

**RELAZIONE FINALE
UO2**

Titolo progetto	<i>PRO</i>teine per la <i>FIL</i>iera Avicola
------------------------	--

Titolo del WP o linea di ricerca	WP1 - Miglioramento genetico e confronto varietale delle specie di interesse mangimistico WP4 - Accettabilità da parte del consumatore e comunicazione dell'innovazione WP5 - Valutazione della sostenibilità delle filiere avicole
---	---

Acronimo	PRO.FIL.A
-----------------	------------------

Durata (mesi)	36	Report¹ Intermedio Finale X	Nota²
----------------------	-----------	---	-------------------------

UO 2	Nome e COGNOME	Raffaele Zanoli
	Qualifica	Professore ordinario
	Istituzione di appartenenza	D3A - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali
	Indirizzo	Via Breccie Bianche 60131 Ancona
	Tel/fax	071-2204929/071-2204474
	e-mail	zanoli@agrecon.univpm.it

WP1 (Miglioramento genetico e confronto varietale delle specie di interesse mangimistico)

1) Introduzione

L'approvvigionamento di mangimi biologici rappresenta una forte mancanza nella filiera avicola biologica. La pratica della consociazione: favorisce stabilità produttiva; fornisce servizi ecosistemici dovuti all'aumento della diversità vegetale in campo (aumento impollinatori, riduzione incidenza malattie & insetti dannosi); Sfrutta i meccanismi ecologici della facilitazione (e.g. supporto meccanico vs allettamento) & complementarità delle nicchie ecologiche (e.g. nutrizione vegetale). Quindi, ha un ruolo chiave nello sviluppo agroecologico sostenibile.

Nel corso dei tre anni di progetto, il team dell'UO2 (D3A-UNIVPM, sezione di Genetica agraria) si è posto l'obiettivo principale di definire strategie per la produzione di proteine vegetali ad uso zootecnico, attraverso l'identificazione di varietà, tra le specie di leguminose considerate idonee per la coltivazione biologica e interessanti per le caratteristiche qualitative del seme; l'individuazione di varietà che meglio si adattassero alla consociazione con il frumento tenero; e l'ottimizzazione del sistema di consociazione confrontando diverse pratiche colturali. Durante il primo anno, è stata condotta un'analisi della letteratura al fine di pianificare l'esperimento, di sviluppare il protocollo di fenotipizzazione e di impostare gli obiettivi sperimentali: la scelta delle specie (favino, pisello e lupino), il numero delle varietà per ogni specie (3), la località di sperimentazione, cioè l'azienda agricola Fileni (presso Falconara), le prove di confronto varietale (coltura pura (CP), consociazione (CONS), semina autunnale (SA), semina primaverile (SP)), la durata della sperimentazione (due anni, 1° e 2° anno del progetto). Tra gli obiettivi c'era anche quello di effettuare 4 prove all'anno A-CP, A-CONS, P-CP, P-CONS. Ogni prova prevedeva il confronto di tre varietà per ciascuna delle tre specie di leguminose in un esperimento a blocchi randomizzati con 2 repliche per ciascuna varietà, per un totale di 72 parcelle di dimensioni di 250 m². Non è stata somministrata alcuna fertilizzazione né trattamento, non è stato effettuato alcun controllo della flora infestante con la coltura in atto. Nel secondo semestre del primo anno è stata effettuata la semina autunnale. Il primo semestre del secondo anno è stata effettuata la semina primaverile, la fenotipizzazione e la raccolta dati agronomici derivanti dalle prove autunnali e primaverili, l'organizzazione delle operazioni di raccolta e delle analisi preliminari dati sperimentali. Nel secondo semestre del secondo anno è stata fatta la prima analisi dei dati per coltura. I dati non sono stati raccolti per il lupino poiché la densità all'epoca di raccolta non è stata in grado di giustificarne la raccolta. Dalle analisi è emerso che in generale per il favino l'effetto dell'epoca di semina si è rivelato essere più importante rispetto a quello del sistema di coltivazione. Diversamente dal favino, per il pisello l'effetto dell'epoca di semina è decisamente meno marcato, e risultava significativo solo per la fioritura per l'altezza della pianta e per la resa totale. L'effetto del sistema di coltivazione invece, ha mostrato un effetto marcato su quasi tutte le variabili misurate. In questa fase sono emersi alcuni ostacoli durante lo svolgimento della prova, che hanno comportato la messa in atto di cambiamenti al set-up sperimentale. Sono state mantenute le due epoche di semina, le specie testate sono diventate frumento tenero, favino e pisello, le varietà un totale di 12, con 2 di frumento tenero (una autunnale e una primaverile), 4+1 MIX varietale di pisello, 4+1 MIX varietale di favino e tre sistemi di coltivazione (consociato, coltura pura e mix intra-specifico). Per questioni di praticità aziendale, si è deciso di seminare 2 prove (una autunnale e una primaverile) di 21 parcelloni di 250 m² ciascuna, in un disegno completamente randomizzato con una sola replica, evidenziando 3 sub-plot di 1 m² all'interno di ogni parcellone. Nel primo semestre del terzo anno è stata fatta la semina primaverile seguendo i dettami del design sperimentale definito nel semestre precedente. Sono stati effettuati rilievi fenotipici periodici e le operazioni di raccolta della granella e dei campioni di biomassa secca delle colture e delle infestanti. Durante il 2° semestre del 3° anno sono stati ottenuti i dati di biomassa secca e componenti della produzione in post-raccolta. A seguito di una estensione della durata di progetto è stato previsto un ulteriore semestre in cui sono state concluse le fasi di separazione della granella, della pesatura e le analisi del contenuto proteico, rendendo possibile effettuare le analisi statistiche conclusive integrative di tutti i dati ottenuti nel corso del primo e secondo anno di sperimentazione. Queste, hanno evidenziato meccanismi di facilitazione indotti dalla consociazione, per entrambe le specie, e in termini di riduzione dell'allettamento e delle infestanti, quest'ultima soprattutto nel pisello consociato. In consociazione autunnale si manifesta il fenomeno dell'overyielding (resa consociazione > resa coltura pura), indipendentemente dalla specie, dalla varietà e dall'anno. Inoltre, una semina precoce (autunnale) in consociazione è da preferire a una semina tardiva in coltura pura: stessa produzione di legume + effetto dell'overyielding dato dal frumento. Il frumento, quando consociato con il favino, ha contenuto proteico maggiore rispetto a quando coltivato in purezza. In termini di resa proteica, il frumento consociato con il favino produce la stessa quantità di proteine (t/ha) rispetto a quando coltivato in purezza.

2) Materiali e metodi

a) Analisi della letteratura e sviluppo del protocollo di fenotipizzazione.

Durante il primo anno di progetto, è stata approfondita la letteratura scientifica al fine di sviluppare il protocollo di fenotipizzazione al fine di valutare diversi caratteri per caratterizzare le varietà testate in coltura pura e potenzialmente interessanti per lo studio della consociazione. I dati raccolti riguardano:

- **Fioritura**
Data di emissione del primo fiore: giorni dalla semina in cui il 10% di fiori è aperto
Data di piena fioritura: giorni dalla semina in cui il 50% di fiori è aperto
Data di allegazione del primo baccello: giorni dalla semina in cui il 10% dei baccelli risulta allegato
- **Caratteri architeturali**
Altezza pianta: misurata come la lunghezza del fusto dal suolo fino all'apice dello stelo (strecciando la pianta)
Altezza del primo baccello
Altezza della canopy: misurata come la distanza dal suolo alla parte più alta della pianta (senza strecciare la pianta)
- **Copertura del suolo**, valutata con una scala visiva come % di suolo coperto per ciascuna componente (leguminosa, frumento ed erbe infestanti)
- **Indice di allettamento**, in una scala da 1 a 5 valutando la percentuale di piante allettate nella parcella e anche con la seguente formula
$$\text{allettamento (\%)} = \left(\frac{\text{lunghezza stelo} - \text{altezza canopy}}{\text{lunghezza stelo}} \right) \times 100$$
- **Biomassa secca infestanti** (g/m²), separata manualmente da quella della/e coltura/e, raccolta a parte ed essiccata in stufa a 70°C per 48h
- **Biomassa secca della coltura** (g/m²)
- **Resa** (g/m²), del cereale e della leguminosa
- **Componenti della produzione** derivate, del cereale e della leguminosa: *peso 1000 semi* (sia leguminose che cereale), *numero di semi per baccello*, *numero di baccelli per m²*, *numero di semi per spiga*, *numero spighe per m²*.
- **Contenuto proteico** (%)

I caratteri architeturali, la copertura del suolo e l'indice di allettamento sono stati misurati in tre momenti del ciclo colturale: i) fioritura (T1), ii) massima lunghezza baccello e semi completamente formati (T2) e iii) maturazione agronomica (T3).

b) Disegno sperimentale, descrizione pedoclimatica del sito e tecnica agronomica.

Durante il secondo semestre del progetto, è stata sottoscritta la convenzione con la Società Agricola Biologica Fileni, e sono state effettuate riunioni on-line con lo staff dell'azienda per definire le attività di ricerca di pieno campo.

Nell'annata agraria 2020/2021 sono state impiantate 4 prove parallele: A-CP, A-CONS, P-CP e P-CONS [A, semina autunnale; P, semina primaverile; CP, coltura pura; CONS, consociazione]. In particolare, ogni prova prevede il confronto di tre varietà per ciascuna delle tre specie di leguminose in un esperimento a blocchi randomizzati con 2 repliche per ciascuna varietà, per un totale di 72 parcelle di dimensioni di 250 m² (Fig. 1; Tab. 1). In consociazione, la densità di semina adottata si riferisce al 75% della densità raccomandata (DR) per la leguminosa e al 25% della DR per il frumento tenero. La densità di semina (g/m²) è stata calcolata in base al peso di 1000 semi.

