrato un  $LER_{\text{frumento}}$  superiore all'atteso, questo risultato è stato ottenuto solo da alcune varietà nella consociazione con Rumbo (ACA320, Aquilante, Lucilla e Stendal) mentre con il Chiaro di Torre Lama solo da Lucilla e Stendal.

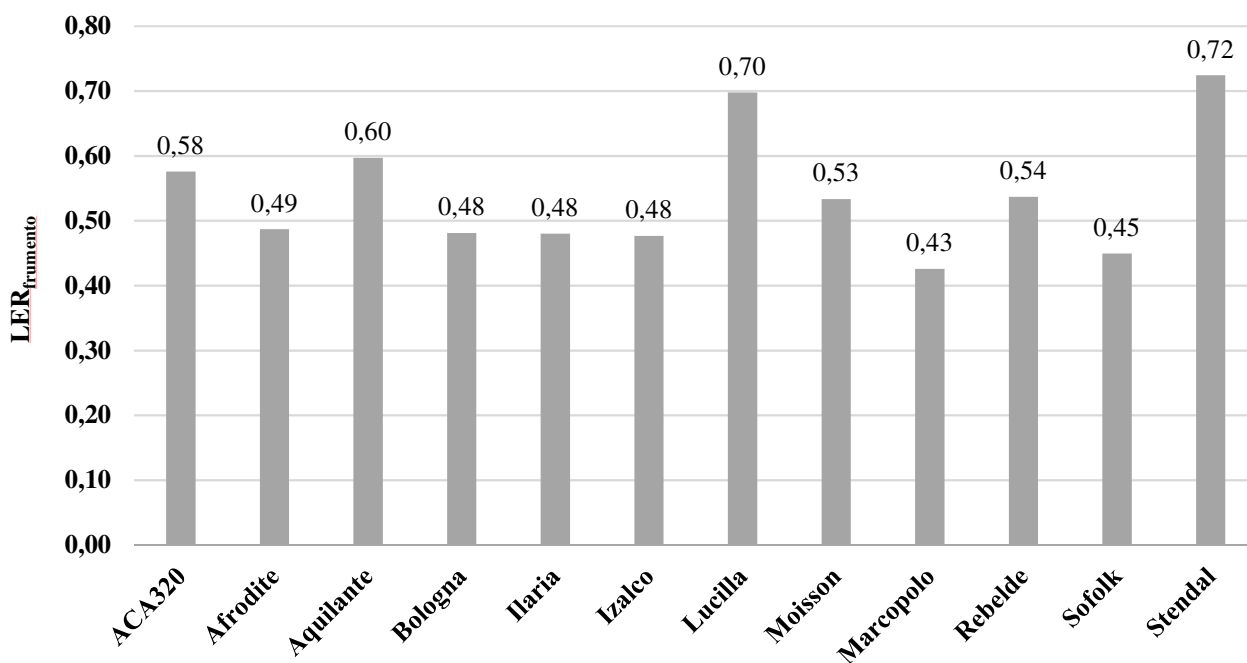


Figura 2.8 LER delle varietà di frumento



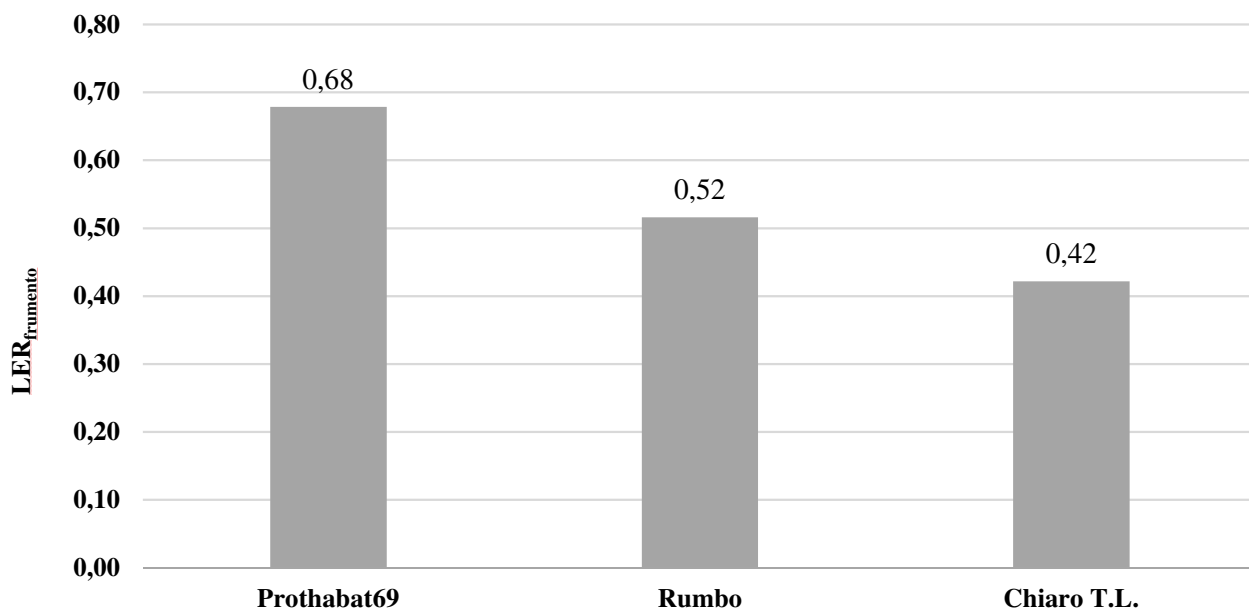


Figura 2.9 LER medio del frumento con le 3 varietà di favino

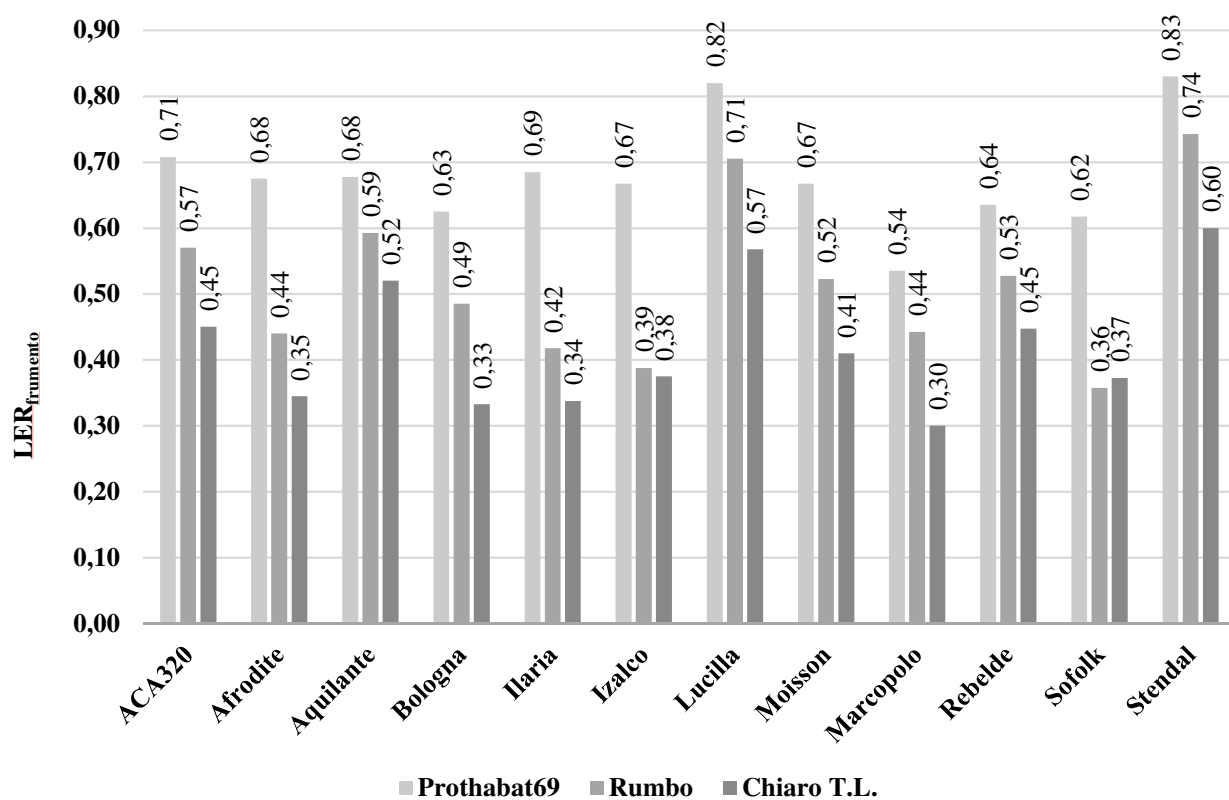


Figura 2.10 LER del frumento nelle singole consociazioni

## 2.5 LAND EQUIVALENT RATIO DEL FAVINO

I risultati relativi al  $LER_{\text{favino}}$  sono riassunti nelle Figure 2.11-2.13. Si deve notare che per il favino il valore atteso del  $LER_{\text{favino}}$  è 0,75 in quanto il favino è stato inserito nelle consociazioni ad una densità del 75% rispetto alla coltura pura. In Figura 2.11 emerge la differente capacità competitiva delle 3 varietà di favino con il frumento tenero. Infatti solo il Chiaro di Torre Lama ha mostrato un  $LER_{\text{favino}}$  medio molto simile all'atteso, mentre Rumbo ed ancor più Prothabat69 hanno presentato valori di  $LER_{\text{favino}}$  inferiori all'atteso. La bassa competitività delle varietà di favino Prothabat69 e Rumbo ha determinato che i valori medi di  $LER_{\text{favino}}$ , calcolati per ciascuna varietà di frumento, siano stati sempre inferiori all'atteso 0,75 (Figura 2.12). Si può osservare comunque come i valori più bassi siano stati ottenuti con le varietà di frumento più competitive (Aquilante, Lucilla e Stendal). Infine, come eseguito per il  $LER_{\text{frumento}}$ , i valori di  $LER_{\text{favino}}$  presentati dalle 3 varietà nelle singole combinazioni con le 12 varietà di frumento sono riportati in Figura 2.13. Questa Figura conferma come il Chiaro di Torre Lama sia stata la varietà più competitiva, avendo mostrato la frequenza più elevata di valori di  $LER_{\text{favino}}$  superiori all'atteso, seguita da Rumbo, mentre il Prothabat69 ha confermato di essere la varietà meno competitiva tra le 3 prese in esame. È interessante notare che i valori di  $LER_{\text{favino}}$  più bassi sono stati ottenuti nelle combinazioni con le varietà di frumento più competitive (Aquilante, Lucilla e Stendal).

