



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

CONSOCIAZIONE CEREALI-LEGUMI: GRANO DURO-FAVINO E AVENA-VECCIA

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
FRANCESCO PIERI

Relatore:
PROF. STEFANO TAVOLETTI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Alla mia famiglia,
ai miei amici,
ai miei colleghi, professori e al mio relatore.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	7
MATERIALI E METODI	26
1. Materiali vegetali	26
2. Disegno sperimentale.....	27
3. Analisi dei dati	28
RISULTATI.....	30
1. Consociazione frumento duro-favino.....	30
2. Consociazione avena nuda-veccia	37
DISCUSSIONE.....	41
CONCLUSIONI	44
BIBLIOGRAFIA	45

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1 Dati derivanti da vari elaborati su N fissazione e percentuale di N derivante dall'atmosfera (Ndfa) relativi a differenti specie, cultivar e paesi europei	16
Tabella 2. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di granella delle due varietà di frumento duro in coltura pura e in consociazione con le due varietà di favino.....	29
Tabella 3. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella del frumento duro	30
Tabella 4. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme delle due varietà di favino in coltura pura e in consociazione con le due varietà di frumento duro	32
Tabella 5. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di seme del favino	32
Tabella 6. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme della varietà Irina di avena nuda in coltura pura e in consociazione con veccia comune	36
Tabella 7. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella dell'avena nuda varietà Irina	37
Tabella 8. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme della varietà Idice di veccia comune in coltura pura e in consociazione con avena nuda	37
Tabella 9. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella della varietà Idice di veccia	38
Tabella 10. Risultati relativi all'indice LER calcolato per ciascuna combinazione di specie (cereale-leguminosa) prese in esame	38

ELENCO DELLE FIGURE

Fig. 1 Cambiamenti nella produzione di carne e legumi, confrontati con l'import della soia, nell'EU-27 stati dal 1961 al 2013(FAOstat 2016)	8
Fig.2 Facilitazione, condivisione delle risorse e complementarietà di nicchia permettono ai sistemi consociativi di produrre più dei loro corrispettivi in monocoltura (Brooker et al., 2014)	20
Fig.3 Esempio di copertura del terreno nella consociazione grano duro-pisello, il medesimo campione è stato fotografato in varie fasi fenologiche (Bedoussac et al., 2015)	23
Fig.4 Panoramica del campo sperimentale presso l'azienda didattico-sperimentale dell'UNIVPM in data 23/04/22.....	25
Fig.5 Panoramica del campo sperimentale dell'azienda didattico-sperimentale dell'UNIVPM in data 11/05/22.....	26
Fig.6 Interazione F x SC. Andamento della produzione di granella delle due varietà di frumento duro in coltura pura ed in consociazione con le 2 varietà di favino	31
Fig. 7 Consociazione del favino cv Prothabat69 con grano duro Achille	34
Fig.8 Consociazione del favino cv Prothabat69 con grano duro Maciste.....	35
Fig. 9 Interazione F x SC. Andamento della produzione di seme delle due varietà di favino in coltura pura ed in consociazione con le 2 varietà di frumento duro	36

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

LER	Land equivalent ratio
LCA	Life cycle assessment
CP	Coltura pura
SC	Sistema colturale

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La continua crescita demografica porterà la popolazione mondiale oltre i nove miliardi di persone entro il 2050, questa stima rappresenta una sfida per l'agricoltura mondiale, in quanto, oltre a provvedere alla sicurezza alimentare, questa deve, al contempo, tenere presente le problematiche riguardanti la sostenibilità al fine di mantenere fruibili le risorse naturali per le generazioni a venire (FAO 2010).

È importante a tal proposito, che i sistemi agricoli adoperati per alimentare la popolazione, sia umana che animale, raggiungano un livello di biodiversità maggiore, con rotazioni più ampie e variegate, che permettano la naturale riduzione dell'impiego di agrofarmaci e concimi di sintesi. Non è, infatti, la quantità di cibo raccolta (output del sistema) la problematica al giorno d'oggi, bensì la quantità di risorse da impiegare come input e i loro costi, sia in termini economici, che in termini energetici e di logorio degli ecosistemi. La riduzione degli input, in un sistema, come quello agrario, che per definizione è complesso, non è di facile realizzazione, e richiede una profonda conoscenza dei meccanismi genetici che entrano in gioco e della pressione ambientale in termini di competizione intra- ed inter-specifica. Nonostante questa evidenza lo sviluppo di biodiversità agraria di tipo specifico e genetico è difficile da attuare in tempi brevi, poiché le colture e le varietà di tipo tradizionale sono fortemente penalizzate rispetto a quelle moderne, le quali sono caratterizzate da una valutazione maggiore per quanto riguarda il mercato, e da produzioni più consistenti e stabili per quanto riguarda la tecnica agronomica (Bedoussac et al. 2015).

IL RUOLO DEI LEGUMI NEI SISTEMI AGRICOLI EUROPEI

L'Europa, così come l'Italia, ha un sistema agricolo basato principalmente sulla produzione di cereali e colture oleaginose, lasciando indietro la produzione di leguminose. L'Europa destina alla cerealicoltura (escluso il riso) 55 milioni di ha, di cui 2,8 milioni in Italia, con una produzione rispettivamente di 292 milioni di ton e 15 milioni di ton. Per quanto riguarda le colture incluse nella sperimentazione condotta con la presente tesi abbiamo per il grano duro 2,5 milioni di ha e 9 milioni di ton prodotte in Europa, mentre risultano 1,3 milioni di ha e 4,3 milioni di ton in Italia; l'avena, invece, ha una SAU di 2,7 milioni di ha con 7,8 milioni di ton

prodotte in Europa e superfici/produzioni trascurabili in Italia. L'insieme di fava, favino e altre leguminose (a loro volta con aggiunta degli erbai misti cereali-legumi) raggiunge appena la SAU di 160 mila ha in Italia e 3 milioni di ha in Europa (Eurostat, 2018).

L'uso delle leguminose nelle rotazioni provoca un serie di effetti dal singolo appezzamento fino a scala globale, in particolare l'Europa tiene conto dell'impatto ambientale come principale motore per concentrarsi sul ristoro della produzione di legumi, sacrificata nell'ultimo mezzo secolo in nome della coltivazione di cereali.

La domanda di prodotti vegetali ad alto tenore proteico per l'alimentazione animale risulta perciò molto pronunciata: a fronte di un deficit per circa il 70% del fabbisogno totale di colture proteiche, l'Europa risponde principalmente importando soia e mangimi a base di soia per l'87% del deficit. Questa lacuna potrebbe in parte essere ridimensionata se si coltivassero maggiormente leguminose a livello europeo, queste infatti occupano solamente l'1,5% della SAU totale (fortemente in calo negli ultimi 50 anni a causa delle politiche agrarie e del mercato, negli anni '70 la SAU a leguminose pari al 4,8-5%) a fronte del 14,5% del resto del mondo (Watson et al. 2017) e sarebbe un'occasione per incrementare la biodiversità degli agro-ecosistemi consumando anche meno azoto di derivazione industriale.

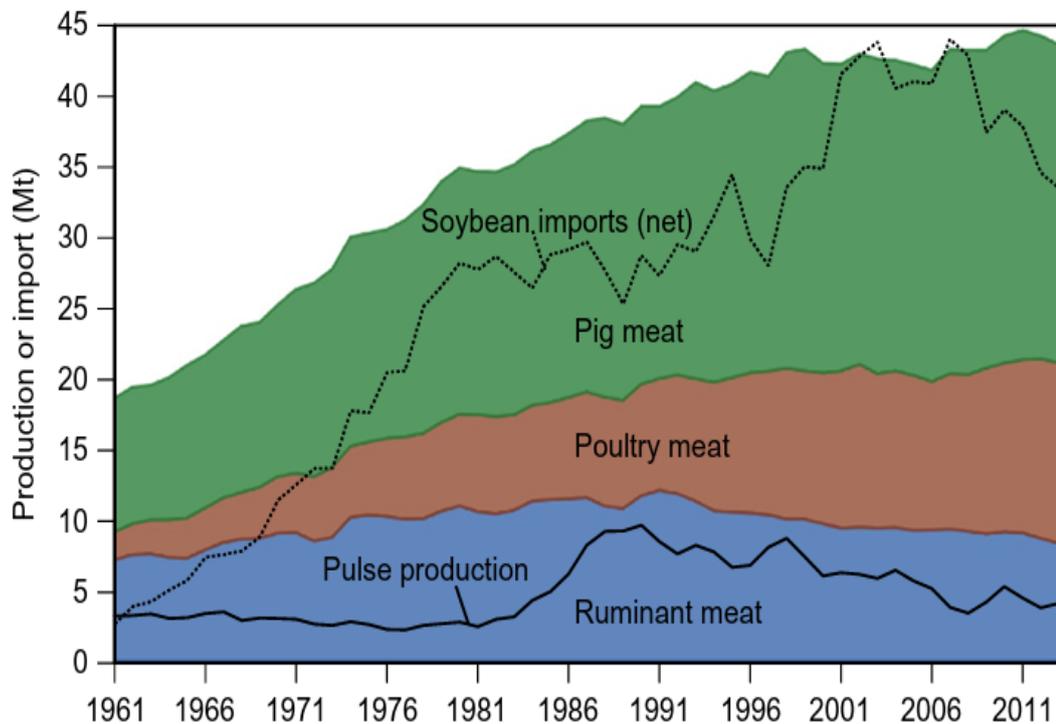


Fig. 1 Cambiamenti nella produzione di carne e legumi, confrontati con l'import della soia, nell'EU-27 stati dal 1961 al 2013. I ruminanti sono composti all'87-90% da bovini a seconda delle annate, il pollame nei primi 5 anni è composto all'89-91% da polli in continuo calo fino all'80-82% negli ultimi 5 anni. La soia è calcolata convertendo i mangimi a base

di soia in fagiolo-equivalente considerando il contenuto netto dei mangimi al 79,2% come indicato dall' US Soybean Export Council (2016) e sottraendo il valore dell'export. Tutti i dati sono reperibili dal FAOstat 2016.

SERVIZI DI APPROVVIGIONAMENTO

I legumi sono considerati, a livello di servizi ecosistemici, principalmente come fonte di approvvigionamento per l'uomo, sia come cibo che come mangimi per l'allevamento di bestiame.