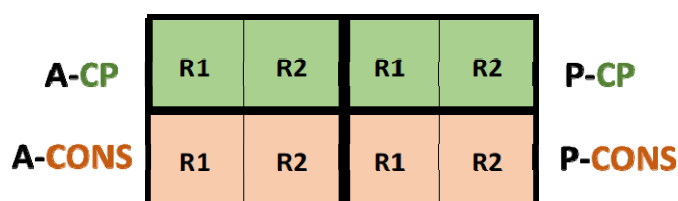


Figura 1 Disegno sperimentale

Tabella 1 Varietà utilizzate nell'esperimento

<i>Specie</i>	<i>Varietà</i>	<i>Azienda sementiera</i>	<i>Peso 1000 semi g</i>	<i>Densità di impianto CP semi germinati/m²</i>	<i>Densità di impianto CONS semi germinati/m²</i>	<i>Densità di semina CP g/m²</i>	<i>Densità di semina CONS g/m²</i>
Pisello	Astronaute	Agroservice	240	100	75	24	18
	Aviron	Agroservice	180			18	13,5
	Gsp1	Genetic Services (in corso di registrazione)	240			24	18
Favino	Chiaro di Torrelama	Agroservice	390	50	38	19,5	14,625
	Pumba	Agroservice (in corso di registrazione)	290			14,5	10,875
	IS-FAV19-1	Agroservice (in corso di registrazione)	570			28,5	21,375
Lupino bianco	Multitalia	Agroservice	380	40	30	15,2	11,4
	Tennis	Agroservice	320			12,8	9,6
	Lagopesole	Genetic Services	425			17	12,75
Frumento Tenero	Ilaria (s. autunnale)	Agroservice	42	-	100	-	4,2
	Eletta (s. primaverile)	Agroservice	45	-		-	4,5

Nel periodo di coltivazione (autunno-estate 2020/2021) sono emersi alcuni ostacoli durante lo svolgimento della prova, che hanno comportato la messa in atto di cambiamenti al set-up sperimentale. Gli ostacoli sono stati:

- 1) Scarso adattamento del lupino bianco all'ambiente della prova (vedi sezione 3) Risultati della ricerca, Risultati 1°anno di sperimentazione)
- 2) Impossibilità di reperire semente delle 3 varietà di lupino bianco (Lagopesole, Tennis, Multitalia) e di 1 varietà di pisello (GSP1) per seminare le prove 2021/2022, su tutto il territorio nazionale;
- 3) Necessità di rivedere il set-up sperimentale e la disposizione delle repliche per permettere lo svolgimento di una prova sperimentale con molte parcelle in una azienda con mezzi non idonei alle attività sperimentali (trattori e macchine molto grandi). Nell'autunno e primavera 2020/2021 sono state seminate 3 specie x 3 varietà x 2 epoche di semina x 2 cropping system x 2 repliche = 72 parcelloni da 200 m² .

Pertanto, nell'annata agraria 2021/2022, è stato necessario sostituire le tre varietà di lupino con 2 nuove varietà di pisello e 1 nuova varietà di favino. Inoltre, sono stati aggiunti al confronto 1 MIX costituito dalle 4 varietà di pisello in prova in parti uguali, 1 MIX costituito dalle 4 varietà di favino in prova in parti uguali, e le 2 varietà di frumento tenero usate per la consociazione sono state aggiunte per la coltivazione in purezza. Per un totale di:

- 2 epoche di semina
- 3 specie testate: frumento tenero, favino, pisello
- 12 varietà: 2 di frumento tenero (una autunnale e una primaverile), 4+1 MIX varietale di pisello, 4+1 MIX varietale di favino
- 3 cropping system: CONSOCIATO (IC), COLTURA PURA (SC), MIX INTRA-SPECIFICO (MIX, annidato all'interno della coltura pura)

Per questioni di praticità aziendale, si è deciso di seminare 2 prove (una autunnale e una primaverile) di 21 parcelloni di 250 m² ciascuna, in un disegno completamente randomizzato con una sola replica, evidenziando 3 sub-plot di 1 m² all'interno di ogni parcellone che fungano da repliche (all'interno dei quali verranno rilevati i dati agronomici). In Figura 2 e Tabella 2 sono riportati uno schema delle prove 2021/2022 e delle varietà utilizzate.

Tabella 2 Schema delle prove 2021/2022 e delle varietà utilizzate

Autunno							
Specie	Var	CropSyst	peso 1000 semi (g)	Densità di impianto SC semi germinati/m2	Densità di impianto IC semi germinati/m2	densità di semina SC g/m2	densità di semina IC g/m2
Frumento (aut)	Ilaria	SC/IC	42	400	100	16,8	4,2
	Astronauta	SC/IC	240			24	18
Pisello	Aviron	SC/IC	180			18	13,5
	Hardy	SC/IC	190	100	75	19	14,25
	Bluetooth	SC/IC	250			25	18,75
	MIX Pis	SC/IC	215			21,5	16,13
	Chiaro di Torrelama	SC/IC	390			19,5	14,82
Favino	Pumba	SC/IC	289			14,45	10,98
	IS-FAV19-1	SC/IC	569,8	50	38	28,49	21,65
	Corsaro	SC/IC	600			30	22,8
	MIX Fav	SC/IC	486,27			24,31	18,48
Primavera							
Specie	Var	CropSyst	peso 1000 semi (g)	Densità di impianto SC semi germinati/m2	Densità di impianto IC semi germinati/m2	densità di semina SC g/m2	densità di semina IC g/m2
Frumento (aut)	Ilaria	SC/IC	42	400	100	16,8	4,2
	Astronauta	SC/IC	240			24	18
Pisello	Aviron	SC/IC	180			18	13,5
	Hardy	SC/IC	190	100	75	19	14,25
	Bluetooth	SC/IC	250			25	18,75
	MIX Pis	SC/IC	215			21,5	16,13
	Chiaro di Torrelama	SC/IC	390			19,5	14,82
Favino	Pumba	SC/IC	289			14,45	10,98
	IS-FAV19-1	SC/IC	569,8	50	38	28,49	21,65
	Corsaro	SC/IC	600			30	22,8
	MIX Fav	SC/IC	486,27			24,31	18,48

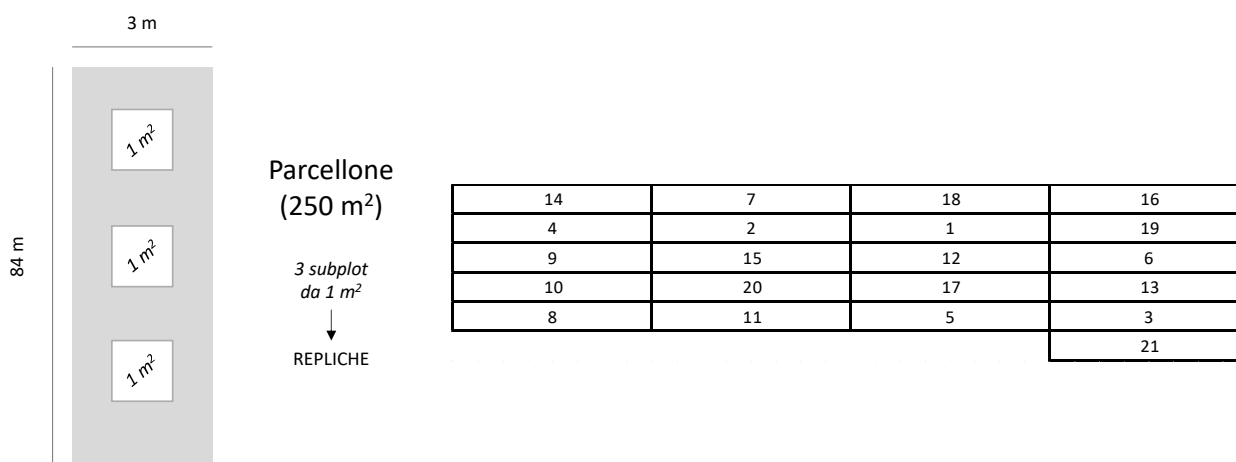


Figura 2 Schema delle prove 2021/2022

Entrambi gli anni, le prove sono state impiantate a Falconara (AN), presso i campi della Società Agricola Biologica Fileni, con cui è stata sottoscritta una convenzione. In Tabella 3 sono indicate le caratteristiche del suolo e in Figura 3 è riportato il grafico termopluviometrico delle stagioni di crescita. Il terreno è stato preparato per la semina con una leggera erpicatura, ripetuta al momento della semina, avvenuta con una seminatrice combinata con erpice a dischi. Le leguminose sono state inoculate con un inoculo commerciale complesso a base di micorrize e rizobi specifici. Non è stata somministrata alcuna fertilizzazione né trattamento, non è stato effettuato alcun controllo della flora infestante con la coltura in atto.

Tabella 3 Caratteristiche del suolo

<i>Analisi</i>	<i>Valore</i>	<i>U. di misura</i>	<i>Valutazione agronomica</i>
Tessitura:			
Sabbia	16	%	Medio impasto
Limo	48		
Argilla	36		
pH in acqua	7,6		Alcalino
Sostanza organica	2,58	% ss	Mediamente dotato
Carbonio organico	14,97	g/kg ss	
Fosforo assimilabile (P ₂ O ₅)	145	mg/kg	Alto
Potassio scambiabile (K ₂ O)	516	mg/kg	Alto

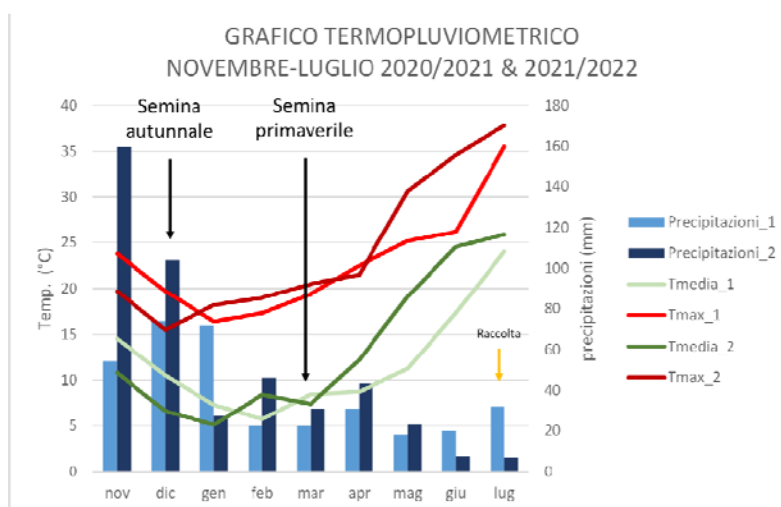


Figura 3 Grafico termopluviometrico; dati provenienti dalla stazione meteo aziendale

c) Analisi del contenuto proteico.

In base a risultati ottenuti da analisi statistiche sui dati di resa (vedi sezione 3) Risultati della ricerca, Risultati 1° anno di sperimentazione), è stato selezionato un subset di 51 campioni di granella (di favino, pisello, frumento rispettivamente consociato con le leguminose e coltivato in purezza) su cui effettuare le analisi del contenuto % sulla s.s. di carbonio, idrogeno e azoto (Analisi elementare, CHN/O). La selezione è stata effettuata accorpando le repliche per ciascuna tesi, per ottenere il dato finale di ogni genotipo in ogni Trattamento (Consociato/Coltura Pura) e in ogni Stagione (Aut_Anno1, Aut_Anno2, Prim_Anno1, Prim_Anno2). Questo è stato deciso al fine di avere una panoramica su come varia il contenuto proteico per singola specie. Infatti, i data points dei genotipi verranno usati poi come repliche nell'analisi statistica finale dei dati di contenuto proteico al variare dei fattori considerati, cioè Trattamento e Stagione.