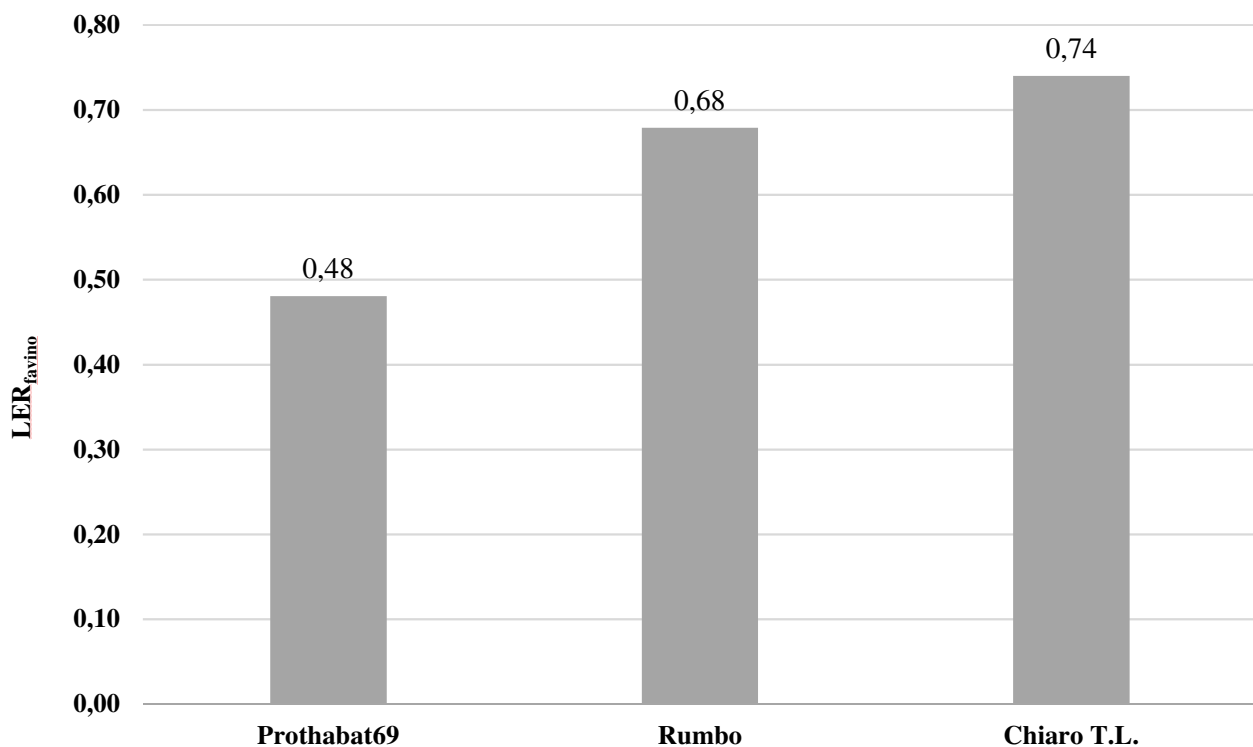


Figura 2.11 LER medio delle 3 varietà di favino

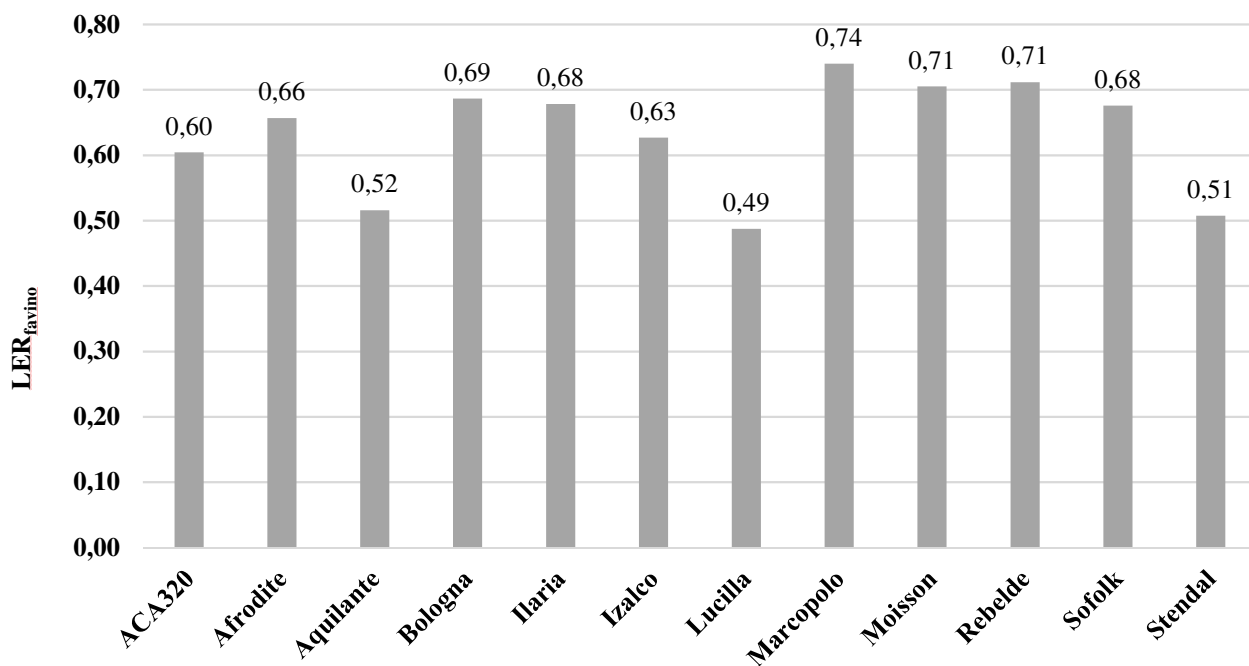


Figura 2.12 LER medio del favino con le 12 varietà di frumento

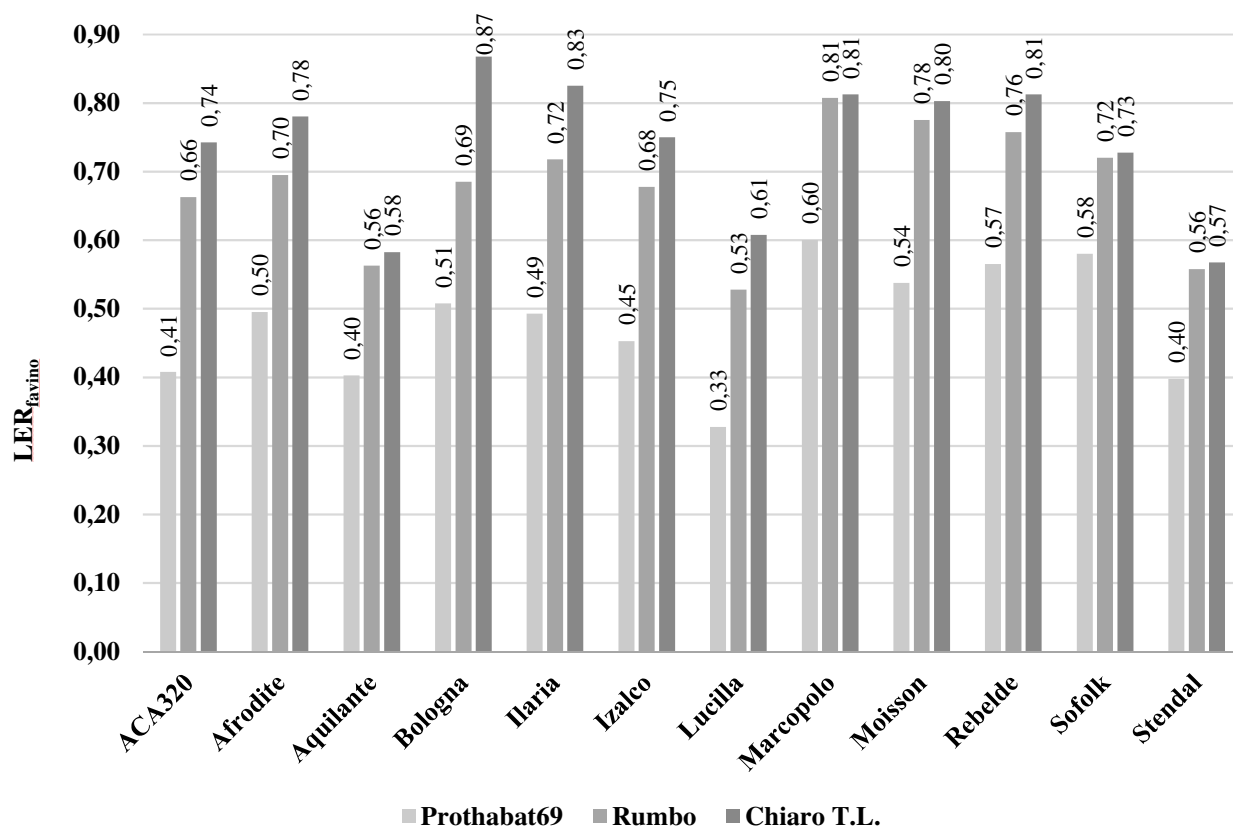


Figura 2.13 LER delle 3 varietà di favino nelle singole consociazioni con le 12 varietà di frumento

## 2.6 LAND EQUIVALENT RATIO TOTALE

Il  $LER_{totale}$  è l'indice che permette di valutare se la consociazione frumento tenero-favino è superiore alle singole colture pure nell'efficienza d'uso del suolo agrario. I risultati ottenuti (Figura 14) hanno evidenziato che tutte le combinazioni di colture consociate hanno ottenuto un  $LER_{totale} > 1$ . Quindi la consociazione eseguita combinando frumento tenero e favino alle densità del 55% e 75% delle rispettive colture pure si conferma come una scelta valida per ottenere produzioni più elevate per unità di superficie, riducendo allo stesso tempo l'impatto ambientale dell'attività agricola in quanto si riduce sia l'uso di fertilizzanti azotati (50% in meno per unità di superficie) sia l'uso di erbicidi.

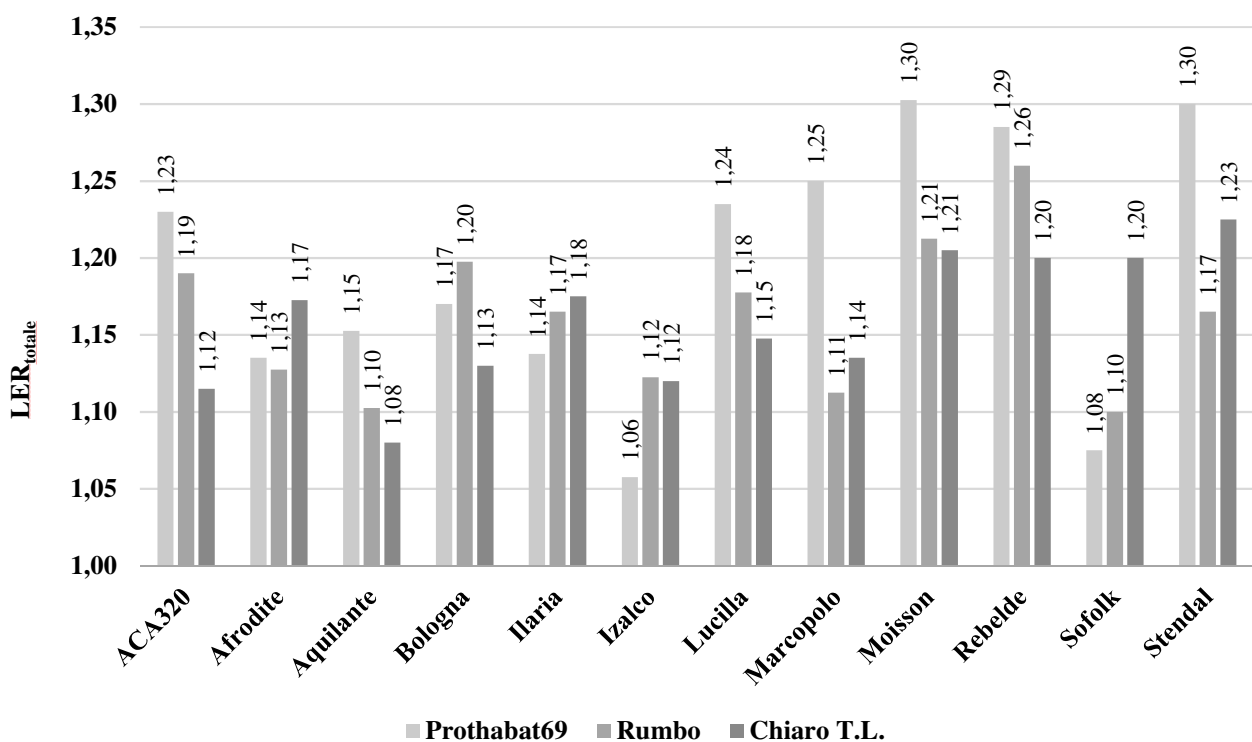


Figura 2.14 LER totale delle singole consociazioni