1. ALIMENTAZIONE UMANA

I legumi contengono proteine, fibre solubili ed insolubili, amidi a lento rilascio e micronutrienti come vitamine o sostanze attive di derivazione vegetale come flavonoidi ed altri antiossidanti. La composizione amminoacidica delle proteine dei legumi è complementare a quella dei cereali, questi assieme risultano il punto di forza della dieta mediterranea, capace di offrire tutti gli amminoacidi necessari senza il bisogno di ricorrere a proteine animali con impatti ambientali maggiori. I legumi hanno un tenore proteico dal 20 al 45%, nettamente maggiore rispetto a quello dei cereali (dal 7 al 17%). La maggior parte dei legumi, come, ad esempio, il fagiolo (*Phaseolus vulgaris*), la lenticchia (*Lens culinaris*) ed il pisello (*Pisum sativum*), riporta un range di proteine dal 20 al 25%, mentre la soia (*Glycine max*) e il lupino giallo (*Lupin luteus*) possono superare il 40% del peso secco. È stato dimostrato che prodotti derivati dalla soia e dal lupino possono ridurre i problemi cardiovascolari abbassando il colesterolo e controllando l'ipertensione; inoltre, i carboidrati a basso indice glicemico contenuti nei legumi sono ideali per soggetti affetti da iperglicemia. Alcune delle molecole bioattive presenti però, come ad esempio tannini e fitati, ne riducono l'appetibilità, la digeribilità e la biodisponibilità dei nutrienti. La maggior parte di questi, come gli inibitori della tripsina contenuti in molte delle specie, sono denaturati parzialmente o totalmente con la cottura; altri, come i fitati o gli oligosaccaridi derivati dal raffinoso, vengono degradati da enzimi interni durante la germinazione oppure da enzimi di produzione industriale durante la lavorazione; infine, altri hanno bisogno di soluzioni a livello di breeding. La fonte principale di proteine sono le globuline, nella fattispecie arachina e conarachina, che costituiscono il 95% delle proteine dei legumi, queste risultano facilmente estraibili grazie alla loro solubilità in soluzione, permettendo la produzione di integratori o di prodotti simili alla carne attraverso lavorazioni industriali ad alto costo energetico, ne è un esempio il latte di soia, il quale potrebbe, senza complicazione alcuna, essere prodotto anche con estratti di lupino o fava. Davis et al. (2010), applicando l'analisi LCA sul ciclo produttivo degli alimenti, hanno

constatato che, riscaldamento globale, eutrofizzazione, acidificazione e uso della terra, risulterebbero ottimali con una maggior percentuale d'uso di legumi nell'alimentazione umana, ma non attraverso la completa sostituzione della carne con derivati della soia, per via dei processi molto costosi a livello energetico che impiega (Watson et al 2017).

2. ALIMENTAZIONE DI ANIMALI POLIGASTRICI (BOVINI ED OVINI)

Le leguminose sono facilmente impiegabili nelle diete delle specie ruminanti, sia sotto forma di mangimi concentrati, sia come foraggio fresco. Le specie poligastriche infatti, al contrario di quelle monogastriche, non sono suscettibili alla maggior parte dei fattori antinutrizionali contenuti nei legumi, grazie alla fermentazione microbica nei pre-stomaci. Attraverso l'analisi LCA (life-cycle assessment), la sostituzione della soia importata con legumi di origine europea, risulta ridurre le emissioni di gas serra del 15% per quanto riguarda l'allevamento bovino e la produzione di latte, con il rischio però di un aumento dell'eutrofizzazione delle acque se non si provvede all'impianto di cover crops post raccolta (Sasu-Boakye et al., 2014; Baumgartner et al. 2008). L'adattabilità d'uso dei legumi per l'alimentazione dei ruminanti è dovuta alla loro composizione, che risulta complementare a quella dei cereali comunemente adoperati per il foraggio, e al rateo di degradazione dei nutrienti presenti all'interno del rumine, che raggiunge spesso una percentuale intorno all'80%, molto simile a quella dei cereali. Per quanto riguarda gli amidi, le leguminose, ad eccezione del lupino, risultano meno efficienti dei cereali a livello di rendimento energetico all'interno del rumine; a livello di proteine del latte, invece, una maggior concentrazione di legumi nella razione riscontra un incremento del contenuto proteico nel latte. A livello di confronto tra soia e altri legumi come pisello, fava e lupino non vi sono variazioni in quantità e qualità del latte prodotto (Watson et al., 2017).

3. ALIMENTAZIONE DEI MONOGASTRICI (SUINI E POLLAME)

I mangimi a base di soia, nel mondo, risultano pari all'84% dei semi oleosi ad alto tenore proteico adoperati nelle razioni animali (FAOstat, 2016). Van Gelder et al. (2008) hanno pubblicato un'analisi sull'uso della soia negli allevamenti in Olanda, dove ha fornito dati indicativi sul consumo di questa in rapporto ad alcuni prodotti derivati dagli allevamenti. I dati sono i seguenti per quanto riguarda le specie monogastriche: 648g/kg per la carne di maiale, 967g/kg di carne di pollo e 32g/uovo (50g circa). Ne risulta che in Olanda l'80% circa della soia viene adoperata per l'alimentazione di suini e pollame. Considerando che l'uso di mangimi a base di soia è minore nel resto d'Europa (Westhoek et al. 2011), resta comunque

chiaro che l'alimentazione ai fini della massimizzazione produttiva dei monogastrici è una delle cause primarie dell'aumento d'importazione della soia.

La soia e i suoi derivati sono considerati il miglior integratore proteico per l'alimentazione dei suini a causa del loro elevato contenuto in proteine grezze, che si aggira attorno al 44%, e del loro ottimale profilo amminoacidico, migliore di quello di molte altre specie leguminose, che risultano carenti in amminoacidi essenziali come metionina, cisteina e triptofano (Gatel, 1994). L'uso di altre specie di legumi nell'alimentazione di suini e pollame è ostacolato da numerosi fattori anti-nutrizionali quali polisaccaridi non amilacei, tannini, fitati, saponine ed inibitori della tripsina che risultano dannosi per la digeribilità e l'assimilazione dei nutrienti. Questo può portare a ridotta appetibilità dell'alimento (con conseguente riduzione della razione ingerita), ridotta assimilazione e possibilità di intossicazione del bestiame. In passato problematiche come la scarsa crescita dei maiali o l'odore di ferro della carne erano indicatori di diete con elevate razioni di pisello e fava. Ad oggi, anche grazie al lavoro di White et al. (2015), è stato dimostrato che piselli e fagioli possono essere adoperati, sempre in diete bilanciate, per l'alimentazione suina, senza alcun effetto negativo sulla produzione rispetto ai mangimi a base di soia. Altre ricerche hanno dimostrato che alcuni processi, come ad esempio la decorticazione della fava (Nalle et al., 2010), aumentano la digeribilità degli amidi, riducendo al contempo il contenuto in tannini e fibre; altri trattamenti di tipo termico, come ad esempio l'estrusione o la tostatura (Woyengo et al., 2014), sono in grado di denaturare alcuni fattori anti-nutrizionali termolabili, ridurre le dimensioni delle componenti aumentandone la superficie specifica (quindi la digeribilità) ed eliminare parti del prodotto povere in nutrienti. Anche l'aggiunta di enzimi in grado di denaturare le fibre può essere una valida alternativa per aumentare la biodisponibilità dei nutrienti, oppure si possono preparare razioni formulate appositamente a seconda della disponibilità di amminoacidi essenziali. Pisello, fava e lupino sono ad oggi considerati validi per la parziale sostituzione della soia nella razione giornaliera, con alcune controindicazioni per il lupino, composto da un alto tenore di pareti cellulari non digeribili e la fava, che attraverso il breeding deve raggiungere il minor tenore possibile di glicosidi alcaloidi (Crépon et al., 2010). Queste alternative sono accettabili anche per la produzione di uova.

Dall'analisi LCA effettuata in vari studi, non vi è una soluzione univoca per ridurre le importazioni di soia, in quanto questa, dato il suo elevatissimo tenore proteico e l'assenza di ulteriori processi per aumentare la biodisponibilità dei nutrienti, risulta equiparabile a livello di impatto ambientale con gli altri legumi, con il LER nettamente maggiore che bilancia il risparmio energetico dovuto ai trasporti. Tuttavia, in nessuno degli studi viene preso in

considerazione l'effetto sinergico ottenibile attraverso la consociazione e i benefici dell'introduzione nella rotazione colturale dei legumi.

4. ALIMENTAZIONE DEL SETTORE ITTICO

I mangimi per l'alimentazione dei pesci, nel 2008, erano composti per il 25% da soia, occupando un totale del 4,5% della produzione di soia di quell'anno, ma già in quell'anno la tendenza all'uso di proteine da altre leguminose e cereali era in aumento (Tacon et al., 2011). È noto che i legumi sono in grado di rimpiazzare o ridurre l'uso dei mangimi tradizionali. Per pesci erbivori, come ad esempio la carpa (*Cyprinus carpio*), l'alimentazione a base esclusivamente vegetale è ricorrente per definizione, mentre la fava è stata riconosciuta come ideale per l'alimentazione dei salmoni, in particolare del salmone atlantico (*Salmo salar*) (Aslaksen et al., 2007), per via del suo ridotto contenuto in saponine (circa 4,3 g/kg confrontato con la soia 43g/kg), che riducono la capacità di accrescimento del pesce (Krogdahl et al., 2015). Inoltre, la presenza di un alto tenore di amido nei legumi potenzialmente surrogati alla soia, come fava e pisello, ne facilita la riduzione in mangime pellettato tramite l'estrusione e permette la sostituzione dei cereali impiegati nei mangimi stessi.

CONSIDERAZIONI SULL'ECOSOSTENIBILITA' DELLA CONSOCIAZIONE

Considerando l'obiettivo del Green Deal di raggiungere entro il 2050 il 25% della SAU sotto regime biologico, gli apporti di azoto ottenuti dalle leguminose in purezza sono utili, ma non ricoprono l'arco di tempo in cui la coltura successiva necessita di assorbirlo (Watson et al. 2017). Quindi si sta attualmente prendendo in considerazione l'applicazione di sistemi orientati verso la consociazione cereali-leguminose, soprattutto in condizioni di agricoltura biologica.

La consociazione consiste nella coltivazione di differenti colture in contemporanea nello stesso appezzamento. Questa tecnica è risultata un'efficace alternativa alla coltivazione in purezza per lo sviluppo di sistemi agricoli a basso impatto, in quanto differenti specie coltivate nello stesso appezzamento possono avere effetti sinergici tra loro (Tavoletti and Merletti, 2022). È il caso nella fattispecie della consociazione cereali-legumi, i primi competitivi nell'assunzione di nutrienti minerali dal terreno e contro le infestanti, mentre gli altri famosi per l'azoto-fissazione biologica, attuata dai batteri simbiotici del genere *Rhizobium* a livello dei noduli radicali. Un fattore di rilievo nella consociazione cereali-legumi è il sostegno strutturale offerto dalle graminacee, che, con la corretta densità di semina, permette di ridurre al minimo le perdite di raccolto da parte delle leguminose, causate dal loro portamento

tendenzialmente prostrato e facilmente allettabile; in condizioni di coltura pura l'entità di queste perdite è talmente alta da rendere conveniente due passaggi per la raccolta: il primo per l'andanatura ed il secondo per la raccolta.