Dopo il lavoro di selezione e accorpamento dei campioni (in totale 10 gr per tesi), la granella è stata ridotta in farina usando mortaio e azoto liquido (ultimo semestre del terzo anno). La farina è stata poi usata per l'analisi strumentale effettuata in collaborazione con il Laboratorio Biomasse dell'UNIVPM che possiede un analizzatore elementare (metodo ISO 16948). L'analizzatore utilizza un processo di combustione per gasificare le sostanze in composti semplici che sono poi misurati tramite gascromatografia. Il contenuto totale di Azoto sulla s.s. è convertito in contenuto proteico. In media, le proteine contengono il 16% di azoto, quindi il fattore di conversione è 6.25 quando si converte da azoto a proteine ($100/16 = 6.25$).

d) Analisi statistica dei dati

1° anno di sperimentazione → L'analisi dei dati è stata effettuata con un modello lineare generalizzato misto (GLMM) in ambiente JMP 16.2.0. Il modello statistico utilizzato considera come effetti fissi l'epoca di semina (S, "sowing season"), il sistema di coltivazione (CS, "cropping system") e la varietà (VAR, "variety"), mentre le repliche sono state inserite come effetto random annidato all'interno dell'epoca di semina. Quando le interazioni sono state significative, il test di Tukey Kramer è stato applicato alle "p differences" delle medie dei minimi quadrati (LSMEANS).

Analisi congiunta 1°-2° anno di sperimentazione → L'analisi dei dati delle due stagioni di crescita (2020/2021 e 2021/2022) è stata effettuata con un modello lineare generalizzato misto (GLMM) in ambiente R (versione 4.2.1).

Il modello è stato impostato per essere focalizzato sulla risposta specie-specifica delle colture a diversi ambienti, identificati come la combinazione tra la stagione di semina (autunno, A; primavera, S) e il sistema di coltivazione (intercropping, IC; pure stand, PS). Per questo motivo, le varietà sono state utilizzate come repliche biologiche della specie. Il modello considerato ha come effetti fissi: l'ambiente (ENV: Autumn Intercropping, A_IC; Autumn Sole Crop, A_SC; Spring Intercropping, S_IC; Spring Sole Crop, S_SC), le specie (SPP: Pea, Faba Bean) e il loro effetto di interazione ENV*SPP. L'effetto della varietà (VAR) è stato annidato all'interno della specie e impostato come fattore casuale. Le medie sono state confrontate con il test post-hoc Tukey utilizzando il pacchetto R emmeans, versione 1.7.5. La visualizzazione dei dati è stata effettuata utilizzando il pacchetto R ggplot2, versione 3.3.5.

Per i dati che riguardano il frumento, è stata condotta un'analisi separata a parte, con un modello differente. In dettaglio, per la produzione totale in IC (Cereale+Legume) comparata con la Produzione del Cereale in SC, un'analisi della varianza per campioni con differente sample size è stata corsa in R usando il pacchetto car. Il fattore oggetto di studio è stato il SYSTEM, derivante dalla combinazione di stagione di semina (autunno, A; primavera, S), il sistema di coltivazione (intercropping, IC; pure stand, PS) e la specie (Pea, P; Faba Bean, FB; Wheat, W). All'interno del fattore, sono stati quindi studiati 6 livelli: A_SC_W, S_SC_W, A_IC_FB, S_IC_FB, A_IC_P, S_IC_P. Per il contenuto proteico della granella di frumento, essendo stati analizzati solo campioni autunnali, il SYSTEM è stato identificato come in precedenza, escludendo la stagione di semina (autunno, A; primavera, S) dalla combinazione, risultando in: W_IC_FB, W_IC_P, W_SC

3) Risultati della ricerca

Risultati 1° anno di sperimentazione

Nel mese di luglio 2021, il **lupino bianco** ha mostrato una elevata mortalità delle piante dopo la fioritura, tali da ridurre moltissimo la densità di piante/m² che sono arrivate a raccolta, le quali non sono state in grado di competere con le infestanti (Fig. 4). Tali problematiche possono essere state dovute a un effetto combinato di scarso adattamento al nostro ambiente di coltivazione, identificabile sia in termini di suolo (pH) che di clima (sicchezza, temperature in fioritura), e al metodo di coltivazione biologico aziendale, dove la difesa dalle infestanti avviene esclusivamente a mezzo di operazioni meccaniche in pre-semina. Alla raccolta, la copertura del suolo per il lupino (L), sia autunnale che primaverile, è stata significativamente inferiore rispetto alle altre due specie (F, favino; P, pisello) (Fig. 5). Tale densità (<20%) non è stata in grado di giustificare la raccolta del lupino bianco.



Figura 4 A sinistra, parcella di lupino (semina autunnale) l'8 maggio 2021. A destra, parcella di lupino (semina autunnale) il 19 luglio 2021.

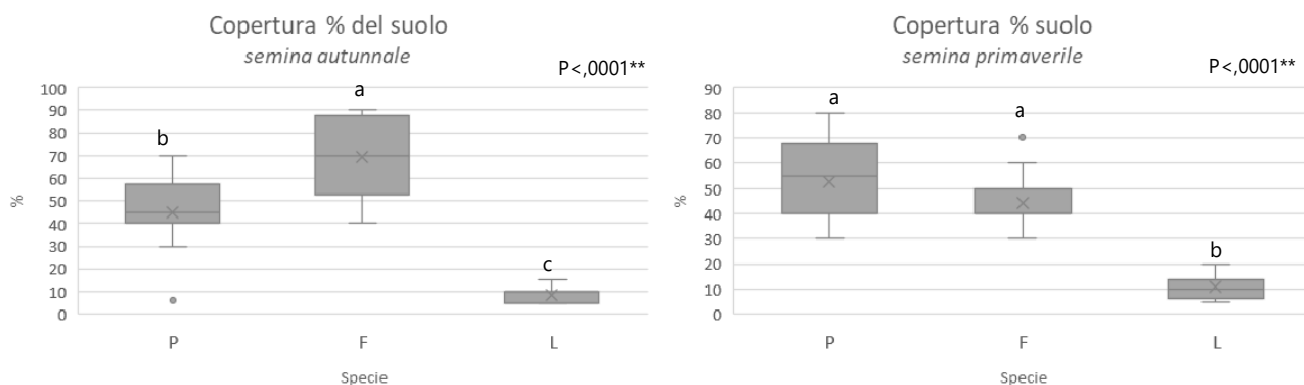


Figura 5 Copertura % del suolo alla raccolta per le tre specie di leguminose testate, in semina autunnale e primaverile. Per ogni specie, la copertura % del suolo è stata ottenuta mediando i valori rilevati per ogni varietà, in coltura pura e in consociazione. Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Favino: Risultati

I risultati dell'analisi statistica per il favino sono riportati in Tabella 4. L'epoca di semina e il sistema di coltivazione hanno mostrato un effetto marcato su quasi tutte le variabili misurate. L'effetto dell'epoca di semina si è rivelato essere più importante rispetto a quello del sistema di coltivazione. Si sono osservate differenze varietali per la fioritura, l'altezza della canopy, la resa e il peso dei 1000-semi. L'interazione SS x CS e SS x CS x VAR è risultata significativa esclusivamente per la fioritura, mentre l'interazione CS x VAR per l'altezza del primo baccello.

Tabella 4 Risultati dell'analisi statistica per il favino. I fattori sono l'epoca di semina (SS, "sowing season"), il sistema di coltivazione (CS, "cropping system") e la varietà (VAR, "variety"). I valori in grassetto sono significativi per $p < 0,05$.

	Fioritura (DAS)		Altezza pianta (cm)		Altezza canopy (cm)		Altezza primo baccello (cm)		Peso secco infestanti (g PS)		Resa LEG (g/m ²)		Resa TOT (g/m ²)		Peso 1000-semi (g)		N. baccelli/m ² (num.)	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Sowing Season (SS)	20306,25	<.0001*	97,05	0,0101*	188,95	0,0053*	36,61	0,0262*	4,11	0,18	28,97	0,0328*	46,44	0,0209*	2,02	0,29	24,53	0,0384*
Cropping System (CS)	18,95	0,0014*	3,87	0,08	32,74	0,0002*	2,94	0,12	12,05	0,0060*	26,75	0,0004*	3,91	0,08	5,76	0,0374*	19,05	0,0014*
SS×CS	8,42	0,0158*	1,15	0,31	0,24	0,63	0,00	0,95	1,82	0,21	0,15	0,70	2,08	0,18	1,05	0,33	0,01	0,91
Variety (VAR)	15,49	0,0009*	1,08	0,38	22,71	0,0002*	1,23	0,33	2,97	0,10	4,76	0,0352*	2,82	0,11	12,99	0,0017*	1,32	0,31
SS×VAR	1,28	0,32	0,82	0,47	0,48	0,63	0,61	0,56	0,20	0,83	3,00	0,10	1,99	0,19	1,37	0,30	0,13	0,88
CS×VAR	0,10	0,91	0,08	0,93	1,40	0,29	5,28	0,0272*	1,12	0,36	0,21	0,82	0,66	0,54	1,30	0,32	0,41	0,68
SS×CS×VAR	6,94	0,0129*	0,99	0,40	3,26	0,08	0,90	0,44	1,51	0,27	2,15	0,17	2,54	0,13	0,36	0,71	2,05	0,18

Le differenze osservate sulla fioritura (valutata in DAS, "days after sowing") sono per la maggior parte dovute all'epoca di semina (Tab. 4, Fig. 6a). Infatti, in primavera, il ciclo colturale del favino è decisamente ridotto, e quindi anche i giorni che intercorrono dalla semina alla fioritura (in media, 77,5 gg). Di conseguenza, in primavera non ci sono differenze osservate per i due sistemi di coltivazione (Fig. 6a). Invece, in autunno il favino coltivato in consociazione tende a essere più tardivo nella fioritura rispetto a quello in coltura pura (in media, 126,66 gg rispetto a 123,33 gg; Fig. 6a), ma solo per la varietà Chiaro di Torrelama si sono osservate differenze significative nei due sistemi di coltivazione (Fig. 6b).

Per quanto riguarda i caratteri architeturali, l'effetto dell'epoca di semina è risultato significativo per tutti i caratteri misurati nella fase di pre-raccolta (Fig. 7a). In particolare, in autunno si assiste a un maggiore sviluppo vegetativo delle piante, che si traduce in una maggiore altezza della pianta (mediamente, 101,61 cm in A e 78,97 cm in S) e della canopy (mediamente, 99,55 cm in A e 77 cm in S), e a una maggiore allegazione dei palchi basali, risultante in una minore altezza da terra del primo baccello allegato (mediamente, 36,21 cm in A e 48,08 cm in S). Sebbene non si osservi un effetto combinato dei fattori, l'altezza della canopy in consociazione (Fig. 7b) è inoltre risultata essere minore rispetto a quella in coltura pura e nella varietà Chiaro di Torrelama. Invece, l'altezza del primo baccello della varietà IS-FAV19-1 in consociazione è risultata maggiore rispetto a quella osservata in coltura pura (in media, rispettivamente 50,16 cm e 34,91 cm), dove si assiste a un'allegazione anche dei palchi più bassi (Fig. 7c).