## 2.7 PESO ETTOLITRICO DEL FRUMENTO

L'andamento meteorico e la raccolta ritardata hanno influito negativamente sul peso ettolitrico della granella di tutte le 12 varietà di frumento tenero in prova (Figura 2.15). La concimazione azotata non ha permesso di bilanciare l'effetto negativo sul peso ettolitrico in quanto le colture pure di frumento, pur avendo ricevuto una dose doppia di fertilizzante azotato, non hanno mostrato pesi ettolitrici superiori alle colture consociate.

Il grafico in Figura 2.15 permette comunque di fare interessanti considerazioni. Innanzitutto è stata riscontrata una notevole variabilità tra le varietà in relazione al peso ettolitrico. In particolare, Afrodite e Marcopolo hanno presentato valori molto inferiori rispetto a tutte le altre varietà. Per molte varietà il peso ettolitrico della granella ottenuta dalla consociazione con le varietà di favino meno competitive (Prothabat69 e Rumbo) è risultato leggermente più elevato rispetto alla coltura pura. La consociazione con Chiaro di Torre Lama ha fornito risultati variabili in relazione alla varietà di frumento presa in considerazione. È particolarmente interessante l'effetto positivo della consociazione con il favino sul peso ettolitrico della granella della varietà di frumento Moisson.