Ci sono diversi esempi di come la consociazione risulti favorevole in condizioni di scarsità a livello di input, questi si basano sull'analisi di dati derivati dal confronto tra sostanza secca raccolta in coltura pura e in consociazione, sia come totale che come relativa alla percentuale di semina in consociazione rispetto alla coltura pura, tra tenore di azoto dei prodotti raccolti e quantità di N assorbito dal terreno, dagli apporti antropici e dagli apporti derivati da simbiosi.

I differenti effetti tra coltura pura e consociazione di pisello (*Pisum sativum*) e grano tenero (*Triticum aestivum*) sono stati analizzati a livello di raccolto, N da fertilizzanti e N fissato al suolo; il tutto in un terreno a tessitura sabbiosa e con tre differenti livelli di fertilizzazione (0-40-80 kg N/ha) applicata alla semina. La consociazione tra pisello e grano tenero ha mostrato i massimi livelli di produzione in assenza di N apportato tramite fertilizzanti. La consociazione ha aumentato: la sostanza secca totale e l'N raccolto, la sostanza secca e l'N del grano, la concentrazione di N nel grano, la percentuale di N derivato dalla fissazione biologica dell'N₂ atmosferico e l'accumulo di N minerale nel suolo. Con apporti aumentati di N fertilizzante, il grano, sia in consociazione che in coltura pura, aumenta il raccolto, l'N nel prodotto e l'N accumulato nel suolo, mentre tutto il contrario avviene per il pisello. L'N aggiunto come fertilizzante aumenta la competitività del grano in consociazione, il quale riesce ad accaparrarsi fino al 90% dell'N apportato, riducendo così drasticamente la percentuale di pisello, questo però non va ad influenzare il raccolto totale del grano. Di conseguenza il LER (Land Equivalent Ratio), calcolato in base alla produzione totale di sostanza secca, è inversamente proporzionale all'N minerale apportato, con valori che vanno dall'1.35 per apporti di N nulli, a 0,85 con 80kg N/ha. Questi risultati suggeriscono che la consociazione pisello-grano tenero è una valida strategia per l'uso efficiente dell'N atmosferico, grazie alle dinamiche di auto-regolazione di tipo spaziale, il pisello ottiene una maggior competitività in quelle zone con scarso N accumulato nel suolo (e senza apporti antropici) e viceversa avviene per il grano (Ghaley, Hauggaard-Nielsen, Høgh-Jensen, Jensen, 2005).

Risulta rilevante anche l'effetto della consociazione sull'habitus delle leguminose, in quanto alcune specie di quest'ultime sono soggette a forti perdite per allettamento, o, in alternativa, ad ulteriori costi per passaggi aggiuntivi durante la raccolta, come ad esempio l'andanatura.

Ad esempio, il pisello (*Pisum sativum*) coltivato in purezza ha una forte propensione all'allettamento, che potrebbe compromettere il raccolto o il guadagno di un certo

appezzamento. L'orzo (*Hordeum vulgare*) consociato col pisello previene l'allettamento, ma questo effetto sinergico viene scarsamente esaminato in letteratura.

Nel 2013, uno studio pubblicato da Magdalena Podgórska-Lesiak e Piotr Sobkowicz, ha esaminato due differenti esperimenti con analisi fattoriale, entrambi condotti per tre anni dal 2005 al 2007 e con dosi di N variabile (0-30-60 kg N/ha):

- Esperimento 1: orzo e pisello a taglia media cultivar Wiato
- Esperimento 2: orzo e pisello a taglia alta cultivar Fidelia

Il primo è stato condotto per valutare l'allettamento, la sostanza secca raccolta, i vantaggi a livello di raccolto dovuti alla consociazione e la competizione tra le specie consociate. Il secondo, invece, è stato disegnato appositamente per separare l'effetto sinergico del supporto meccanico fornito dall'orzo al pisello dall'effetto della competizione interspecifica. In quest'ultimo, gruppi di quattro piante di pisello sono state cresciute attorno a impalcature di filo di ferro, mantenute nelle parcelle fino alla completa fioritura o alla maturità; altre parcelle contenevano invece gruppi di quattro piante di pisello consociate con nove di orzo. Questi trattamenti hanno permesso di determinare i benefici meccanici attribuibili alla consociazione nel periodo tra la fioritura e la maturità. Nell'esperimento numero 1, si nota un lieve allettamento del pisello in consociazione, con perdite molto più marcate nella coltura pura. In tutte e tre le annate, le consociazioni risultano più produttive delle colture pure, con un LER sempre >1. L'orzo consociato con Wiato ha registrato rese migliori di quello consociato con Fidelia nel 2005 e nel 2006. Nell'esperimento numero 2 si palesa invece che il supporto meccanico ottenuto attraverso la consociazione con l'orzo è più rilevante se nell'appezzamento c'è un pisello a taglia alta come il Fidelia (Podgórska-Lesiak e Sobkowicz, 2013).

Aumentando la SAU dedicata alle leguminose, sia come coltura pura che in consociazione, è possibile avvalersi di numerosi servizi ecosistemici:

- 1) Azoto-fissazione biologica: è il servizio più studiato e adoperato ad oggi, le stime risultanti si aggirano su una media di 133 Kg/ha per fava/favino, pisello e soia, mentre si riduce di una decina di unità per lupino, veccia, fagiolo, lenticchia e cece. Spesso viene adoperata una dose ridotta di concime azotato tra i 20 e i 40 Kg/ha come "starter" per favorire lo sviluppo iniziale della coltura prima dell'inizio dell'azoto-fissazione, ma allo stesso tempo viene accettata dalla maggior parte degli studiosi la proporzionalità inversa tra azoto minerale disponibile e rateo di fissazione biologica; vi sono varie pubblicazioni che confermano quest'ultima tesi con risultati riportanti

variazioni non significative nel raccolto confrontando coltura concimata con dose “starter” e non concimata (Watson et al. 2017).

Per quanto concerne la consociazione, è stato provato che la quantità totale di azoto fissato in coltura pura è maggiore di quella consociata, ma la proporzione di azoto-fissazione (%Ndfa) risulta maggiore nelle consociazioni cereali-legumi, poiché i cereali sono in grado di assorbire tutto l’azoto minerale residuo forzando la fissazione biologica (Bedoussac et al. 2015). Anche la frequenza con la quale troviamo i legumi in rotazione modifica la dose di azoto fissato, con una quantità di N atmosferico pari al 55% se vi è almeno un anno senza leguminose nell’appezzamento a confronto col 15% in mono-succeSSIONE, ma con meccanismi sconosciuti (Knight, 2012).

- 1) Il lato negativo dell’N-fissazione è l’elevato rischio di percolazione dei nitrati, che aumenta con correlazione molto positiva con la frequenza dei legumi nella rotazione (Beaudoin et al., 2005); questo inconveniente è ostacolabile con l’uso di cover crops (Plaza-Bonilla et al., 2015), che però risulta una tecnica poco apprezzata per via dei costi combinati con l’assenza di produzione vendibile, oppure attraverso l’uso della consociazione (Mariotti et al., 2015).
- 2) Riduzione delle emissioni di gas serra: le emissioni/ha di protossido di azoto (N₂O), con effetti stimati 265 volte maggiori rispetto alla CO₂, risultano in media 1,29 Kg/ha per i legumi a confronto con i 3,22 Kg/ha della media di tutte le altre colture, senza considerare le emissioni per produrre concimi sintetici e per il trasporto di mangimi ad alto tenore proteico nelle zone dove le leguminose non sono coltivate.
- 3) Effetti sulla nutrizione: oltre al più studiato apporto di azoto, la presenza di leguminose nel sistema agricolo favorisce anche la disponibilità di fosforo (P) per le colture a seguire; le radici delle leguminose emettono una gamma variabile di carbossilati in grado di solubilizzare forme solitamente insolubili di fosfati contenenti Sali di calcio e ferro, quest’ultimo considerato immobile e non disponibile per la nutrizione vegetale con suoli a tessitura argillosa come quelli delle Marche. La quantità di carbossilati rilasciati è, similmente all’N-fissazione, inversamente proporzionale al P disponibile nel suolo (Watson et al., 2017)
- 4) Effetti sulla rotazione colturale: l’inserimento dell’ordine delle leguminose nelle rotazioni colturali brevi e semplificate, come quelle dei sistemi agricoli europei, ha due tipologie di vantaggi classificabili come generici e specifici.

Legume	Cultivar	Country	Sole Crop		Intercrop With Spring Barley ^a		Method ^b	References
			N fixed (kg ha ⁻¹)	pNdfa (%)	N fixed (kg ha ⁻¹)	pNdfa (%)		
Pea	Baccara	FR	110–204	47–77	71–209	58–91	NA	Corre-Hellou et al. (2006)
Pea	Agadir	DK	150	62–72	90	73–87	ID	Hauggaard-Nielsen et al. (2008)
Pea	Baccara	DK, UK, IT, FR, DE	61–154	47–81	32–78	52–84	ID	Hauggaard-Nielsen et al. (2009)
Pea	Bohatyr	DK	140	76	65	86	ID	Andersen et al. (2004)
Pea	Bodil	DK	128–215	53–68	27–74	79–84	ID	Jensen (1996)
Pea	Focus	DK	120	89	30	95	ID	Hauggaard-Nielsen et al. (2001)
Pea	Baccara	FR	238 ^c	84			ID	Voisin et al. (2002)
Pea	Ballet	PT	27–55	29–74 ^d			ID	Carranca et al. (1999)
Pea	Nitouche	FR	96–102 ^c	60–65			ID	Corre-Hellou and Crozat (2005)
Pea	Lucy	FR	173–218	71–82			NA	Naudin et al. (2010)
Faba bean	16 genotypes	FR	34–253	40–83			NA	Duc et al. (1988)
Faba bean	Favel	PT	73–79	69–73a			ID	Carranca et al. (1999)
Faba bean	Columbo	DK	160–170	70–75			ID	Hauggaard-Nielsen et al. (2008)
Lupin, NL	Prima	DK	140–150	76			ID	Hauggaard-Nielsen et al. (2008)
Lupin, white	Multitalia	IT	178 ^c	76			ID	Sulas et al (2016)
Chickpea	Cultivar 510	PT	23	81 ^d			ID	Carranca et al. (1999)
Soybean	3 varieties	DE	48–100	43–55			NA	Zimmer et al. (2016)
Soybean	Maple arrow	CH	25 ^c	41–47			NA	Oberson et al. (2007)
Soybean	Apache	AT		40–52			NA	Schweiger et al. (2012)

Tabella 1 Dati derivanti da vari elaborati su N fissazione e percentuale di N derivante dall'atmosfera (Ndfa) relativi a differenti specie, cultivar e paesi europei. Tutte le specie sono valutate in coltura pura, ad eccezione del pisello consociato con l'orzo. La lettera "a" nelle consociazioni indica che entrambe le specie sono state seminate alla metà della densità della coltura pura. I metodi di determinazione dell'N sono: NA abbondanza naturale ed ID diluizione dell'isotopo. L'N fissato è misurato in radici e germogli, mentre il pNdfa nei baccelli ("p" sta per pods) (Watson et al., 2017).