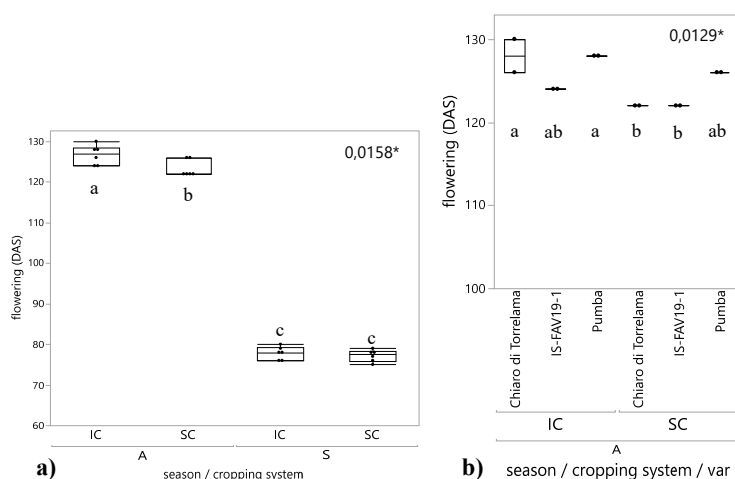


Figura 6 a) Fioritura in giorni dalla semina del favino rispetto all'epoca di semina (A, "autumn"; S, "spring") e al cropping system (IC, "intercropping"; SC, "sole crop") e b) rispetto a SS x CS x VAR. Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0,05$ HSD di Tukey).

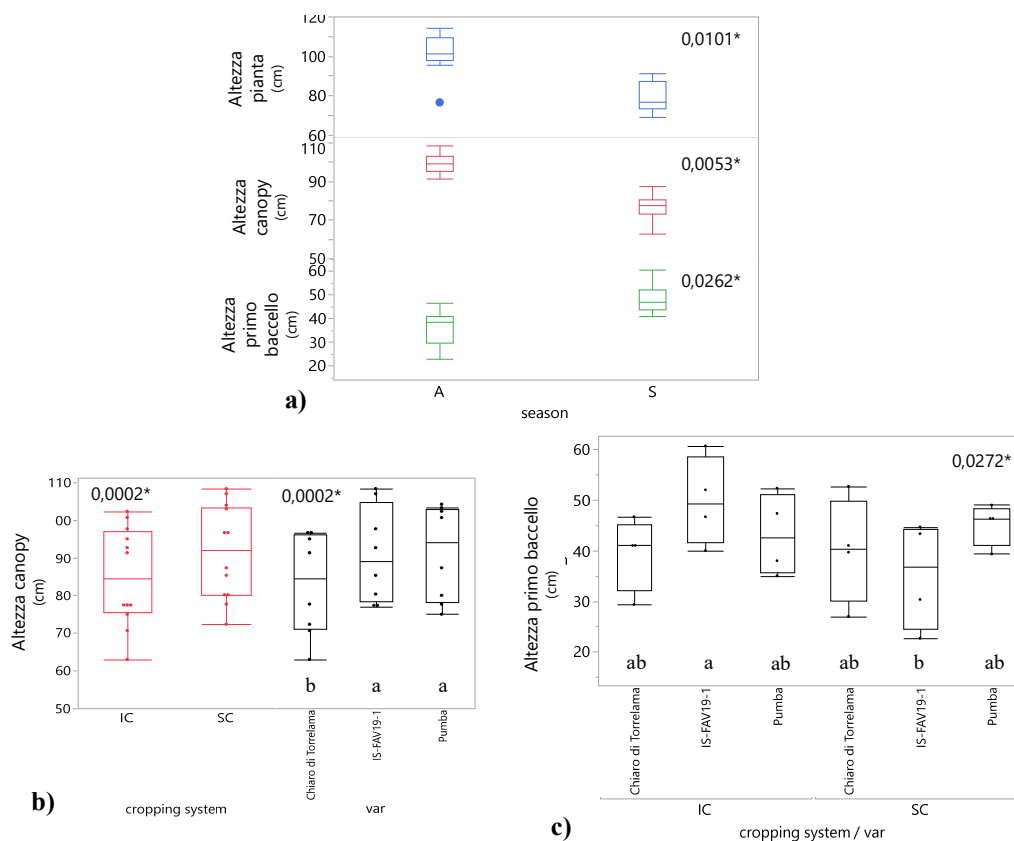


Figura 7 a) Caratteri architeturali misurati in pre-raccolta rispetto all'epoca di semina (A, “autumn”; S, “spring”); **b)** Altezza canopy (cm) rispetto a CS [sin] e VAR [dx]; **c)** Altezza primo baccello (cm) rispetto a CS x VAR. *Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).*

In consociazione, l'incidenza delle infestanti in termini di g di biomassa secca per m^2 è risultata significativamente minore (in media, 88,26 g rispetto a 275,63 g) (Fig. 8). Inoltre, è possibile notare la maggiore variabilità tra la presenza di infestanti in coltura pura (SC) rispetto a quella in consociazione (IC), rafforzando l'efficacia di questa pratica per contrastare le infestanti.

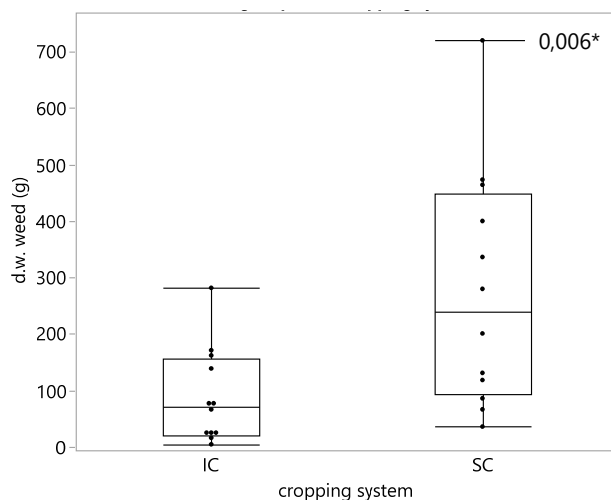


Figura 8 Peso secco (g) delle infestanti rispetto al cropping system (IC, “intercropping”; SC, “sole crop”).

La resa del favino (g/m^2) in semina autunnale è stata maggiore rispetto a quella primaverile (rispettivamente, 394,85 g e 168,66 g) (Fig. 9a), anche grazie a un maggior numero di baccelli prodotti per m^2 (Fig. 9b; rispettivamente 348 e 181). In consociazione (Fig. 9a-b), per unità di m^2 il favino ha prodotto meno che in coltura pura (rispettivamente, 244,80 g e 318,72 g), anche se bisogna tenere in considerazione che in

consociazione la densità di semina per m² della leguminosa è stata ridotta del 25% rispetto alla coltura pura per aggiungere la stessa quota di frumento tenero. Comunque, non sono state osservate differenze in termini di resa totale (LEG+CER) nei due sistemi di coltivazione (Tab. 4). La varietà più produttiva tra quelle testate è risultata essere IS-FAV19-1, con una resa di 312,85 g/m² (Fig. 9a). In termini di peso dei 1000-semi, differenze marcate sono state osservate a livello varietale (Fig. 10). Inoltre, la pratica della consociazione tende a far aumentare il peso dei 1000-semi del favino (in media, 364,14 g in IC contro 318,65 g in SC).

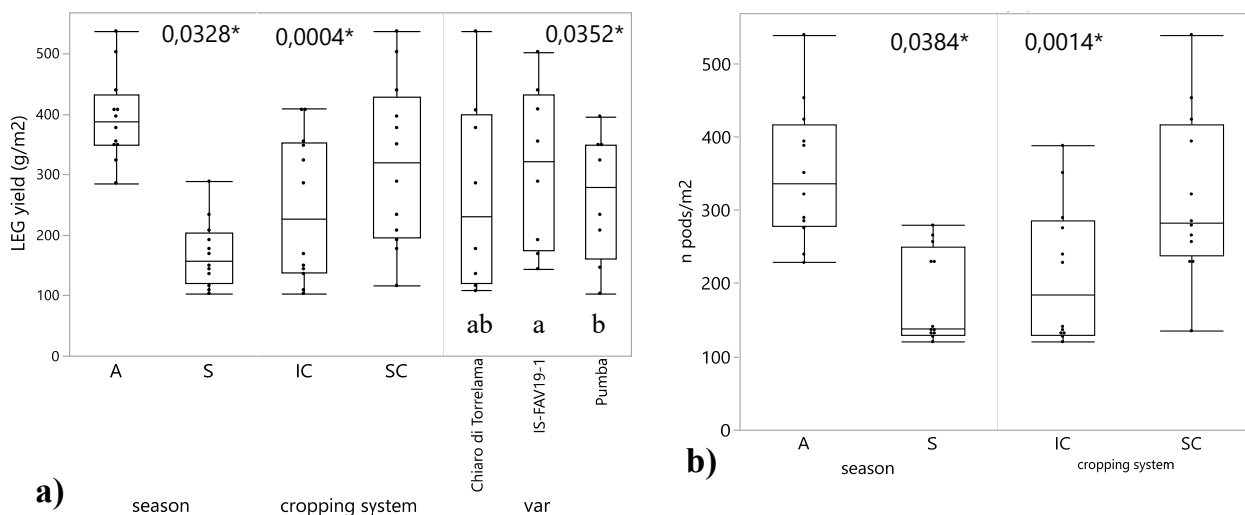


Figura 9 a) Resa della leguminosa (g/m²) rispetto a SS, CS & VAR; **b)** Numero baccelli per m² rispetto a SS & CS. Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

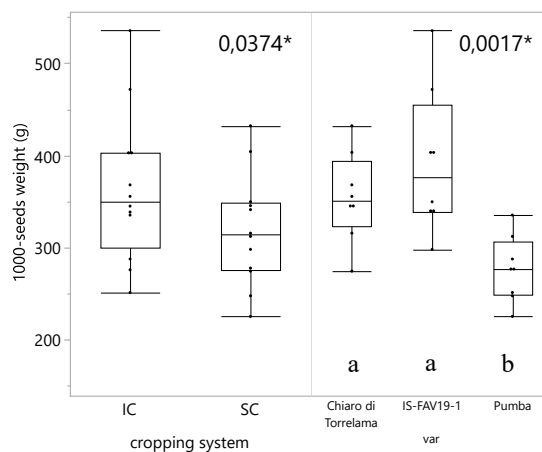


Figura 10 Peso dei 1000-semi rispetto a CS & VAR. Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Pisello: Risultati

I risultati dell'analisi statistica per il pisello sono riportati in Tabella 5. Diversamente dal favino, l'effetto dell'epoca di semina è decisamente meno marcato, e risulta significativo solo per la fioritura per l'altezza della pianta e per la resa totale (LEG+CER). L'effetto del sistema di coltivazione invece, ha mostrato un effetto marcato su quasi tutte le variabili misurate. Differenze varietali si sono osservate per la fioritura, l'altezza della pianta, della canopy e del primo baccello, peso 1000-semi e resa totale (LEG+CER). L'interazione SS x CS è risultata significativa per l'altezza della canopy e del primo baccello e per la resa totale (LEG+CER), SS x VAR per l'altezza della pianta e della canopy, CS x VAR per l'altezza della canopy. L'effetto combinato dei tre fattori (SS x CS x VAR) è apprezzabile solo per l'altezza della pianta.