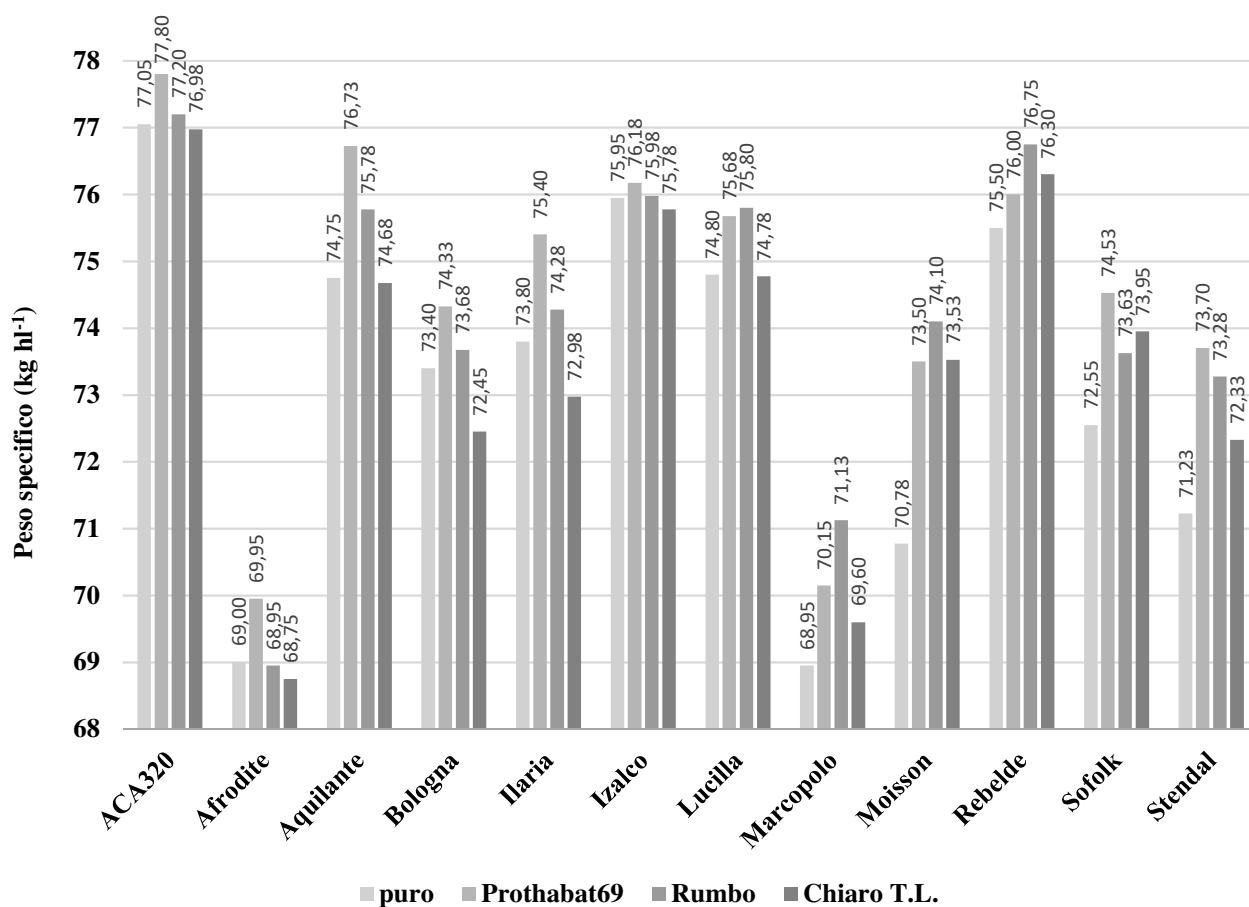


Figura 2.15 Peso ettolitrico del frumento

## 2.8 CONTENUTO PROTEICO DELLA GRANELLA DEL FRUMENTO

I risultati relativi alla valutazione del contenuto proteico della granella delle 12 varietà di frumento tenero sono riportati in Figura 2.16. Tutte le varietà, sia in coltura pura che consociata, hanno presentato un contenuto proteico elevato in quanto superiore al 13%. Questo risultato, pur essendo in parte legato ai bassi valori di peso ettolitrico mediamente osservati, conferma l'ottima performance di tutte le varietà per questo importante carattere qualitativo. Di notevole interesse è stato osservare che il contenuto proteico della granella è risultato più elevato nelle colture consociate rispetto alle colture pure. Inoltre, all'aumentare della competitività del favino è stato riscontrato un aumento del contenuto proteico della granella di frumento per tutte le varietà. Infatti le consociazioni con il Chiaro di Torre Lama hanno presentato sempre valori più elevati di quelli ottenuti dalle consociazioni con Prothabat69. Inoltre, le varietà ACA320, Afrodite, Bologna, ed Ilaria hanno presentato le differenze più marcate tra coltura consociata con Chiaro di Torre Lama e coltura pura (Figura 2.16). Complessivamente quindi anche la valutazione del contenuto proteico ha confermato la validità della consociazione frumento tenero-favino per migliorare anche le caratteristiche qualitative del raccolto.