Tra i vantaggi generici, l'aumento di biodiversità all'interno di una rotazione colturale semplificata, implica la riduzione della presenza di inoculi riguardanti patogeni o propaguli di infestanti, in quanto un anno in più senza ospite primario preclude la sopravvivenza di gran parte di questi, inoltre l'apparato radicale fittonante delle leguminose favorisce la formazione di una struttura del suolo più stabile; questo è particolarmente evidente quando si parla di patogeni radicali.

Il vantaggio specifico della coltivazione delle leguminose è sempre correlato all'N-fissazione, questa infatti promuove lo sviluppo dei microrganismi terricoli tra quali ritroviamo

i batteri della rizosfera promotori della crescita radicale; anche per quanto riguarda il maggior sviluppo radicale di una coltura non leguminosa post legume vi sono prove sperimentali favorevoli (Thorup-Kristensen, 1993), ma non è chiaro il meccanismo alla base e si crede derivi dall'interazione tra 3 fattori: maggiore disponibilità di N, microrganismi promotori della crescita più rappresentati e ridotta presenza di inoculo per i patogeni radicali.

Va tenuto particolarmente in conto l'aspetto degli effetti sulla rotazione, in quanto in Europa, e soprattutto in Italia, vi sono esempi di rotazioni notevolmente ridotte, come ad esempio la più diffusa nelle Marche, grano-girasole della durata di soli due anni, che contiene solamente colture depauperatrici con elevate necessità in N, oppure nel nord Italia, soprattutto nella Pianura Padana, dove la mono successione del mais ha portato a gravi problematiche di gestione dell'inquinamento, delle riserve idriche e delle infestanti che divengono vera e propria flora di sostituzione. È importante, al fine di rendere i sistemi agricoli più sostenibili, che la biodisponibilità dei nutrienti risulti massima, riducendo lo spreco delle risorse naturali, economiche ed energetiche.

Nel 79% degli esperimenti sulla biodiversità dei sistemi di coltivazione, la produzione di biomassa negli appezzamenti che adoperano sistemi caratterizzati dalla presenza di diverse specie vegetali, risulta in media il 70% maggiore rispetto a quelli che adoperano la monocoltura (Cardinale et al., 2007). L'aumento del grado di biodiversità è in grado di spiegare miglioramenti a livello di produzione e servizi ecosistemici attraverso effetti di competizione e complementazione. La competitività si riscontra quando una specie o una cultivar in particolare domina il mix seminato: in questo caso la specie dominante riporterà un raccolto all'interno della consociazione maggiore rispetto a quello atteso, calcolato sulla media della coltura pura, non per via delle interazioni con l'altra specie seminata, ma per via della ridotta competizione intra-specifica. Gli effetti della complementarità subentrano quando le piante consociate presentano interazioni positive tra i loro meccanismi produttivi: la complementarità per l'uso delle nicchie e la facilitazione (modificazione dell'ambiente che apporta vantaggi anche ad un'altra specie) permettono ai mix di produrre più del loro corrispettivo in monocoltura. Il concetto di risorsa limitante, introdotto dalla "legge del minimo" di Liebig, suggerisce che la produzione di una coltura è determinata dalla risorsa che risulta meno sufficiente, il suddetto fattore limitante; questo è comune nei sistemi con scarsi input, ma può sopraggiungere anche in sistemi di coltivazione più avanzati ed onerosi a livello di input, per via della presenza di cofattori non presi in considerazione in partenza o non modificabili. Sostanzialmente all'innalzamento della soglia del fattore limitante, ci si aspetta un innalzamento proporzionale a livello di produzione. I fattori limitanti più comuni sono: la

luce, l'acqua, l'ossigeno, la temperatura o un macroelemento della nutrizione. Il 70% della produzione agricola mondiale può, inoltre, essere "affetta" da fattori limitanti, che, essendo caratteristici delle proprietà pedologiche della zona, non vengono spesso citati, in quanto non vi è una possibilità sbrigativa di intervento su di essi. Questi fattori limitanti sono dovuti al pH del suolo e perciò si distinguono:

- Per i suoli alcalini/calcarei: biodisponibilità di ferro (Fe), zinco (Zn) e rame (Cu)
- Per i suoli acidi: ioni tossici di alluminio (Al) e manganese (Mn)

Attraverso la consociazione è possibile incrementare la biodisponibilità delle risorse limitanti, poiché una corretta gestione della rizosfera, e quindi dell'efficienza d'uso dei nutrienti, è perseguibile solamente aumentando la biodiversità che si trova su di essa, per permettere al microbioma di colonizzare al meglio i primi strati di suolo.

Le caratteristiche fisiologiche necessarie alle colture per massimizzare l'acquisizione delle risorse sono le medesime che si parli di consociazione, o di coltura pura, ma, nel caso della consociazione, è possibile la combinazione di tratti tipici di una determinata specie con quelli dell'altra consociata, anche se c'è bisogno di approfondire i vari sistemi con ricerche mirate all'ottimizzazione delle interazioni. Ovviamente gli sforzi sono mirati ad un aumento della performance, che si può tradurre come aumento della resa totale (difficile se confrontiamo le consociazioni con la coltura pura in regime di agricoltura tradizionale) oppure come aumento della resa relativa agli input forniti, infatti, in regimi strettamente biologici, dove i valori del fattore limitante sono spesso bassi, i meccanismi che subentrano grazie alla consociazione permettono di innalzare il livello della resa, senza aumentare gli input forniti, solamente cambiando sistema di coltivazione. La maggior parte degli studi sulle meccaniche della consociazione si concentra a livello epigeo, prendendo in considerazione soprattutto la competizione per la luce, le temperature ottimali e lo spazio; ma vi sono studi anche a livello ipogeo che studiano le interazioni tra specie, incluse quelle tra specie vegetale coltivata e le specie presenti nel microbioma del suolo. Un esempio di tratti complementari tra loro in consociazione è quello della policoltura di mais (*Zea mays*), fagiolo (*Phaseolus vulgaris*) e zucca (*Cucurbita* spp.): la zucca ha un ottimo effetto coprente sul terreno durante l'inizio della stagione di coltivazione, garantendo una riduzione della competizione con le prime infestanti, oltre alla prevenzione delle perdite d'acqua per evaporazione; la successiva crescita del mais e del fagiolo mantiene l'umidità dei primi strati d'aria durante la stagione inoltrata e massimizza l'utilizzazione della luce, è stato dimostrato, infatti, che soprattutto nelle consociazioni cereali-legumi, la leguminosa, spesso di taglia più bassa e quindi più

ombreggiata, è in grado di catturare la radiazione solare in maniera più efficiente rispetto al corrispettivo in monocoltura (Kanton&Dennett,2008).

Quando l'elemento più limitante è l'acqua, come spesso avviene in Italia, la consociazione è in grado di aumentare la disponibilità d'acqua o la sua efficienza d'uso, questo avviene perché la differente architettura radicale delle specie consociate colonizza in maniera più uniforme il profilo di suolo (che in monocoltura è occupato solamente ad una determinata profondità dalla stragrande maggioranza dell'apparato radicale); inoltre, l'acqua viene fatta salire nel profilo, grazie alle radici più profonde e alle reti di micorrize, a partire da punti che sarebbero altrimenti irraggiungibili, infine la maggior copertura del suolo fornisce meno superficie attiva disponibile all'acqua per evaporare. Ulteriori traguardi sono raggiungibili, attraverso la selezione di caratteristiche a livello radicale o associazioni di micorrize volte ad aumentare l'intercettazione dell'acqua e la sua redistribuzione nel profilo del suolo, attraverso la consociazione di specie arido resistenti con specie sensibili a questa carenza. Infatti, se tutte le specie consociate hanno un elevato fabbisogno idrico, le possibilità di aumentare l'efficienza d'uso risultano molto scarse, soprattutto in presenza di sistemi di coltivazione che prevedono l'irrigazione, in quanto il suolo sarà scarsamente colonizzato dagli apparati radicali (Brooker et al., 2014).

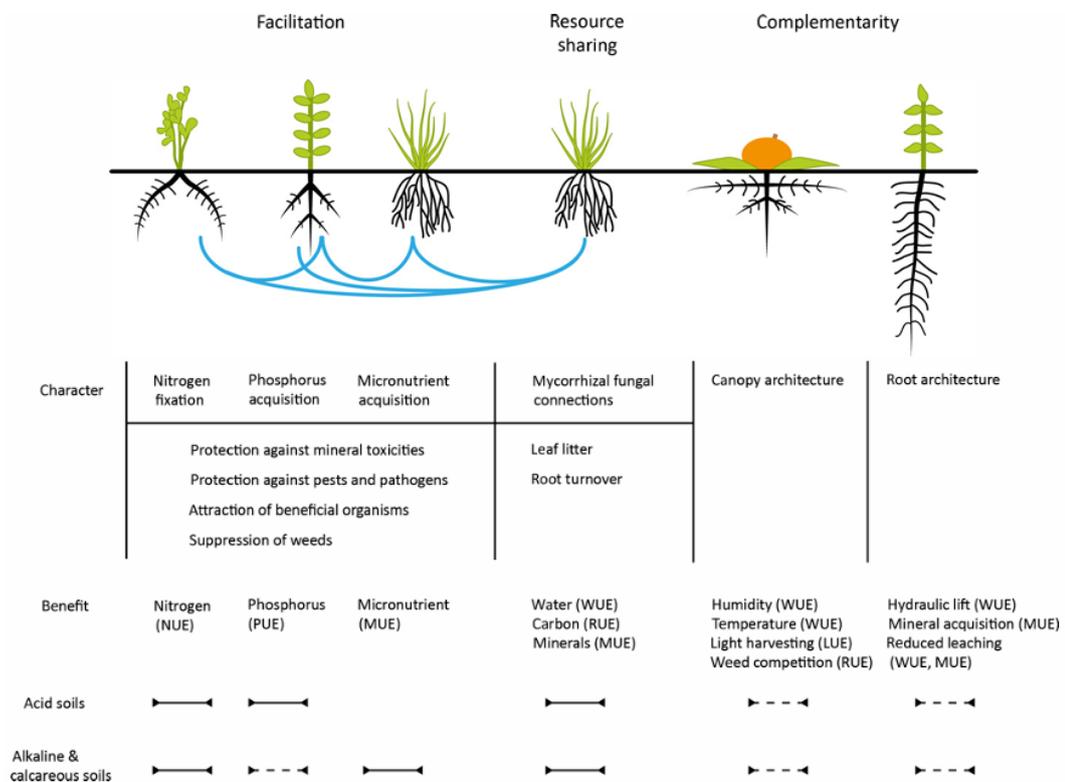


Fig.2 *Facilitazione, condivisione delle risorse e complementarietà di nicchia permettono ai sistemi consociativi di produrre più dei loro corrispettivi in monocoltura. Alcune*