Tabella 5 Risultati dell'analisi statistica per il pisello. I fattori sono l'epoca di semina (SS, "sowing season"), il sistema di coltivazione (CS, "cropping system") e la varietà (VAR, "variety"). I valori in grassetto sono significativi per $p < 0,05$.

	Fioritura		Altezza pianta		Altezza canopy		Altezza primo baccello		Peso secco infestanti		Resa LEG		Resa TOT		Peso 1000-semi		N. baccelli/m ²	
	(DAS)		(cm)		(cm)		(cm)		(g PS)		(g/m ²)		(g/m ²)		(g)		(num.)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Sowing Season (SS)	3086,63	0,0003*	34,46	0,0278*	0,79	0,47	2,66	0,24	0,32	0,63	5,94	0,14	259,11	0,0038*	0,13	0,75	8,00	0,11
Cropping System (CS)	0,04	0,85	16,20	0,0024*	16,07	0,0025*	34,47	0,0002*	18,93	0,0014*	15,46	0,0028*	2,06	0,18	1,20	0,30	27,44	0,0004*
SS×CS	0,04	0,85	0,38	0,55	14,81	0,0032*	8,30	0,0164*	0,48	0,51	0,22	0,65	12,26	0,0057*	0,42	0,53	0,74	0,41
Variety (VAR)	105,37	<0,0001*	71,88	<0,0001*	25,84	0,0001*	5,70	0,0223*	1,12	0,36	0,48	0,64	7,88	0,0088*	40,54	<0,0001*	0,81	0,47
SS×VAR	2,74	0,11	10,46	0,0035*	5,42	0,0254*	0,18	0,84	1,44	0,28	0,14	0,87	1,12	0,36	0,83	0,46	0,17	0,85
CS×VAR	1,13	0,36	3,91	0,06	10,23	0,0038*	2,64	0,12	0,92	0,43	0,88	0,44	0,41	0,67	1,51	0,27	0,44	0,65
SS×CS×VAR	0,69	0,52	9,72	0,0045*	2,73	0,11	0,31	0,74	0,26	0,78	1,06	0,38	3,37	0,08	0,76	0,49	1,33	0,31

La data di fioritura (in DAS, "days after sowing") è stata fortemente influenzata dall'epoca di semina (Tab. 5); in autunno la fioritura è avvenuta, in media, 129 gg dalla semina, mentre in primavera 73 gg (Fig. 11). Differenze di precocità si apprezzano tra le varietà testate (Fig. 11).

Per quanto riguarda i caratteri architeturali, l'effetto del cropping system è risultato significativo per tutti i caratteri misurati nella fase di pre-raccolta (Fig. 12a). Nonostante l'altezza della pianta sia risultata essere minore in IC che in SC (in media, rispettivamente 58,61 cm e 61,69 cm), la consociazione col frumento ha alzato la canopy del pisello grazie al suo effetto di sostegno meccanico fino a 53,91 cm in media (rispetto ai 47,00 cm in SC) (Fig. 12a). Questo effetto è stato significativamente apprezzabile in autunno piuttosto che in primavera (A_IC: 58,83 cm; A_SC: 45,27 cm; Fig. 13a) e nella varietà GSP1 (IC_GSP1: 51,25 cm; 33,75 cm; Fig. 13b). Infine, l'altezza da terra del primo baccello del pisello in consociazione è significativamente maggiore rispetto alla coltura pura (in media, 40,52 cm contro 27,11 cm), effetto probabilmente dovuto sia a una minore allegazione dei palchi basali sia all'innalzamento da terra della canopy (Fig. 12a). Questo effetto è stato significativamente apprezzabile in autunno (Fig. 13c).

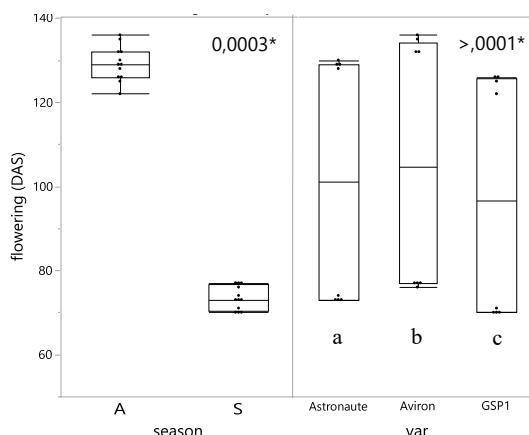


Figura 11 Fioritura in giorni dalla semina del pisello rispetto all'epoca di semina (A, "autumn"; S, "spring") e alla VAR. Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0,05$ HSD di Tukey).

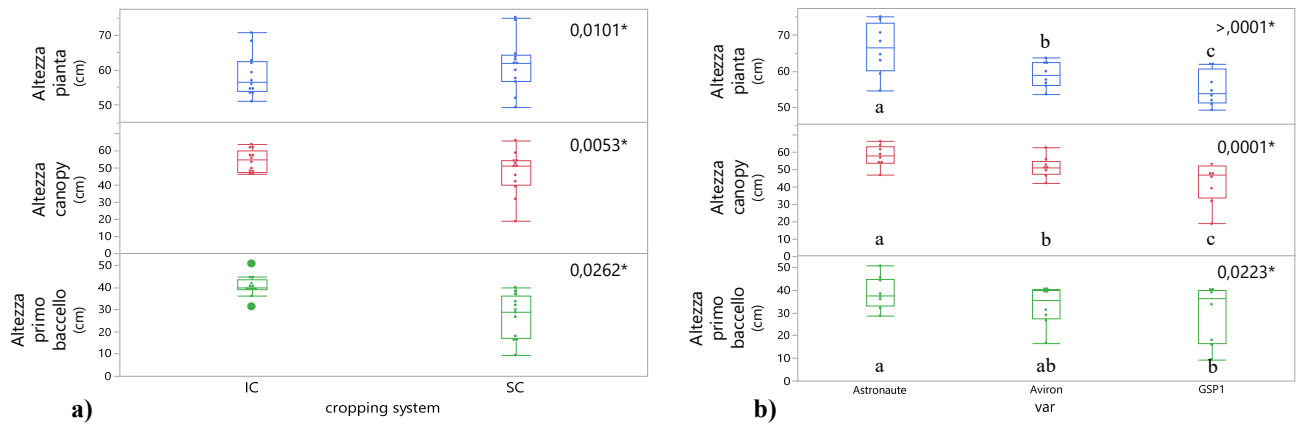


Figura 12 a) Caratteri architeturali misurati in pre-raccolta rispetto al sistema di coltivazione (IC, “intercropping”; SC, “sole crop”); **b)** Caratteri architeturali misurati in pre-raccolta rispetto alla VAR. *Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).*

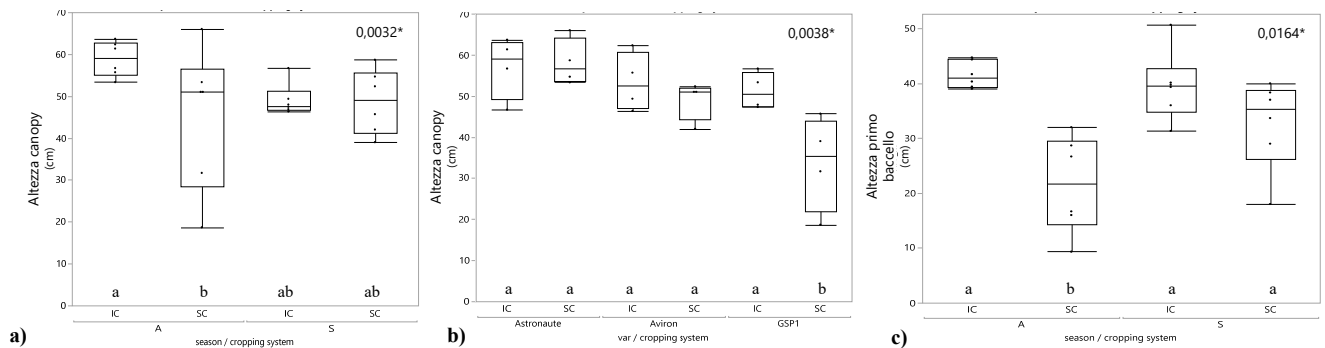


Figura 13 Altezza canopy (cm) rispetto a SS x CS (a) e CS x VAR (b); c) Altezza primo baccello rispetto a SS x VAR. *Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).*

Anche nel pisello in consociazione, l’incidenza delle infestanti in termini di g di biomassa secca per m² è risultata significativamente minore (in media, 84,70 g rispetto a 290,43 g) (Fig. 14).

La resa della sola leguminosa è minore in IC rispetto a SC (in media, rispettivamente 155,98 g/m² e 269, 25 g/m²) (Fig.15a), tuttavia in autunno la resa totale (PIS+FRU TENERO) è stata maggiore in consociazione (in media, 383,84 contro 312,63; Fig 15c). Tra le varietà testate, GSP1 è stata quella con resa totale più elevata (315,13 g/m²), seguita da Astronaute (278,70 g/m²) e Aviron (244,98 g/m²) (Fig. 15d).

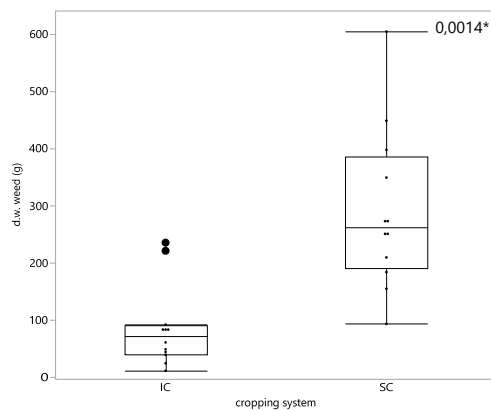


Figura 14 Peso secco (g) delle infestanti rispetto al cropping system (IC, “intercropping”; SC, “sole crop”).