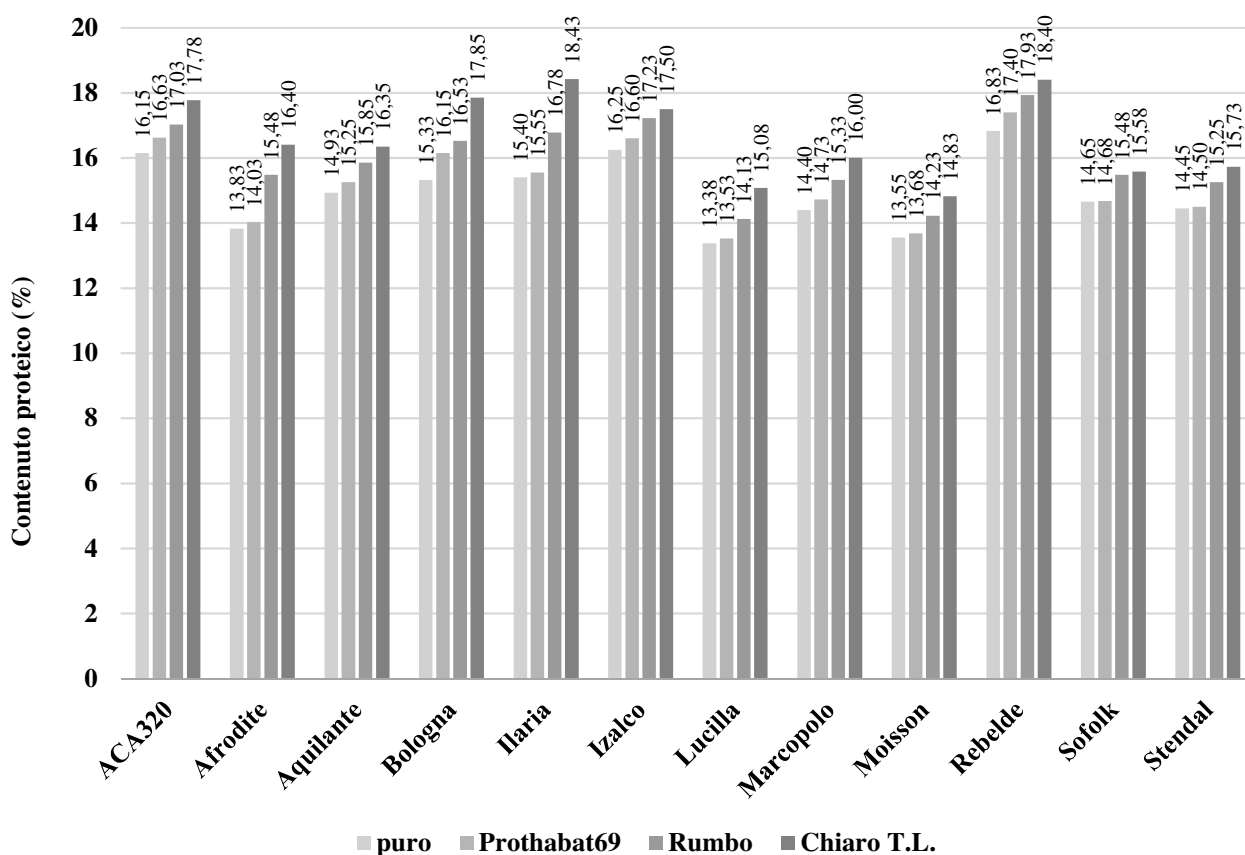


Figura 2.16 Contenuto proteico del frumento

## CONCLUSIONI

I risultati della presente tesi confermano che la consociazione del frumento tenero con il favino può essere considerata una valida alternativa alle colture pure.

Questa conclusione è supportata dall'aver preso in considerazione un'ampia gamma di varietà di frumento tenero, includendo varietà con caratteristiche merceologiche estremamente differenziate in quanto sono state inserite varietà panificabili, panificabili superiori e di forza.

Di particolare interesse è stato l'aver riscontrato differenze tra il comportamento di queste varietà in coltura pura rispetto alla coltura consociata. Stesso andamento è stato osservato per le 3 varietà di favino che hanno presentato notevole uniformità in coltura pura, ma chiare differenze nella risposta alla consociazione con il frumento tenero. Risulta pertanto essenziale testare sperimentalmente le possibili combinazioni tra le diverse cultivar del cereale e della leguminosa.

Nel complesso, quindi, la scelta varietale rappresenta un aspetto di estrema importanza nella scelta della combinazione migliore in base alla destinazione finale del prodotto. In particolare, se la destinazione finale è l'alimentazione zootecnica si sceglierà la combinazione varietale che massimizza sia la produzione totale di granella che il  $LER_{totale}$ , con un rapporto ottimale tra granella del cereale e della leguminosa nel raccolto della coltura consociata. Se la destinazione è l'alimentazione umana la scelta diviene più articolata poiché è necessario includere nella valutazione anche i parametri qualitativi richiesti dall'industria molitoria e di trasformazione.

Inoltre, la consociazione frumento tenero-favino rappresenta una valida opportunità per lo sviluppo di sistemi colturali sostenibili in cui si riduce drasticamente l'impiego di fertilizzanti e agrofarmaci. Occorre sottolineare quanto segue: la consociazione del favino con il frumento riduce la presenza di infestanti rispetto alla coltura pura della leguminosa; il titolo proteico della granella di frumento proveniente dalle colture consociate è stato sempre più alto di quello della granella da colture pure, nonostante queste ultime abbiano ricevuto una dose doppia di concimazione azotata rispetto alle colture consociate.

La consociazione frumento tenero-favino può rappresentare perciò una valida opzione per reintrodurre le leguminose da granella nelle rotazioni colturali dell'Italia centrale.

## RINGRAZIAMENTI

Innanzitutto devo ringraziare mia madre Letizia. Sarebbe stato molto più difficile, se non impossibile, completare questo percorso senza il Suo Amore ed il Suo enorme supporto materiale e morale.

Ringrazio mio padre Gerardo e mio fratello Paolo che non mi hanno fatto mancare i loro.

Nonna Cucci e Nonno Lorenzo, Nonna Peppa e Nonno Armando, Peppa e Nadia, Paolo e Daniela, Pia e Gigio, Fidalma, Lino e Franca, Anna, Fabio, Mauro, Paolo e Monica: gli ultras più sfegatati tifano meno di loro. Cammini e sai che chi ti sta intorno, o ti guarda dall'alto, ti vuole bene.

Sì, qualcuno guarda dall'alto, e tra loro sento particolarmente vicino mio nonno Lorenzo.

Laura, amore puro, per la fortuna di averla accanto.

Un ringraziamento particolare va al Professor Stefano Tavoletti, che con la Sua passione e disponibilità è andato molto oltre l'essere un bravissimo relatore di tesi.

Grazie ad Ariele, Francesca, Nicola e Alissar per aver collaborato con me.

E a Tosto, il mio cane veterano, che pur di rivedermi studiare in sua compagnia, a 17 anni è ancora arzillo.