interazioni di facilitazione sono associate a particolari tipologie di suolo (acido oppure alcalino/calcareo) e quando sono presenti possono risultare fortemente (linea continua) o lievemente (linea tratteggiata) significative. Questo fenomeno avviene quando varie specie vegetali combinate tra loro: aumentano la biodisponibilità di acqua, fosforo, micronutrienti, azoto (tramite azoto fissazione), riducono l'incidenza di malattie e parassiti attraverso il ripopolamento di organismi benefici, come impollinatori o nemici naturali, e competono maggiormente con le erbe infestanti. È un importante esempio di facilitazione anche la prevenzione degli effetti fitotossici di alcuni minerali in suoli salini e metalliferi, resa possibile dagli essudati radicali di specie resistenti a questi fenomeni, che sono in grado di ridurre l'impatto sulle specie sensibili. La condivisione delle risorse avviene naturalmente in due modi: attraverso la rete di micorrize, che in sistemi poli colturali è naturalmente più sviluppata, e il riciclo di nutrienti dalla senescenza delle foglie o dal turnover radicale, che risultano sfalsati se vi sono specie differenti. La complementarità nello sfruttamento delle nicchie è riscontrabile sia nell'apparato aereo, per luce, umidità e temperatura, sia a livello dell'apparato radicale per acqua, nutrienti e prevenzione della lisciviazione; anche in questi casi le specie devono essere differenti tra loro per avere strutture aeree e radicali complementari (Brooker et al., 2014).

Nei nostri terreni, particolarmente calcarei, è importante anche l'effetto di facilitazione che avviene grazie alle graminacee per la movimentazione del ferro. Nella composizione delle piante il ferro (Fe) è considerato il microelemento più importante, è presente in un range dalle 50 alle 200 ppm ed è un importante co-fattore nei processi metabolici di fotosintesi e respirazione. Nel suolo è presente come ferro ferrico (numero di ossidazione 3+), poco solubile e quasi per nulla biodisponibile, a causa del pH e del carbonato di calcio che lo lega. Le graminacee non soffrono di clorosi ferrica poiché sono in grado di assorbirlo grazie alla "strategia II": attraverso il rilascio di fitosiderofori, molecole chelanti altamente affini al ferro ferrico, queste piante sono in grado di legarlo e successivamente riassorbirlo con facilità dalla superficie radicale. Per altre specie che non presentano questa modalità d'assimilazione, sintomi di clorosi ferrica sono molto comuni nei nostri suoli caratterizzati da pH elevati e forte presenza di calcio, ma Li et al. (2014) ha dimostrato che una volta messe in consociazione graminacee e dicotiledoni, come nella nostra prova, le graminacee sono in grado di migliorare la biodisponibilità del ferro anche per le dicotiledoni.

L'effetto di regolazione sui patogeni è un altro esempio di come l'aumento di biodiversità, all'interno di un sistema agricolo, sia in grado di apportare benefici alla resilienza dello stesso

e quindi alla sua ecosostenibilità. Le consociazioni influenzano l'andamento delle patologie tramite l'alterazione di vari parametri (vento, bagnatura e altre modalità di diffusione), modificano il microclima sulla chioma (temperatura e umidità) e inibiscono direttamente i patogeni attraverso la variazione di distribuzione, fisiologia e densità della coltura ospite. Diversi cambiamenti osservati sull'incidenza delle fitopatie potrebbero essere dovuti alla diminuzione della densità della specie ospite, degli antagonisti delle piante o da una diluizione di questi nello spazio, indipendentemente dall'influenza dell'altra o delle altre specie. Per quanto riguarda gli agenti patogeni trasportati dal vento, i mezzi con cui questi possono essere condizionati includono l'intercettazione dei propaguli da parte della specie non ospite, l'alterazione del vento (velocità, direzione, turbolenza) o un cambiamento morfologico nell'ospite come effetto della competizione. I patogeni che si spostano attraverso l'acqua possono essere condizionati dagli stessi fattori citati per il vento. L'inibizione degli agenti patogeni causata da una coltura complementare non ospite è un ulteriore meccanismo che sembra essere connesso alla riduzione delle fitopatie nelle colture miste ed è applicabile anche per le patologie del terreno. Vi è un'ampia letteratura che tratta le sostanze allelochimiche (essudati radicali per esempio) prodotte dalle piante con azione antagonista sullo sviluppo dei patogeni terricoli e infestanti (Boudreau, 2013).

Al momento la consociazione cereale-leguminosa sembra l'alternativa più percorribile per via di numerosi effetti benefici:

- Aumento della resa e della stabilità di produzione
- Maggior tenore proteico dei cereali
- Maggior controllo delle infestanti soprattutto per quanto riguarda le leguminose
- Miglioramento dello stato fisico del suolo, grazie all'apparato radicale profondo delle leguminose e al loro abbondante rilascio di acidi organici che contribuiscono ad abbassare il livello di pH
- Riduzione dell'incidenza di fitopatie e parassiti per effetto diluizione
- Aumento della resistenza a fattori abiotici
- Aumento dell'efficienza d'uso delle risorse

Per riuscire ad ottenere il massimo dagli effetti di complementazione e facilitazione, va trovato il giusto compromesso per quello che riguarda la competizione interspecifica, in quanto questa, se troppo accentuata, può portare alla morte di una delle due specie (spesso la leguminosa in quanto meno competitiva) e quindi annullare tutti gli effetti benefici del sistema, portando il LERtotale a valori molto bassi. Non esiste una regola fissa per mettere in atto la consociazione, ma le cultivar scelte devono avere una fisionomia quanto più complementare

possibile, sia a livello aereo che radicale, e fenologia simile. La fenologia è importante in quanto i cereali, tendenzialmente, hanno uno sviluppo in altezza più accentuato e rapido, col rischio di soffocare la leguminosa.

Oltre alla scelta accurata delle cultivar da seminare in campo, è fondamentale considerare la densità di semina, questa, in coltura pura, è molto differente tra cereali e leguminose, i cereali sono seminati a densità molto maggiori rispetto alle leguminose in quanto il loro sviluppo avviene prevalentemente in altezza, mentre le leguminose hanno un discreto sviluppo della pianta anche nelle altre dimensioni. Ci sono differenti possibilità nella densità di semina, che influenzano le interazioni tra le specie, la struttura e la quantità di biomassa prodotte; questo è importante nel caso delle leguminose, in quanto un maggiore sviluppo in altezza permette la produzione di un ulteriore palco dove crescono i legumi, aumentando il LER_{leg}. Per questi motivi la densità di semina non viene sempre adottata al 50% della coltura pura, ma si effettuano degli aggiustamenti, solitamente volti a ridurre la densità della specie dominante (cereali) in favore di quella dominata (leguminose). Nell'esperimento riporteremo vari mix della stessa consociazione (specie e cultivar identiche), questi si differenziano per la densità % rispetto alla densità di semina della coltura pura.



Fig.3 Esempio di copertura del terreno nella consociazione grano duro-pisello, il medesimo campione è stato fotografato in varie fasi fenologiche. (Bedoussac et al., 2015)

La scarsa diffusione delle leguminose nei sistemi agricoli europei ad oggi è dovuta principalmente alla variabilità del quantitativo prodotto/ha nelle varie annate, anche se alcune pubblicazioni presentano dati contrastanti secondo i quali i raccolti sarebbero più stabili delle altre colture, è sostanzialmente insufficiente il quantitativo di dati paragonabili (stesso ambiente pedoclimatico) (Watson et al. 2017). Le politiche di mercato, inoltre, hanno favorito nelle ultime decadi la specializzazione dei sistemi agricoli a scapito della differenziazione. Il

valore di mercato dei legumi, ad oggi, risulta basso ed estremamente volatile, come ad esempio il pisello, che ha un margine di mercato variabile dal 25 al 78%. Questi valori, sommati ai vantaggi forniti al sistema che spesso vengono sottostimati, come l'azoto fissazione, la riduzione nell'uso dei pesticidi e la resa aumentata nella coltura successiva, rendono la coltivazione dei legumi poco competitiva. La stessa superficialità è riscontrabile anche nella comunicazione delle esternalità positive fornite da un sistema che include anche i legumi, come l'aumento del grado di biodiversità, la riduzione delle emissioni ed il mantenimento di una migliore struttura e vitalità del suolo; queste, infatti, sono fortemente supportate dall'opinione pubblica e potrebbero indurre modifiche nelle abitudini alimentari (Zander et al., 2016).

Le condizioni mutevoli alle quali siamo sottoposti negli ultimi anni, sommate alla comprensione della necessità di un sistema agricolo meno impattante, sfociano nella necessità di un maggiore sviluppo nel breeding delle leguminose, in particolar modo per quelle cultivar destinate ad essere consociate. La selezione ricorrente, gli schemi fattoriali incompleti e la selezione genomica sono stati di recente proposti come strategie per lo sviluppo del breeding delle colture consociate, inoltre, alcuni modelli sono stati sviluppati appositamente per identificare caratteristiche adatte alla consociazione (Tavoletti and Merletti, 2022)

La maggiore adattabilità della consociazione, soprattutto nei sistemi biologici, è l'oggetto di questa ricerca, dove si tenterà di colmare alcune lacune del breeding dedicato alle consociazioni finalizzate alla produzione di foraggio sostenibile, al fine di colmare i deficit sopracitati di questo settore mantenendo un alto grado di sostenibilità. È importante valutare le combinazioni di specie prima e di cultivar poi, al fine di raggiungere il minor livello di competizione inter specifica ed il maggior effetto sinergico possibile, verranno valutati: il LER (Land Equivalent Ratio), basato sulla sostanza secca prodotta in consociazione di ogni singola specie, messa in rapporto con quella prodotta dalla medesima specie in coltura pura, se la somma dei rapporti delle specie consociate risulta >1 , allora la consociazione risulta vantaggiosa per quanto riguarda la produzione; il tenore proteico dei cereali, caratteristica fondamentale per il loro mercato; le perdite per allettamento delle leguminose, per valutare i vantaggi ottenuti dal sostegno meccanico dei cereali consociati. Al fine di determinare anche le condizioni ideali affinché vi sia un livello ottimale di competizione interspecifica, è doveroso valutare anche la densità di semina di ogni specie rispetto alla densità in coltura pura, in quanto solitamente i cereali risultano più competitivi dei legumi, rischiando di rallentare la loro crescita ed il processo di azoto fissazione, fenomeno che porta ad una forte riduzione del LERleg e quindi alla perdita di risorse finanziarie ed alimentari.