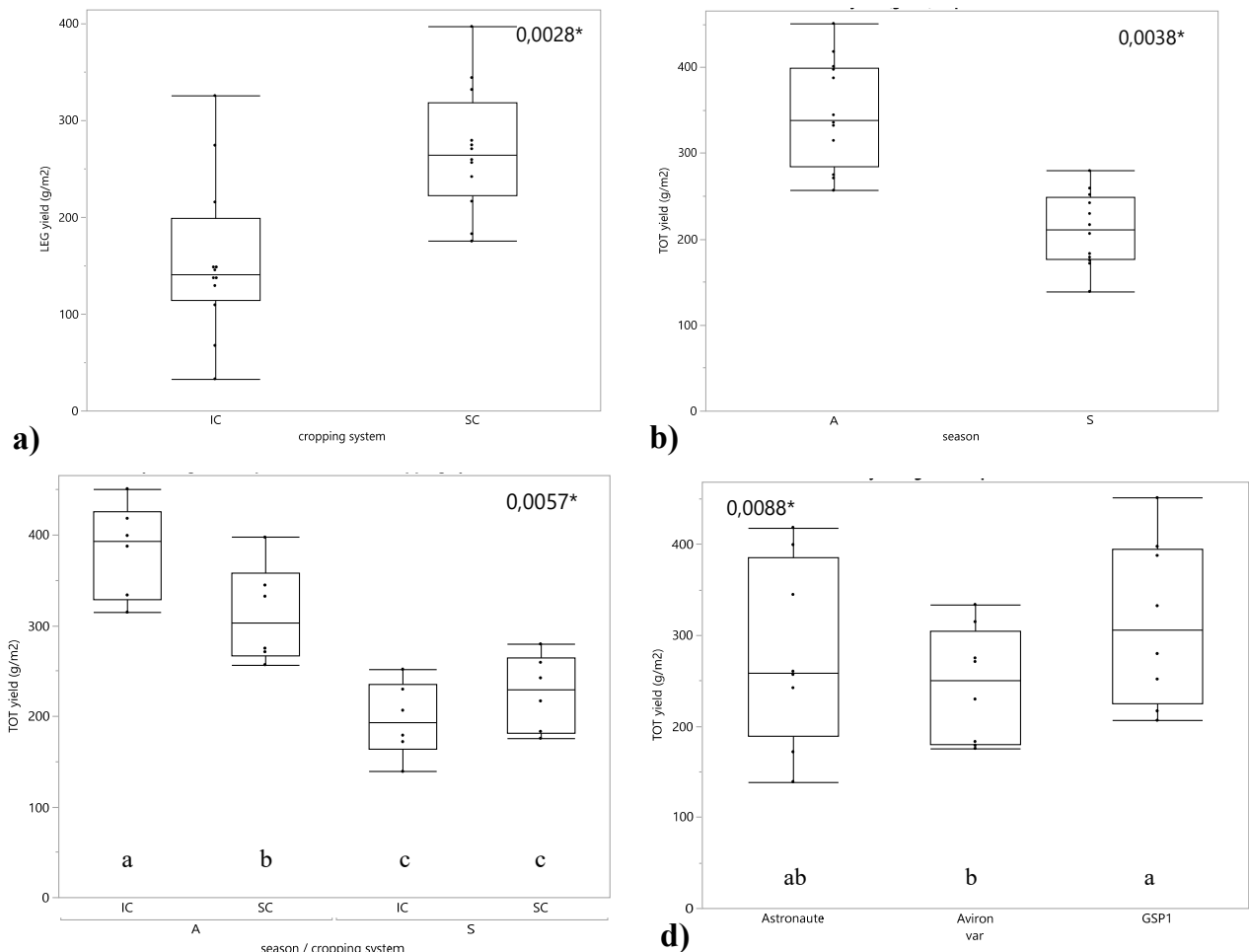


Figura 15 a) Resa della leguminosa (g/m²) rispetto a CS; Resa totale (LEG+CER) (g/m²) rispetto a SS (b), SS x CS (c) e VAR (d). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Risultati 1°-2°anno di sperimentazione

I risultati dell'analisi statistica sono riportati in Tabella 6.

Tabella 6 Risultati dell'analisi statistica per il 1° e il 2°anno di sperimentazione. I fattori sono : l'ambiente (ENV: Autumn Intercropping, A_IC; Autumn Sole Crop, A_SC; Spring Intercropping, S_IC; Spring Sole Crop, S_SC), le specie (SPP: Pea, Faba Bean) e il loro effetto di interazione ENV*SPP. L'effetto della varietà (VAR) è stato annidato all'interno della specie e impostato come fattore casuale. I valori in grassetto sono significativi per $p < 0,05$.

	Plant height (cm)		First pod height (cm)		Lodging (%)		Dry biomass weeds (g/m ²)		Legume grain yield (g/m ²)		Legume grain yield (g/m ²) <i>SC yield reduced at 70% of the total density</i>		Total grain yield (g/m ²)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
ENV	103.9044	<.0001	203.3648	<.0001	7.09596	0.0002	16.23848	<.0001	28.41208	<.0001	14.2485	<.0001	22.85969	<.0001
SPP	72.78139	0.0743	10.08653	<.0001	5.15848	0.264	1.43688	0.4426	5.61355	0.2543	5.93334	0.248	7.88162	0.2178
ENV:SPP	18.48066	<.0001	1.461	0.44	2.37063	0.0739	7.36553	0.0001	2.44811	0.067	5.61779	0.0012	2.15765	0.0966

Caratteri morfo - architeturali

In generale, l'altezza delle pianta, considerando entrambe le specie, è risultata maggiore in autunno che in primavera. Il favino però, in IC autunnale ha prodotto piante significativamente più piccole che in SC (122.48 vs 111.92, rispettivamente) (Fig. 16a). L'altezza del primo baccello alla maturazione è risultata minore in autunno in SC (30.41 cm dal suolo), con valori che vanno gradualmente ad aumentare negli altri ambienti testati (A_IC: 34.40 CM, P_SC: 35.92 CM, P_IC: 37.6 cm) (Fig. 16b).

L'innalzamento del primo baccello ha due implicazioni : da un lato aumenta l'efficienza meccanica alla raccolta, dall'altro, se consideriamo le dinamiche della produzione, significa una perdita di produzione nei palchi più bassi.

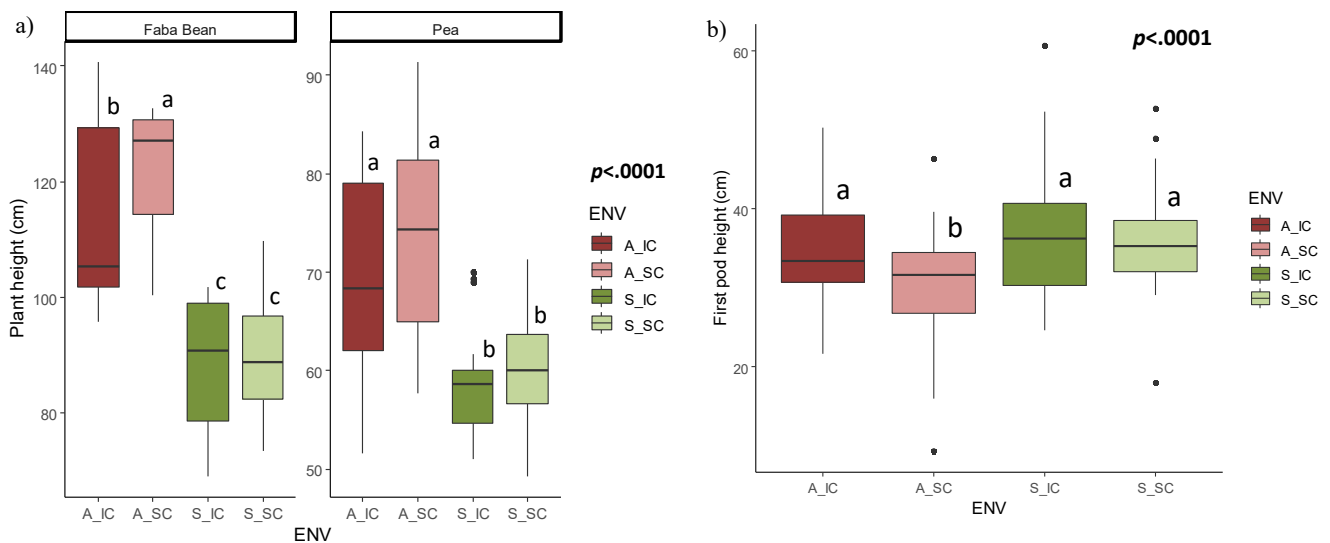


Figura 16 a) Altezza della pianta alla maturazione fisiologica rispetto all' AMBIENTE x SPECIE (ENV x SPP); b) Altezza del primo baccello alla maturazione fisiologica rispetto all' AMBIENTE (ENV). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Meccanismi di FACILITAZIONE indotti dalla consociazione

Indipendentemente dalle specie oggetto di studio, nella consociazione autunnale l'allettamento è stato praticamente dimezzato rispetto agli altri ambienti, passando da valori del 6.14% (A_IC) a valori di 10.29% (A_SC). L'effetto della consociazione sulla riduzione dell'allettamento è stato osservato solo in autunno e non in primavera (Fig.17a). L'effetto della biomassa secca delle infestanti è risultato significativo per il **pisello** coltivato in consociazione autunnale (71.11 g vs 252.63g della consociazione primaverile), mentre nessun effetto è stato osservato per il favino (la cui taglia alta compete naturalmente meglio con le infestanti rispetto al pisello). In primavera, non si sono osservate differenze tra i sistemi di coltivazioni per entrambe le specie, sebbene nel pisello primaverile la media della biomassa delle infestanti fosse comunque decisamente minore in consociazione (185.81 g) che in coltura pura (261.23 g) (Fig.17b).

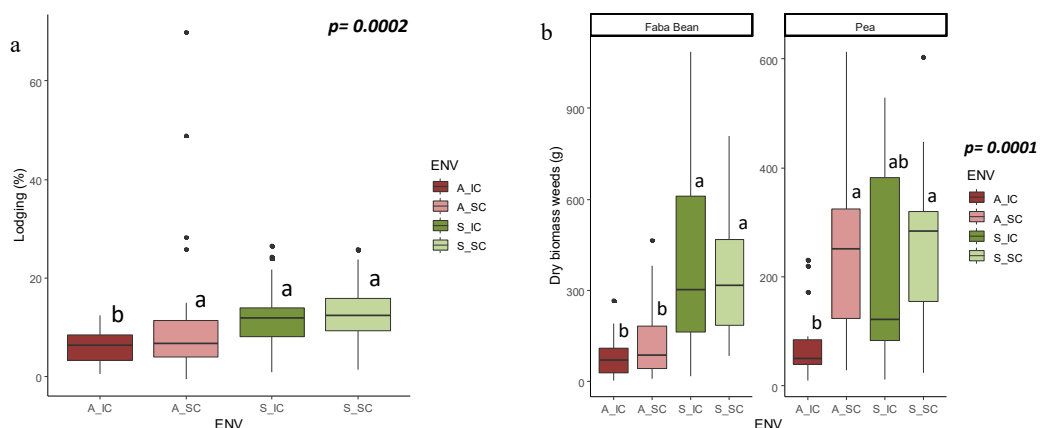


Figura 17 a) Allettamento (%) rispetto all' AMBIENTE (ENV); b) Biomassa secca delle infestanti al m2 (g) rispetto all' AMBIENTE x SPECIE (ENV x SPP). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Produzione

In termini di resa FRAZIONATA, sebbene in Autunno la resa in granella della sola componente Leguminosa in coltura pura sia maggiore che in consociazione – indipendentemente dalla coltura considerata (3.85 vs 2.95 t/ha), è interessante notare che la resa ottenuta in primavera dalla coltura pura non è significativamente differente da quella ottenuta in autunno dal legume consociato (3.14 vs 3.86 t/ha), quest'ultimo seminato al 75% della densità, utilizzando perciò il 25 % in meno della semente (Fig. 18a). In termini di resa TOTALE (considerando anche la frazione del Cereale, dove si ha IC), in Autunno, la consociazione produce più granella (4.57 vs 3.85 t/ha). Questo effetto di overyielding, non si osserva in Primavera, dove le rese tra i due sistemi colturali di equivalgono statisticamente (3.03 t/ha in S_IC vs 2.99 t/ha in S_SC) (Fig. 18b).