**GRAZIE PROF, CE L'ABBIAMO FATTA!**



## BIBLIOGRAFIA

### SCHEDE VARIETALI DEL FRUMENTO

- I. *Frumento tenero cv ACA320 - scheda varietale.* [Online]  
Available at: <https://www.istasementi.it/Apps/WebObjects/IstaSementi.woa/wa/viewFrumentoTenero?id=1399&lang=ita>  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- II. *Frumento tenero cv Afrodite - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/7/Afrodite-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/7/Afrodite-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- III. *Frumento tenero cv Aquilante - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.conase.it/print.html? f=https://www.conase.it/common/media/catalogo\\_conase/images/CatalogoConase2019-page-022.jpg](https://www.conase.it/print.html? f=https://www.conase.it/common/media/catalogo_conase/images/CatalogoConase2019-page-022.jpg)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- IV. *Frumento tenero cv Bologna - scheda varietale.* [Online]  
Available at: <http://www.sisonweb.com/images/allProdotti/Bologna%202015.pdf>  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- V. *Frumento tenero cv Ilaria - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/29/Ilaria-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/29/Ilaria-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- VI. *Frumenti teneri cv Izalco e cv Suffolk - schede varietali (layout 2 di 2).* [Online]  
Available at: <https://docplayer.it/155818715-Cereali-a-paglia-e-colza.html>  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- VII. *Frumento tenero cv Lucilla - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/30/Lucilla-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/30/Lucilla-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].

- VIII. *Fumento tenero cv Marcopolo - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://ragt-sementi.it/sites/default/files/public/medias/variety/pdfs/MARCOPOLO\\_IT.pdf](https://ragt-sementi.it/sites/default/files/public/medias/variety/pdfs/MARCOPOLO_IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- IX. *Fumento tenero cv Moisson - scheda varietale.* [Online]  
Available at: <https://www.tecnoseed.it/sy-moisson>  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- X. *Fumento tenero cv Rebelde - scheda varietale.* [Online]  
Available at:  
[https://www.conase.it/print.html? f=https://www.conase.it/common/media/catalogo\\_conase/imagenes/CatalogoConase2019-page-018.jpg](https://www.conase.it/print.html?f=https://www.conase.it/common/media/catalogo_conase/imagenes/CatalogoConase2019-page-018.jpg)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- XI. *Fumento tenero cv Stendal - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/32/Stendal-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/32/Stendal-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].

## SCHEDE VARIETALI DEL FAVINO

- A. *Favino cv Chiaro di Torre Lama - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/12/Chiaro-torrelama-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/12/Chiaro-torrelama-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- B. *Favino cv Prothabat69 - scheda varietale.* [Online]  
Available at:  
[http://www.semiasrl.it/attachments/article/31/Favino%20Bianco\\_%20prothabat69.pdf](http://www.semiasrl.it/attachments/article/31/Favino%20Bianco_%20prothabat69.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].
- C. *Favino cv Rumbo - scheda varietale.* [Online]  
Available at: [https://www.agroservicespa.it/media/prodotti\\_multimedia/49/Rumbo-IT.pdf](https://www.agroservicespa.it/media/prodotti_multimedia/49/Rumbo-IT.pdf)  
[Consultato il giorno 30 Maggio 2020].

## ARTICOLI SCIENTIFICI E LIBRI

Altieri, M. A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Issue 74, pp. 19-31.

Altieri, M. A., 2000. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. *Agroecol. Innov.*, pp. 40-46.

Amossè, C., Jeuffroy, M. H., Celette, F. & David, C., 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy*, Issue 49, pp. 158-167.

Amossè, C., Jeuffroy, M. H. & David, C., 2013. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: effects on performance and resource availability. *Field Crops Research*, Issue 145, pp. 78-87.

Amossè, C., Jeuffroy, M. H., Mary, B. & David, C., 2014. Contribution of relay intercropping with legume cover crops on nitrogen dynamics in organic grain systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, Issue 98, pp. 1-14.

Bargaz, A., Isaac, M. E., Jensen, E. S. & Georg, C., 2015. Intercropping of faba bean with wheat under low water availability promotes faba bean nodulation and root growth in deeper soil layers. *Procedia Environmental Science*, Issue 29, pp. 111-112.

Bedoussac, L. & Justes, E., 2010. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil*, Issue 330, pp. 37-54.

Bedoussac, L. & Justes, E., 2010. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*, Issue 330, pp. 19-35.

Boudreau, M. A., 2013. Diseases in Intercropping Systems. *Annual Review of Phytopathology*, Issue 51, pp. 499-519.

Cai, T. et al., 2019. Can intercropping or mixed cropping of two genotypes enhance wheat lodging resistance?. *Field Crops Research*, Issue 239, pp. 10-18.

Callaway, R. M., 1995. Positive interactions among plants. *Botanical Review*, Issue 61, pp. 306-348.

Callaway, R. M. et al., 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature*, Issue 417, pp. 844-848.

Cardinale, B. J. et al., 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *PNAS - Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(46), pp. 18123-18128.

Carof, M., 2006. *Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (Triticum aestivum L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré*, Paris: INAPG (AgroParisTech).

Chalk, P. M., 1998. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, Issue 49, pp. 303-316.

Dakora, F. D. & Phillips, D. A., 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil*, Issue 245, pp. 35-47.

Degens, B. P., Schipper, L. A., Sparling, G. P. & Vojvodic-Vukovic, M., 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, Issue 32, pp. 189-196.

Duchene, O., Vian, J.-F. & Celette, F., 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Issue 240, pp. 148-161.

Exner, D. N., Davidson, D. G., Ghaffarzadeh, M. & Cruse, R. M., 1999. Yields and returns from strip intercropping on six Iowa farms. *American Journal of Alternative Agriculture*, Issue 14, pp. 69-77.

Fitzpatrick, I., Young, R., Perry, M. & Rose, E., 2017. *The Hidden Cost of UK Food*, Bristol, UK: Taylor Brothers.

Francis, C. A., 1986. *Multiple Cropping Systems*. New York: Macmillan.

Fridley, J. D., 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where and why?. *Oikos*, Issue 93, pp. 514-526.

Fridley, J. D., 2002. Resource availability dominates and alters the relationship between species diversity and ecosystem productivity in experimental plant communities. *Oecologia*, Issue 132, pp. 271-277.

Hauggaard-Nielsen, H. & Jensen, E. S., 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant and Soil*, Issue 274, pp. 237-250.