MATERIALI E METODI

1. Materiali vegetali.

La prova sperimentale è stata eseguita utilizzando 2 varietà di frumento duro (Achille e Maciste), 2 varietà di favino (Chiaro di Torre Lama e Prothabat69), una varietà di avena nuda (Irina) e una varietà di veccia (Idice). Tutte le varietà sono state inserite sia come colture pure sia in coltura consociata. Sono state effettuate due combinazioni di specie in consociazione: il frumento duro è stato consociato con il favino, mentre l'avena nuda è stata consociata con la veccia. Nel caso della consociazione frumento duro-favino sono state effettuate tutte le 4 combinazioni tra le 2 varietà di frumento e le 2 varietà di favino. Per la consociazione avena-veccia è stata valutata l'unica combinazione possibile tra le varietà Irina e Idice. Tutte le consociazioni sono state effettuate inserendo il cereale ad una densità di semina del 50% della coltura pura, mentre la leguminosa è stata inserita utilizzando una densità di semina del 65% della coltura pura.



Fig.4 Panoramica del campo sperimentale presso l'azienda didattico-sperimentale dell'UNIVPM in data 23/04/22



Fig.5 Panoramica del campo sperimentale dell'azienda didattico-sperimentale dell'UNIVPM in data 11/05/22

2. Disegno sperimentale

La prova è stata effettuata utilizzando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati completi con 4 repliche e parcelle di lunghezza di 10 m e larghezza utile 1,2 m (area parcella: 12 m²). I 4 blocchi sono stati posizionati seguendo l'andamento della pendenza del campo sperimentale (pendenza di circa 4%), con il Blocco 1 situato nella zona ad altitudine inferiore ed il Blocco 4 ad altitudine superiore.

La semina è stata effettuata il 19 gennaio 2022 utilizzando una seminatrice parcellare disponibile presso l'Azienda Sperimentale UNIVPM. La raccolta delle singole parcelle è stata effettuata il 27 luglio 2022 con mietitrebbia parcellare Wintersteiger Delta.

Successivamente, il raccolto delle colture pure è stato sottoposto a vagliatura per eliminare le impurità al fine di poter calcolare la resa ad ettaro (Mg ha⁻¹). Parallelamente, il raccolto delle colture consociate è stato sottoposto a vagliatura per separare il prodotto del cereale da quello della leguminosa, e determinare separatamente la produzione (Mg ha⁻¹) del cereale e della leguminosa in coltura consociata.

Il calcolo delle produzioni sia in coltura pura che in coltura consociata delle singole varietà ha permesso di calcolare l'indice LER (Land Equivalent Ratio) per ciascuna coltura, come segue:

LER del cereale = $LER_{cer} = \text{Produzione in consociazione} / \text{Produzione in coltura pura}$;

LER della leguminosa = $LER_{leg} = \text{Produzione in consociazione} / \text{Produzione in coltura pura}$.

Questi valori hanno quindi permesso di calcolare il LER totale:

$LER_{totale} = LER_{cer} + LER_{leg}$

Il LER totale è comunemente utilizzato per valutare l'efficienza d'uso del suolo della coltura consociata rispetto alle relative colture pure. Se $LER_{tot} > 1$ la coltura consociata corrisponde ad una miglior efficienza d'uso del suolo rispetto al sistema colturale basato sulle colture pure.

Non sono state effettuate concimazioni né interventi fitosanitari al fine di valutare la performance delle colture senza input esterni.

3. Analisi dei dati

I dati relativi alla produzione di granella (Mg ha⁻¹) sono stati analizzati mediante Analisi della Varianza (ANOVA), ed i confronti tra le medie sono stati eseguiti utilizzando il test t, per confronti tra due medie, e il test HSD di Tukey per confronti multipli. Le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software JMP 11.2. L'analisi dei dati è stata effettuata separatamente per le combinazioni frumento duro – favino e avena -veccia.

Relativamente alla combinazione **frumento duro – favino**, l'analisi dei dati relativi alla produzione di granella è stata effettuata separatamente per il frumento e per il favino. Per ciascuna specie, il rapporto tra produzione in consociazione e produzione in coltura pura ha permesso di calcolare per ciascuna parcella il LER del cereale o della leguminosa.

Il modello ANOVA utilizzato è basato sulla combinazione fattoriale tra le varietà di ciascuna specie (2 livelli) ed il sistema colturale (3 livelli: coltura pura, consociazione 1 e consociazione 2).

Per il frumento duro è stato utilizzato il seguente modello:

$$Y = b_i + FD_j + SC_k + FD \times SC_{jk} + e$$

Dove:

b_i = effetto blocco con 4 livelli ($i = 1, \dots, 4$);

FD_j = varietà di frumento con 2 livelli ($j = 1, 2$): Achille e Maciste

SC_k = Sistema Colturale con 3 livelli ($k = 1, 2, 3$): coltura pura, consociazione con Chiaro di Torre Lama e consociazione con Prothabat69.

$FD \times SC_{jk}$ = interazione tra varietà di frumento e sistema colturale.

Lo stesso modello è stato applicato per l'analisi della produzione del favino:

$$Y = b_i + FAV_j + SC_k + FAV \times SC_{jk} + e$$

Dove:

b_i = effetto blocco con 4 livelli ($i = 1, \dots, 4$);

FAV_j = varietà di frumento con 2 livelli ($j = 1, 2$): Achille e Maciste

SC_k = Sistema Colturale con 3 livelli ($k = 1, 2, 3$): coltura pura, consociazione con Achille e consociazione con Maciste.

$FAV \times SC_{jk}$ = interazione tra varietà di frumento e sistema colturale.

Relativamente alla consociazione **avena nuda – veccia**, l'analisi è stata eseguita separatamente per il cereale e per la veccia utilizzando il seguente modello ANOVA:

$$Y = b_i + CS_j + e$$

Dove

b_i = effetto blocco con 4 livelli ($i = 1, \dots, 4$);

SC_k = Sistema Colturale con 2 livelli ($k = 1, 2$): coltura pura e consociazione.

Sulla base dei valori medi ottenuti è stato quindi possibile calcolare sia i LER delle singole specie sia il LER totale per ciascuna combinazione di specie presa in esame.

Si deve comunque notare che la presente prova sperimentale si inserisce nell'ambito di un progetto pluriennale in cui rotazioni basate su colture pure verranno messe a confronto con rotazioni basate su colture consociate. I risultati relativi alla presente tesi si riferiscono quindi al primo anno di valutazione.

RISULTATI

1. Consociazione frumento duro - favino

Frumento duro

I risultati dell'ANOVA relativi alla produzione di granella del frumento duro sono riportati in Tabella 1, da cui risulta una alta significatività della fonte di variazione "Sistema Colturale".

Tabella 2. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di granella delle due varietà di frumento duro in coltura pura e in consociazione con le due varietà di favino.

Fonti di variazione	df	SS	MS	F	P
Blocchi	3	2,999	1,000	10,1	***
Frumento (F)	1	0,038	0,038	0,4	ns
Sistema Colturale (SC)	2	11,587	5,794	58,4	***
F x SC	2	0,153	0,077	0,8	ns
Residuo	15	1,488	0,099		

L'analisi delle medie ha messo in evidenza una resa media del frumento significativamente più alta nei blocchi 3 e 4, situati nella parte alta del campo sperimentale, rispetto al blocco 1 situato in una posizione più a valle nel campo sperimentale (Tabella 2A). Questo ha messo in evidenza una significativa variabilità lungo la pendenza del campo sperimentale, variabilità che è stata controllata utilizzando uno schema sperimentale a blocchi randomizzati completi.

La fonte di variazione "Frumento" non è risultata significativa. Infatti, le 2 varietà di frumento hanno mostrato una produzione media di granella non significativamente differente tra loro, produzione media relativa alla media della produzione in coltura pura ed in consociazione (Tabella 2B).

Tabella 2. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella del frumento duro.

A) Blocchi	Mg ha ⁻¹	
Blocco 4	3,65	a
Blocco 3	3,44	a
Blocco 2	3,21	ab
Blocco 1	2,70	b

B) Frumento (F)	Mg ha ⁻¹	
Maciste	3,29	a
Achille	3,21	a

C) Sistema Colturale (SC)	Mg ha ⁻¹	
Puro	4,23	a
CHTL	2,82	b
PROT	2,70	b

D) F x SC	Mg ha ⁻¹	
Maciste,Puro	4,25	a
Achille,Puro	4,21	a
Achille,CHTL	2,87	b
Maciste,PROT	2,84	b
Maciste,CHTL	2,78	b
Achille,PROT	2,55	b

Come atteso in base alla minor densità di semina del frumento duro in coltura consociata (50%) rispetto alla coltura pura, il frumento in coltura pura ha mostrato una produzione significativamente più elevata rispetto alla produzione media mostrata in consociazione con Chiaro di Torre Lama e con Prothabat69 (Tabella 2C). Inoltre, la produzione media del frumento duro non ha mostrato una differenza significativa tra le due combinazioni di colture consociate. Questo risultato potrebbe indicare che la risposta media, in termini di produzione di granella, del frumento duro non ha mostrato effetti dovuti alla varietà di favino inserita nella consociazione.

L'interazione tra varietà di frumento duro e sistema colturale (Tabella 2D) non è risultata significativa all'ANOVA. Infatti, entrambe le varietà di frumento duro hanno mostrato una produzione in coltura pura significativamente più elevata che in consociazione con entrambe le varietà di frumento, ma l'andamento della produzione dalla coltura pura alle combinazioni di coltura consociata con le 2 varietà di favino è risultato simile per Achille e Maciste (Tabella 2D e Figura8).