Concludendo, in consociazione autunnale si manifesta il fenomeno dell'overyielding ($resa_{ic} > resa_{sc}$),

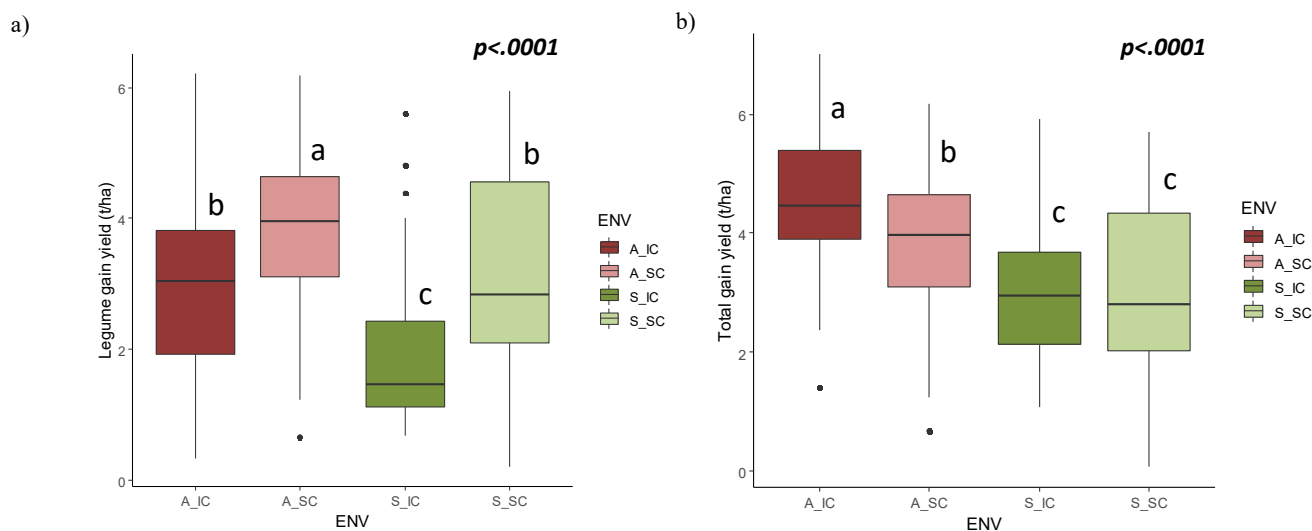


Figura 18 a) Resa in granella del LEGUME rispetto all' AMBIENTE (ENV); Resa in granella TOTALE (CEREALE + LEGUME in IC vs solo LEGUME in SC) rispetto all' AMBIENTE (ENV). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

indipendentemente dalla specie, dalla varietà e dall'anno. Inoltre, una semina precoce (autunnale) in consociazione è da preferire a una semina tardiva in coltura pura: stessa produzione di legume + effetto dell'overyielding dato dal frumento.

Produzione: effetto compensativo del legume in consociazione

Se consideriamo le rese del legume in coltura pura ridotte del 25%, non osserviamo differenze tra le rese in consociazione e in coltura pura della sola componente leguminosa, sia in autunno che in primavera (Fig. 19a). Se consideriamo l'effetto dell'interazione AMB X SSP, si osserva un certo effetto compensativo del favino in IC, che produce 4.02 t/ha rispetto alle 3.20 t/ha in coltura pura, con un **incremento di resa del 25.6 %**. Per il pisello invece, non si osserva nessun effetto compensativo, ma neanche un effetto significativo di competizione (1.89 t/ha in A_IC vs 2.19 t/ha in A_SC) (Fig. 19b).

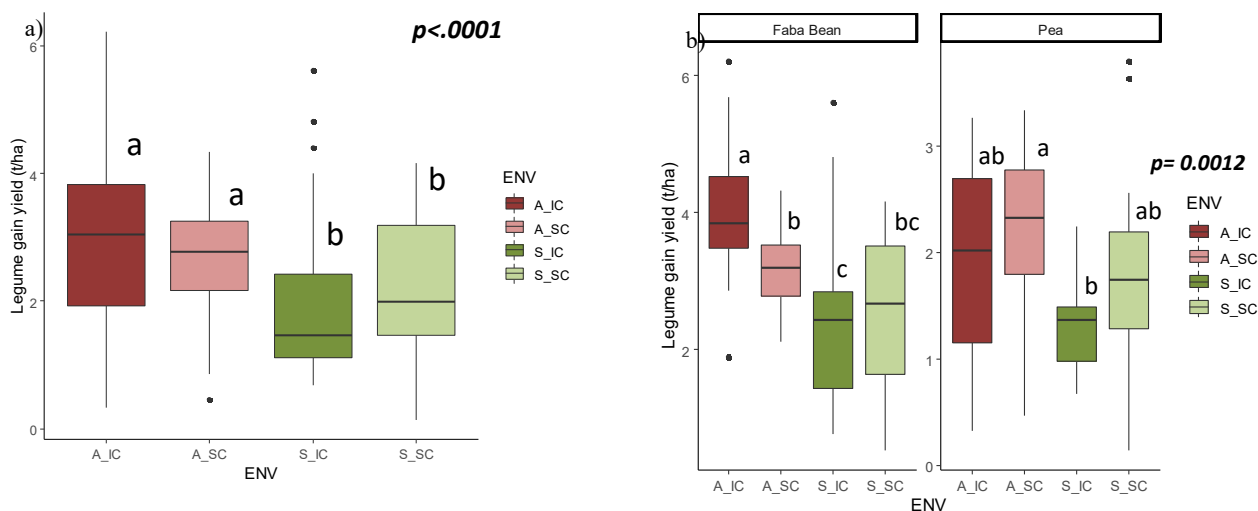


Figura 19 a) Resa in granella del LEGUME rispetto all' AMBIENTE (ENV); Resa in granella TOTALE (CEREALE + LEGUME) rispetto all' AMBIENTE x SPECIE (ENV x SPP). LA resa del LEGUME in SC ridotta al 75% della densità di semina totale (normalizzata). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Produzione Totale in IC (Cereale+Legume) comparata con la Produzione del Cereale in SC

Confrontando la resa totale in consociazione (cereale + legume) comparata con la produzione del frumento tenero in coltura pura, emergono differenze significative tra i trattamenti rispetto al sistema di coltivazione utilizzato ($p < 3.845e-13$). In particolare, il frumento in coltura pura ha la resa in granella maggiore, mentre la resa del frumento puro in semina primaverile non è significativamente diversa dalla resa totale quando consideriamo tutti gli altri sistemi di coltivazione (A_IC_FB, S_IC_FB, A_IC_P, S_IC_P), anche se è interessante notare che in autunno la consociazione Favino+Frumento produce il 24.04% in più rispetto alla consociazione Pisello+Frumento (Fig. 20a). Se consideriamo la resa della sola componente cereale in SC e IC, le rese autunnali e primaverili sono entrambe significativamente maggiori delle rese ottenute in IC, dove il frumento è stato seminato al 25% della densità raccomandata (circa 100 semi germinati al m^2).

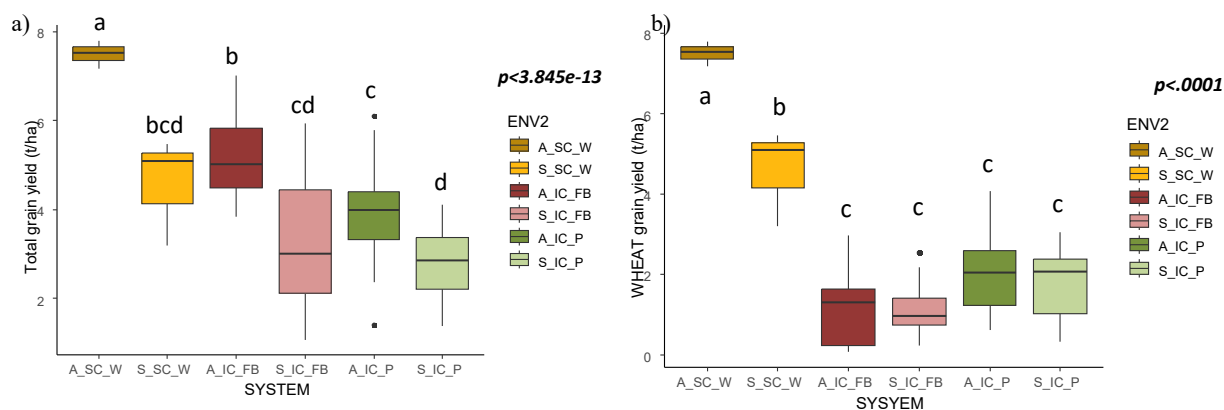


Figura 20 a) Resa in granella Totale in IC (Cereale+Legume) comparata con la Produzione del Cereale in SC rispetto al SISTEMA DI COLTIVAZIONE (SYSTEM); b) Resa in granella del CEREALE in IC vs CEREALE in SC rispetto all' SISTEMA DI COLTIVAZIONE (SYSTEM). Lettere diverse sono significativamente diverse ($p < 0.05$ HSD di Tukey).

Contenuto proteico

Legumi → La maggiore differenza in termini di contenuto proteico dipende dalla specie. Infatti, il contenuto proteico del favino risulta mediamente più elevato del pisello (26.6-27% vs 19-21%; $p < 0.0001$) (Fig. 21a). In termini di resa proteica (cereale+leguminosa) invece, entro specie, non ci sono differenze tra coltura pura e consociata, anche se, nel favino, la maggiore varianza osservabile in consociazione potrebbe nascondere

l'effetto di alcune varietà che combinate con il frumento potrebbero avere resa proteica maggiore in IC (Fig. 21b).

Cereale → Il frumento, quando consociato con il favino, ha contenuto proteico maggiore rispetto a quando coltivato in purezza (rispettivamente, 16.7 vs 13.5%; $p < 0.0057$ (Fig. 21c). In termini di resa proteica (quindi la resa proteica data dalla somma della resa proteica del cereale e del legume), il frumento consociato con il favino produce più proteine rispetto a quando coltivato in purezza (anche se non statisticamente significativo) o in consociazione con il pisello, e cioè rispettivamente, 1.275 t/ha (frumento+favino), 1.01 t/ha (frumento in coltura pura), 0.652 t/ha (frumento+pisello) (Fig. 21d).