Hauggaard-Nielsen, H., Jornsgaard, B. & Jensen, E. S., 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant and Soil*, Issue 274, pp. 237-250.

Hauggaard-Nielsen, H., Lornsgaard, B., Kinane, J. & Jensen, E. S., 2008. Grain legume-cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food System*, Issue 23, pp. 3-12.

Haymes, R. & Lee, H. C., 1999. Competition between autumn and spring planted grain intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L) and field bean (*Vicia faba* L). *Field Crops Research*, Issue 62, pp. 167-176.

Hector, A. et al., 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*, Issue 286, pp. 1123-1127.

Hinsinger, P. et al., 2011. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiology*, Issue 156, pp. 1078-1086.

Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C. & Jaillard, B., 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and Soil*, Issue 248, pp. 43-59.

Hooper, D. U. & Vitousek, P. M., 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological Monographs*, Issue 68, pp. 121-149.

Horst, W. J. & Waschki, C., 1987. Phosphorus-nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L) in mixed culture with white lupin (*Lupinus albus* L). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Issue 150, pp. 1-8.

Jensen, E. S., 1986. Intercropping field beans with spring wheat. *Votr. Pflanzzuchtg.*, Issue 11, pp. 65-75.

Jensen, E. S., 1996. Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, Issue 182, pp. 25-38.

Jensen, E. S. et al., 2007. *Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems*. Tjele, DARCOF-Danish Research Centre for Organic Food and Farming.

Jensen, E. S., Peoples, M. & Hauggaard-Nielsen, H., 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crop Research*, Issue 115, pp. 203-216.

Justes, E. et al., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innov. Agron.*, pp. 1-24.

Latati, M. et al., 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*, Issue 72, pp. 80-90.

Latati, M. et al., 2014. The intercropping cowpea-maize improves soil phosphorus availability and maize yields in an alkaline soil. *Plant and Soil*, Issue 385, pp. 181-191.

Li, L., Tilman, D., Lambers, H. & Zhang, F., 2014. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*.

Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A. & Vlachostergios, D. N., 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, Issue 5, pp. 396-410.

- Li, W. et al., 2003. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers and Intercropping on Uptake of Nitrogen and Phosphorus by Wheat, Maize, and Faba Bean. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), pp. 629-642.
- Lovelock, C. E. & Ewel, J. J., 2005. Links between tree species, symbiotic fungal diversity and ecosystem functioning in simplified tropical ecosystems. *New Phytologist*, Issue 167, pp. 219-228.
- Maestre, F. T., Callaway, R. M., Valladares, F. & Lortie, C. J., 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of Ecology*, Issue 97, pp. 199-205.
- Marschner, P., Yang, C. H., Lieberei, R. & Crowley, D. E., 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, Issue 33, pp. 1437-1445.
- Mayer, J. et al., 2003. Estimating N rhizodeposition of grain legumes using a <sup>15</sup>N in situ stem labelling method. *Soil Biology and Biochemistry*, Issue 35, pp. 21-28.
- Mousavi, S. R. & Eskandari, H., 2011. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1(11), pp. 482-486.
- Neri, D., 2013. Organic soil management to prevent soil sickness during integrated fruit production. *Integrated protection of fruit crops*, Volume 91, pp. 87-99.
- Ofori, F., Pate, J. S. & Stern, W. R., 1987. Evaluation of N<sub>2</sub>-fixation and N economy of a maize/cowpea intercropping system using <sup>15</sup>N dilution methods. *Plant and Soil*, Issue 102, pp. 149-160.
- Ofori, F. & Stern, W. R., 1987. Cereal-legume intercropping systems. *Advances in Agronomy*, Issue 41, pp. 41-90.
- Pappa, V. A. et al., 2011. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Issue 141, pp. 153-161.
- Peoples, M. B., Herridge, G. F. & Ladha, J. K., 1995. Biological N fixation: an efficient source of N for sustainable agricultural production?. *Plant and Soil*, Issue 174, pp. 3-28.
- Prins, U. & de Wit, J., 2006. Intercropping cereals and grain legumes: a farmers perspective. *ResearchGate*.
- Schachtman, D. P., Reid, R. J. & Ayling, S. M., 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, Issue 116, pp. 447-453.
- Schlapfer, F. & Schmid, B., 1999. Ecosystem effects of biodiversity: a classification of hypotheses and exploration of empirical results. *Ecological Application*, Issue 9, pp. 893-912.
- Semere, T. & Froud-Williams, R. J., 2001. The effect of pea cultivar and water stress on root and shoot competition between vegetative plants of maize and pea. *Journal of Applied Ecology*, Issue 38, pp. 137-145.

Streit, J., Meinen, C. & Rauber, R., 2019. Intercropping effects on root distribution of eight novel winter faba bean genotypes mixed with winter wheat. *Field Crop Research*, Issue 235, pp. 1-10.

Tilman, D. et al., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, Issue 418, pp. 671-677.

Tilman, D. et al., 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, Issue 294, pp. 843-845.

Tilman, D., Wedin, D. & Knops, J., 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, Issue 379, pp. 718-720.

Tosti, G. & Guiducci, M., 2010. Durum wheat-faba bean temporary intercropping: effects on nitrogen supply and wheat quality. *European Journal of Agronomy*, Issue 33, pp. 157-165.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). Probabilistic Population Projections Rev. 1 based on the World Population Prospects 2019 Rev. 1: <http://population.un.org/wpp/>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019, Online Edition. Rev. 1: <http://population.un.org/wpp/>

Vance, C. P., Graham, P. H. & Allan, D. L., 2000. Biological Nitrogen Fixation: Phosphorus - A critical future need?. *Springer Netherlands*, pp. 509-514.

Vandermeer, J., 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge, UK: Cambridge University press.

Vandermeer, J., 2011. *The Ecology of Agroecosystems*. Sudbury, MA: Jones & Bartlett.

Xiao, Y., Li, L. & Zhang, F., 2004. Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and fababean using direct and indirect <sup>15</sup>N techniques. *Plant and Soil*, Issue 262, pp. 45-54.

Zegada-Lizarazu, W., Izumi, Y. & Iijima, M., 2006. Water competition of intercropped pearl millet with cowpea under drought and soil compaction stresses. *Plant Production Science*, Issue 9, pp. 123-132.