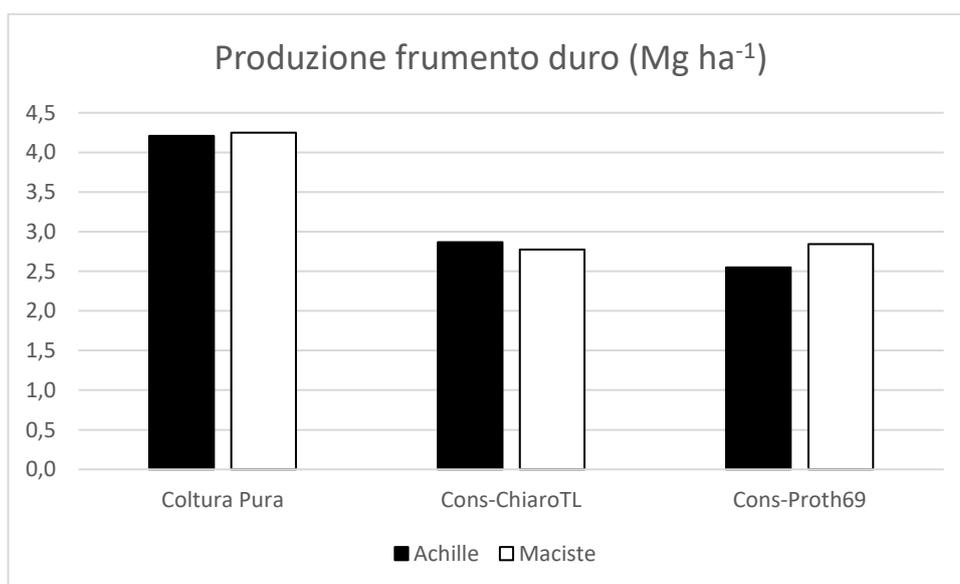


Fig.6 Interazione F x SC. Andamento della produzione di granella delle due varietà di frumento duro in coltura pura ed in consociazione con le 2 varietà di favino.

Favino

L'ANOVA relativa alla produzione di seme del favino (Tabella 3) ha evidenziato come altamente significative le varianze relative agli effetti principali Favino (F) e Sistema Colturale (SC), mentre l'interazione F x SC non è risultata significativa.

La produzione media del favino nei 4 blocchi, pur avendo mostrato una riduzione media dal blocco 4 al blocco1 come osservato per la produzione del frumento duro, tale differenza non è risultata statisticamente significativa (Tabella 4A). Questo risultato potrebbe evidenziare una minor sensibilità del favino, e quindi della leguminosa, alla variazione delle condizioni pedologiche che possono riscontrarsi lungo un pendio.

Tabella 4. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme delle due varietà di favino in coltura pura e in consociazione con le due varietà di frumento duro.

Fonti di Variazione	DF	SS	MS	F	P
Blocchi	3	0,157	0,052	3,1365	ns
Favino (F)	1	0,621	0,621	37,1055	***
Sistema Colturale (SC)	2	4,831	2,416	144,384	***
F x SC	2	0,085	0,043	2,5434	ns
Residuo	15	0,251	0,017		

Tabella 5. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di seme del favino.

A) Blocchi	Mg ha ⁻¹	
Blocco 2	1,62	a
Blocco 3	1,57	a
Blocco 4	1,47	a
Blocco 1	1,41	a

B) Favino (F)	Mg ha ⁻¹	
Prothabat69	1,68	a
Chiaro di Torre Lama	1,36	b

C) Sistema colturale (SC)	Mg ha ⁻¹	
Favino-Coltura Pura	2,15	a
Favino - Achille	1,25	b
Favino - Maciste	1,15	b

D) F x CS	Mg ha ⁻¹	
Prothabat69-Coltura Pura	2,23	a
Chiaro di Torre Lama -Colt pura	2,07	a
Prothabat69 - Achille	1,48	b
Prothabat69 - Maciste	1,32	b
Chiaro di Torre Lama - Achille	1,02	c
Chiaro di Torre Lama - Maciste	0,98	c

L'analisi degli effetti principali ha messo in evidenza una produzione media di seme significativamente più elevata per la varietà Prothabat69 rispetto al Chiaro di Torre Lama (Tabella 4B). Inoltre, come osservato per il frumento duro, anche la produzione media del favino è risultata significativamente più elevata per le colture pure rispetto alle colture consociate (Tabella 4C).

Inoltre, l'interazione F x SC non è risultata significativa evidenziando un trend simile per l'andamento della produzione di granella dalla coltura pura alle due combinazioni di colture consociate. Comunque, i confronti multipli tra le medie hanno evidenziato che per entrambe le varietà di favino è stato possibile riscontrare una produzione delle colture pure significativamente più elevata delle altre. Inoltre, le consociazioni che hanno incluso la varietà Prothabat69 hanno mostrato una produzione di favino significativamente più elevata delle consociazioni con Chiaro di Torre Lama (Tabella 4D).

Complessivamente, i risultati ottenuti relativamente al favino hanno evidenziato come la performance in coltura consociata possa essere influenzata dalla scelta varietale.



Fig. 7 Consociazione del favino cv Prothabat69 con grano duro Achille.



Fig. 8 Consociazione del favino cv Prothabat69 con grano duro Maciste.

L'andamento delle rese delle due varietà di favino in coltura pura ed in consociazione con le due varietà di frumento duro è riportato in Figura 11.

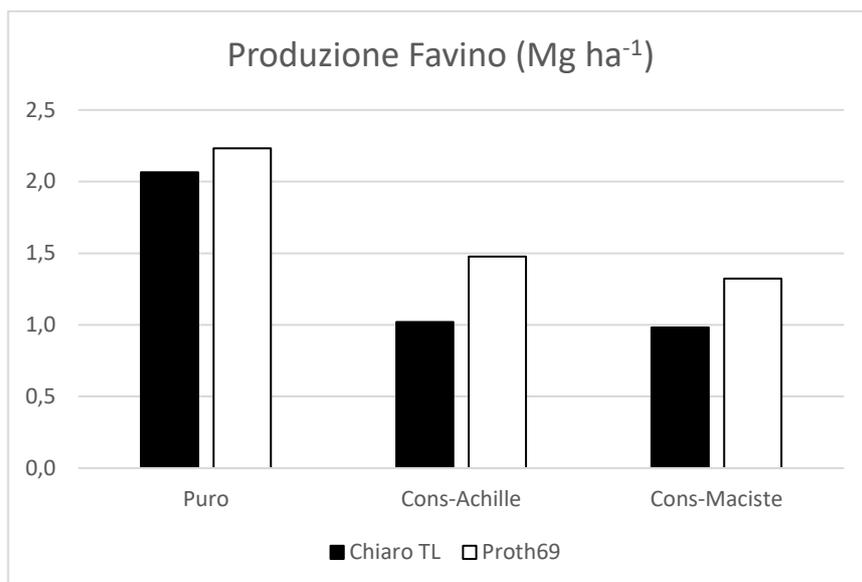


Fig. 9 *Interazione F x SC. Andamento della produzione di seme delle due varietà di favino in coltura pura ed in consociazione con le 2 varietà di frumento duro.*

2. Consociazione avena nuda – vecchia.

L'ANOVA ha evidenziato come significative sia la varianza tra blocchi che la varianza della fonte di variazione "Sistema Culturale" (Tabella 5). Anche relativamente alla produzione di granella dell'avena, il blocco4 ha mostrato una produzione media significativamente inferiore a quella degli altri 3 blocchi. Questo risultato conferma come la performance della coltura cerealicola può essere fortemente influenzata dalle caratteristiche pedologiche che possono variare in un suolo agrario caratterizzato da una pendenza anche ridotta. Come riscontrato per il frumento duro, anche l'avena in coltura pura ha mostrato una produzione di granella significativamente maggiore che in coltura consociata con vecchia comune.

Tabella 6. *Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme della varietà Irina di avena nuda in coltura pura e in consociazione con vecchia comune.*

Fonti di Variazione	df	SS	MS	F	P
Blocchi	3	1,144	0,381	43,5	**
Sistema Culturale	1	0,605	0,605	69,0	**
Residuo	3	0,026	0,009		

Tabella 7. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella dell'avena nuda varietà Irina.

A) Blocchi	Mg ha ⁻¹	
Blocco 4	2,75	a
Blocco 3	2,75	a
Blocco 2	2,40	a
Blocco 1	1,83	b

B) Sistema Colturale	Mg ha ⁻¹	
Avena-Coltura Pura	2,71	a
Avena-Consociazione	2,16	b

Le varianze “tra blocchi” e “tra sistemi colturali” sono risultate significative anche per la produzione di seme mostrata dalla vecchia comune, varietà Idice (Tabella 7). Relativamente alla vecchia, la produzione di seme ha mostrato una riduzione progressiva dal blocco4, situato a monte, al blocco1, situato nella zona più a valle del campo sperimentale, come indicato dall'andamento della significatività della differenza tra produzioni medie valutata mediante confronti multipli (test HSD, $\alpha = 0,05$). Inoltre, anche la vecchia in coltura pura ha presentato una produzione di seme significativamente più elevata della coltura consociata (Tabella 8).

Tabella 8. Analisi della Varianza (ANOVA) relativa alla produzione di seme della varietà Idice di vecchia comune in coltura pura e in consociazione con avena nuda.

Fonti di Variazione	df	SS	MS	F	P
Blocchi	3	0,011	0,004	52,75	**
Sistema Colturale	1	0,051	0,051	768	***
Residuo	3	0,000	0,000		

Tabella 9. Risultati dei confronti tra le medie relativi alla produzione di granella della varietà Idice di veccia.

A) Blocchi	Mg ha ⁻¹	
Blocco 4	0,44	a
Blocco 3	0,38	b
Blocco 2	0,37	bc
Blocco 1	0,34	c

B) Sistema Colturale	Mg ha ⁻¹	
Veccia- Coltura pura	0,46	a
Veccia- Consociazione	0,30	b

Land Equivalent Ratio (LER)

I risultati relativi alla produzione di seme delle 2 combinazioni tra cereale e leguminosa in coltura consociata hanno messo in evidenza che ciascuna specie in consociazione ha mostrato una produzione significativamente inferiore a quella mostrata in coltura pura. Questo risultato era atteso sia per la minore densità di semina di ciascuna specie in consociazione rispetto alla densità della coltura pura, sia per l'effetto della competizione tra specie che potrebbe generarsi nella coltura consociata.

Tabella 10. Risultati relativi all'indice LER calcolato per ciascuna combinazione di specie (cereale-leguminosa) prese in esame.

A) Consociazione frumento duro-favino

Frumento duro	Favino	LERfrum.	LERfav.	LERtotale
Achille	Chiaro di Torre Lama	0,68	0,49	1,18
Achille	Prothabat69	0,61	0,66	1,27
Maciste	Chiaro di Torre Lama	0,65	0,48	1,13
Maciste	Prothabat69	0,67	0,59	1,26

B) Consociazione avena nuda – veccia.

Avena nuda	Veccia comune	LERavena	LERveccia	LERtotale
Irina	Idice	0,80	0,65	1,45

Comunque, la valutazione della performance in coltura consociata non può essere effettuata prendendo in considerazione solo le produzioni delle singole specie. A tal fine deve essere utilizzato un indice che metta in relazione la performance della coltura consociata nel suo insieme con la performance delle colture pure delle specie inserite nella consociazione. Per questo scopo viene molto utilizzato l'indice denominato Land Equivalent Ratio, calcolato sia separatamente per ciascuna specie sia come indice globale riferito alla performance complessiva della consociazione rispetto alle colture pure.

Il calcolo dell'indice LER, riportato in Tabella 9, mostra chiaramente come tutte le combinazioni di colture consociate abbiano mostrato un LER_{totale} maggiore di 1. Per la consociazione frumento duro – favino sono stati ottenuti valori di LER_{totale} compresi tra 1,13 (Maciste-Chiaro di Torre Lama) e 1,27 (Achille – Prothabat69). La consociazione avena nuda – veccia ha mostrato un LER_{totale} di 1,45, valore più elevato di tutte le consociazioni tra frumento duro e favino.

L'indice LER_{totale} esprime l'efficienza d'uso del suolo. Ad esempio, considerando la consociazione Achille – Chiaro di Torre Lama (Tabella 9), un ettaro di coltura consociata è risultato corrispondere, in termini di produzione di granella, a 1,18 ettari di colture pure, di cui 0,68 ettari di frumento e 0,49 ettari di favino. Quindi, la coltura consociata ha mostrato un miglior utilizzo del suolo rispetto alle colture pure. Questo aspetto riveste notevole importanza in quanto la tecnica della consociazione tra cereali e leguminose potrebbe essere una strategia sia per applicare sistemi di agricoltura a minor impatto ambientale migliorando l'efficienza d'uso del suolo agrario.

DISCUSSIONE

La presente tesi ha preso in esame le potenzialità della consociazione tra cereali e leguminose come alternativa alla coltivazione di cereali e leguminose in coltura pura. La prova sperimentale effettuata è una prova pluriennale che ha come obiettivo principale la valutazione di rotazioni colturali basate su colture pure rispetto a rotazioni colturali basate sull'impiego delle stesse specie e varietà inserite come colture pure ma in consociazione. I risultati della presente tesi si riferiscono al primo anno di prova effettuato nel corso del 2022. La stessa prova verrà ripetuta nel 2023 rispettando la corretta successione delle colture definita dal protocollo sperimentale. Inoltre, la prova non ha previsto l'impiego di prodotti fitosanitari, tra cui in particolare erbicidi e fertilizzanti. Quindi i risultati ottenuti si riferiscono prevalentemente a sistemi di agricoltura biologica o convenzionale a bassi input.

La scelta delle specie utilizzate è da mettere in relazione sia con la loro importanza nell'ambito delle rotazioni attualmente messe in atto in agricoltura biologica da parte di aziende dell'Italia centrale. In particolare, il frumento duro è stato scelto vista la sua preponderante importanza nelle rotazioni, e questo cereale è stato associato ad una leguminosa quale il favino, anch'essa notevolmente diffusa in sistemi di agricoltura biologica. La consociazione frumento duro – favino è stata quindi inserita per valutare l'efficacia della coltivazione consociata rispetto alla classica coltivazione in coltura pura. In particolare, la varietà Achille era stata impiegata in prove precedenti ed aveva dimostrato una notevole attitudine alla consociazione con il favino.

I risultati sperimentali ottenuti con la presente tesi hanno confermato come la consociazione può effettivamente migliorare l'efficienza d'uso del suolo, in relazione alle corrispondenti colture pure del cereale e della leguminosa. L'indice LER_{totale}, infatti, è risultato sempre maggiore di 1, confermando che un ettaro di coltura consociata corrisponde ad una superficie maggiore di 1 ettaro di colture pure.

Inoltre, i risultati ottenuti hanno confermato l'ottima performance del frumento duro in consociazione con il favino. Infatti, il LER_{frumento} è sempre risultato maggiore del valore atteso (0,50) in base alla densità di semina del frumento in coltura consociata. Al contrario, il LER_{favino} è sempre risultato inferiore al valore atteso (0,65), tenendo comunque in

considerazione che la consociazione frumento-favino è stata eseguita utilizzando un disegno additivo, non sostitutivo. SI deve comunque notare che la varietà di favino Chiaro di Torre Lama ha mostrato con entrambe le varietà di frumento un LERfavino vicino a 0,50, mentre la varietà Prothabat69 ha mostrato un LERfavino medio di 0,63, molto prossimo al valore atteso (0,65). Questi risultati indicano che nel 2022 la performance del Prothabat69 in consociazione sia risultata migliore di quella mostrata dal Chiaro di Torre Lama. Complessivamente, il range dei valori di LERtotale (1,13-1,27) ha confermato l'interesse verso un approfondimento sulla valutazione dei vantaggi effettivi della consociazione frumento duro-favino rispetto alla coltivazione delle rispettive colture pure.

La seconda combinazione di colture, avena nuda e veccia, è stata scelta in quanto questa consociazione, destinata prevalentemente alla produzione di fieno o foraggio insilato, è ben nota alle aziende agrarie per l'elevata potenzialità produttiva e l'alto livello qualitativo del foraggio. A questo riguardo si deve considerare che le varietà di avena utilizzate hanno generalmente la cariosside vestita, caratteristica tipica della maggior parte delle varietà di avena attualmente coltivate. Questa caratteristica non è presa in considerazione se la destinazione finale è la produzione di foraggio. Si deve comunque notare che l'avena recentemente è stata fortemente rivalutata anche per l'alimentazione umana, utilizzando la granella ottenuta dopo decorticazione. A questo riguardo, attualmente sono disponibili sul mercato varietà di avena a seme "nudo" ossia che alla raccolta rilasciano la cariosside libera e non legata alle glumette. Questo consente di mantenere intatte le proprietà nutritive dell'avena evitando il trattamento di decorticazione. Per questi motivi, recentemente si sta diffondendo nella Regione Marche la coltivazione dell'avena "nuda". Quindi, nella prova sperimentale è stata inserita l'avena nuda in consociazione con la veccia comune, valutando questa consociazione sia come coltura foraggera (risultati non inclusi nella presente tesi) che come coltura destinata alla produzione di seme. Quindi, la consociazione avena nuda – veccia è stata valutata per la produzione di seme da destinare all'alimentazione umana (Avena sativa) e alla produzione di semente di veccia per ditte sementiere, viste le difficoltà legate alla produzione di seme da coltura pura di veccia. La veccia in coltura pura, infatti, è soggetta a forte allettamento al momento della maturazione del seme che ostacola notevolmente le operazioni di mietitrebbiatura. In presenza di avena, la veccia riesce a sfruttare la presenza dei cirri all'estremità delle foglie per legarsi agli steli dell'avena evitando o riducendo l'allettamento alla raccolta.

Il valore di LER_{totale} (1,45) ottenuto per la consociazione avena – veccia è sicuramente degno di notevole interesse. Infatti, sia l'avena (LER_{avena} = 0,80) sia la veccia (LER_{veccia} = 0,65) hanno mostrato valori di LER delle singole specie simili all'atteso in base alla densità delle due colture in consociazione, nonostante sia stato utilizzato un disegno additivo, non sostitutivo. Quindi questi risultati complessivamente hanno chiaramente indicato che la consociazione avena nuda – veccia, da destinare alla produzione di seme, è sicuramente di notevole interesse come alternativa alle colture pure.

In particolare, al momento della raccolta è stato possibile verificare in campo come la raccolta della veccia in coltura consociata sia stata notevolmente facilitata dalla presenza dell'avena rispetto alla raccolta della coltura pura.

CONCLUSIONI

Complessivamente, sulla base dei risultati ottenuti, è possibile confermare che la consociazione tra cereali e leguminose, sia da granella che foraggiere, è un approccio estremamente interessante come alternativa alla coltivazione delle singole colture pure. La presente tesi si è dedicata alla valutazione del primo anno di una prova sperimentale pluriennale in cui la rotazione tra frumento duro e favino e la rotazione tra Avena e veccia, come colture pure, verrà messa a confronto con la rotazione tra frumento duro-favino e avena-veccia, basata sull'alternanza delle colture consociate.

BIBLIOGRAFIA

- Bedoussac et al. (2015) Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming: 912-920
- Bhim B. Ghaley, H. Hauggaard-Nielsen, H. Høgh-Jensen & E. S. Jensen (2005). Intercropping of Wheat and Pea as Influenced by Nitrogen Fertilization:1-2
- Boudreau M.A., 2013: Diseases in intercropping systems. Annual review of phytopathology 51: 499-519
- Brooker et al., 2014. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *Resource-use efficiency in intercropping systems*: 109-111
- Cardinale BJ, Wright JP, Cadotte MW, Carroll IT, Hector A, Srivastava DS, Loreau M, Weis JJ. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 104: 18123–18128.
- Crepon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouee, B., Arese, P., Duc, G., 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crop Res.* 115, 329–339.
- Dati Eurostat 2018
- FAO (2010) The state of the food insecurity in the world. Addressing food insecurity in protracted crises. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- FAOstat, 2016. Statistics Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Gatel, F., 1994. Protein quality of legume seeds for non-ruminant animals: a literature review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 45, 317–348.
- Kanton RAL, Dennett MD. 2008. Radiation capture and use as affected by morphologically contrasting Maize/Pea in sole and intercropping. *West African Journal of Applied Ecology* 13:55–66.
- Knight, J.D., 2012. Frequency of field pea in rotations impacts biological nitrogen fixation. *Can. J. Plant Sci.* 92, 1005–1011

- Li L., Tilman D., Lambers H. and Zhang F.S., 2014: Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New phytologist* 203: 63-69.
- Magdalena Podgórska-Lesiak e Piotr Sobkowicz (2013) Prevention of pea lodging by intercropping barley with peas at different nitrogen fertilization levels: abstract
- Nalle, C.L., Ravindran, G., Ravindran, V., 2010. Influence of dehulling on the apparent metabolisable energy and ileal amino acid digestibility of grain legumes for broilers. *J. Sci. Food Agric.* 90, 1227–1231
- Tavoletti and Merletti (2022). A Comprehensive Approach to Evaluate Durum Wheat–Faba Bean Mixed Crop Performance: 1-2
- Van Gelder, J.W., Kammeraat, K., Kroes, H., 2008. Soy Consumption for Feed and Fuel in the European Union. *ProfundoEconomicResearch, Castricum*
- Watson et al. (2017) Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems: cap.4 Supporting and regulating services from grain legumes, 246-262
- Watson et al. (2017) Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems: cap 3 provisioning services from grain legumes in european agricultural systems, 239-246
- Westhoek, H., Rood, T., van de Berg, M., Janse, J., Nijdam, D., Reudink, M., Stehfest, E., 2011. The Protein Puzzle. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague
- White, G.A., Smith, L.A., Houdijk, J.G.M., Homer, D., Kyriazakis, I., Wiseman, J., 2015. Replacement of soya bean meal with peas and faba beans ingrowing/finishing pig diets: effect on performance, carcass composition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209, 202–210.
- Woyengo, T.A., Beltranena, E., Zijlstra, R.T., 2014. Nonruminant nutrition symposium: controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: a review. *J. Anim. Sci.* 92, 1293–1305
- Zander et al., 2016: Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: 1-2