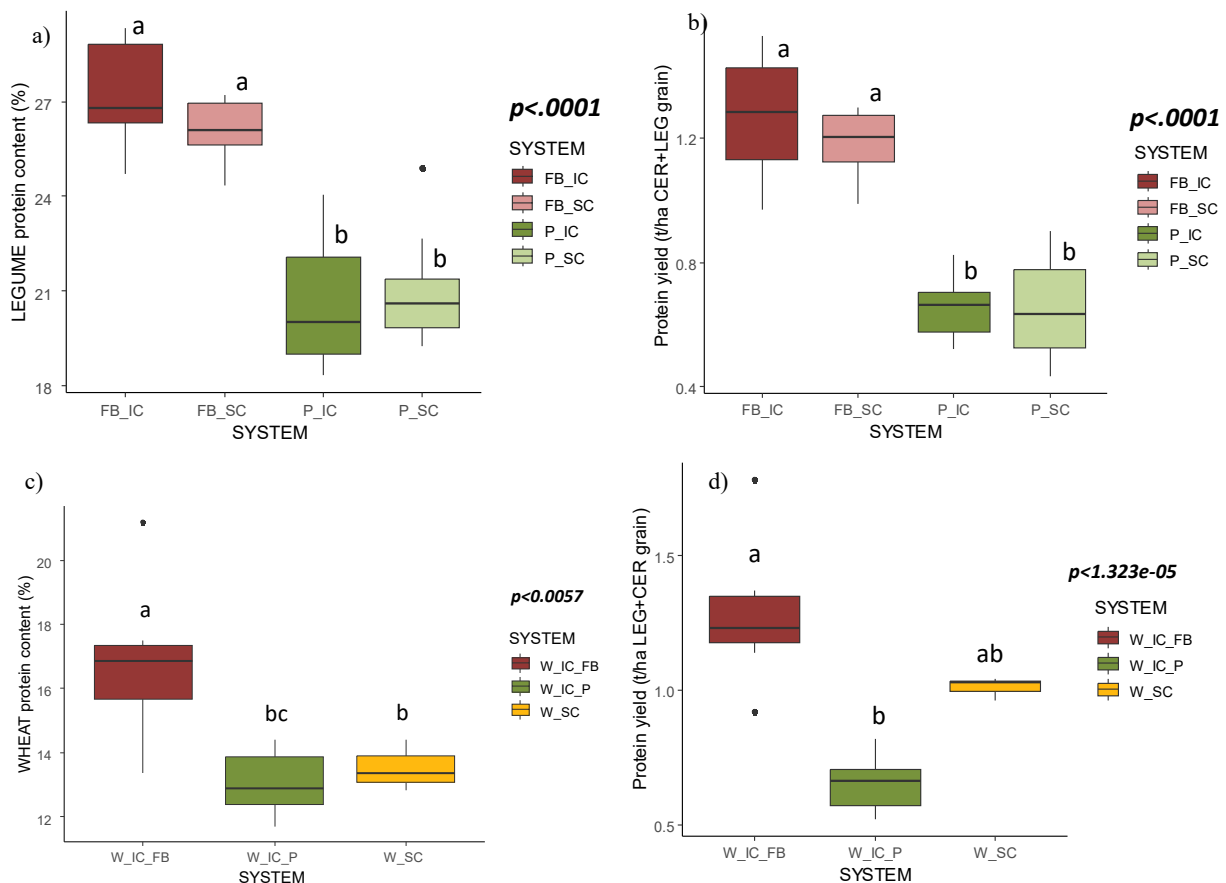


Figura 21 a) Contenuto proteico % dei legumi rispetto al SISTEMA DI COLTIVAZIONE (SYSTEM); Resa proteica c) Contenuto proteico % del cereale rispetto al SISTEMA DI COLTIVAZIONE (SYSTEM);

3) Conclusioni

- Consociazione e semina primaverile alzano l'altezza del primo baccello da terra, probabilmente impattando la produzione finale riducendo la fertilità dei primi palchi basali, ma anche favorendo le operazioni di raccolta.
- In autunno, la consociazione riduce l'allettamento e la biomassa delle infestanti (effetto di **FACILITAZIONE**), che si riscontra anche in termini di rotazione culturale con una riduzione della banca del seme del terreno.
- In autunno, in consociazione si manifesta il fenomeno dell'**OVERYIELDING** = **resa_IC** (CER+LEG) > **resa_SC** (LEG).
- La semina precoce (autunnale) in consociazione è da preferire a una semina tardiva (primaverile) in coltura pura: **stessa produzione di legume + effetto dell'overyielding dato dal frumento + risparmio del 25% di semente.**

FAVINO

- La consociazione autunnale riduce taglia del favino.
- **Probabile** effetto compensativo in IC AUTUNNALE, con un **incremento di resa del 25.6 %** rispetto alla resa del legume in SC ridotta al 75% della densità di semina totale (normalizzata) (da confermare con ulteriori esperimenti).
- Il frumento, quando consociato con il favino, ha contenuto proteico maggiore rispetto a quando coltivato in purezza. In termini di resa proteica, il frumento consociato con il favino produce la stessa quantità di proteine (t/ha) rispetto a quando coltivato in purezza.

PISELLO

- Non si osserva nessun effetto compensativo, ma neanche un effetto significativo di competizione.
- La consociazione riduce significativamente la biomassa delle infestanti per m² (effetto di **FACILITAZIONE**).

5) Bibliografia consultata

- Annicchiarico, Paolo, et al. "Do we need specific breeding for legume-based mixtures?." *Advances in Agronomy* 157 (2019): 141-215.
- Baron, Etienne, et al. "The genetics of intra-and interspecific competitive response and effect in a local population of an annual plant species." *Functional Ecology* 29.10 (2015): 1361-1370.
- Barot, Sébastien, et al. "Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review." *Agronomy for sustainable development* 37.2 (2017): 13.
- Bedoussac, Laurent, et al. "Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review." *Agronomy for sustainable development* 35.3 (2015): 911-935.
- Brooker, Rob W., et al. "Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future." *Journal of ecology* 96.1 (2008): 18-34.
- Brooker, Rob W., et al. "Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology." *New Phytologist* 206.1 (2015): 107-117.
- FAO. 2017. *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Rome
- Forst, Emma, et al. "A generalized statistical framework to assess mixing ability from incomplete mixing designs using binary or higher order variety mixtures and application to wheat." *Field Crops Research* 242 (2019): 107571.
- Gaudio, Noémie, et al. "Current knowledge and future research opportunities for modeling annual crop mixtures. A review." *Agronomy for Sustainable Development* 39.2 (2019): 1-20.
- Jensen, Erik Steen, et al. "Enhancing yields in organic crop production by eco-functional intensification." *Sustainable Agricultural Research* 4.3 (2015): 42-50.
- Li, Chunjie, et al. "Shift from complementarity to facilitation on P uptake by intercropped wheat neighboring with faba bean when available soil P is depleted." *Scientific reports* 6.1 (2016): 1-8.
- Li, Long, et al. "Plant diversity andoveryielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture." *New phytologist* 203.1 (2014): 63-69.
- Lithourgidis, A. S., et al. "Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture." *Australian journal of crop science* 5.4 (2011): 396.
- Litrico, Isabelle, and Cyrille Violle. "Diversity in plant breeding: a new conceptual framework." *Trends in plant science* 20.10 (2015): 604-613.
- Loïc, Viguier, et al. "Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops." *Agronomy for Sustainable Development* 38.4 (2018): 1-12.
- Malézieux, Eric, et al. "Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: a review." *Sustainable agriculture* (2009): 329-353.
- Nicotra, Adrienne B., et al. "Plant phenotypic plasticity in a changing climate." *Trends in plant science* 15.12 (2010): 684-692.
- Postma, Johannes A., and Jonathan P. Lynch. "Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures." *Annals of botany* 110.2 (2012): 521-534.
- Raseduzzaman, M. D., and Erik Steen Jensen. "Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis." *European Journal of Agronomy* 91 (2017): 25-33.

- Renard, Delphine, and David Tilman. "National food production stabilized by crop diversity." *Nature* 571.7764 (2019): 257-260.
- RW, Willey. "Intercropping-its importance and research needs, Part1: Competition and yield advantages." *Field Crop Abstracts*. Vol. 32. No. 1. 1979.
- Schmidtke, Knut, et al. "Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) as monocrops and intercrops." *Field Crops Research* 87.2-3 (2004): 245-256.
- Subrahmaniam, Harihar Jaishree, et al. "The genetics underlying natural variation of plant–plant interactions, a beloved but forgotten member of the family of biotic interactions." *The Plant Journal* 93.4 (2018): 747-770.
- Xiong, Hongchun, et al. "Molecular evidence for phytosiderophore-induced improvement of iron nutrition of peanut intercropped with maize in calcareous soil." *Plant, Cell & Environment* 36.10 (2013): 1888-1902.

WP4 (Accettabilità da parte del consumatore e comunicazione dell'innovazione)

Le attività del WP4 sono state eseguite in collaborazione con l'UO1 di Napoli (capofila del Work Package 4). Per la rendicontazione scientifica di questa parte si rimanda pertanto alla relazione finale redatta dall'UO1.

WP5 (Valutazione della sostenibilità delle filiere avicole)

1) Introduzione

Nel corso dei tre anni di progetto, il team dell'UO2 (D3A-UNIVPM) ha sviluppato e testato su un gruppo di aziende uno strumento rapido per la misurazione della sostenibilità delle aziende avicole biologiche. Lo strumento consiste in un questionario di autovalutazione della sostenibilità che comprende 21 item (indicatori): 7 indicatori per ciascuna delle tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, economia e sociale). Nell'ambito del progetto PROFILA, il WP5 si poneva infatti l'obiettivo di valutare la sostenibilità delle filiere avicole biologiche, mettendo a confronto due modelli organizzativi. Nel primo modello organizzativo l'azienda avicola produce direttamente in azienda parte o tutta la materia prima necessaria a soddisfare il fabbisogno dell'allevamento aziendale, mentre nel secondo modello organizzativo, l'azienda avicola è parte integrante di una "macrofiliera" dove le materie prime necessarie all'alimentazione degli animali vengono prodotte nel comprensorio e trasformate da mangimifici della filiera. In quanto segue vengono descritte le fasi della ricerca condotta nei tre anni di progetto. Per l'elaborazione del documento si è fatto riferimento anche ai report di progetto intermedi consegnati alla fine di ciascun semestre.

2) Materiali e metodi

Il percorso che ha portato allo sviluppo e validazione del "tool" di valutazione rapida della sostenibilità ha previsto tre principali fasi di lavoro, di seguito descritte.

Analisi della letteratura (2° semestre di progetto).

Nella prima fase è stata condotta un'indagine per analizzare le caratteristiche dei principali strumenti di valutazione rapida della sostenibilità (*Rapid Sustainability Assessment – RSA*) utilizzati in letteratura con l'obiettivo di individuare gli indicatori da utilizzare nello sviluppo di una nuova scala di valutazione. Per l'individuazione degli strumenti di valutazione della sostenibilità nelle aziende agricole e zootecniche si è fatto riferimento al lavoro di De Olde et al. (2016), nel quale sono stati presi in considerazione 48 diversi tool di valutazione rapida della sostenibilità. Tra i diversi tool di RSA presi in considerazione in questa analisi, il SAFA (*Sustainability assessment of Food and Agricultural Systems*) è quello che prende in considerazione la più ampia gamma di indicatori di sostenibilità, raggruppati in 4 dimensioni (governance, ambientale, economica e sociale).

Selezioni degli indicatori e costruzione della scala (3° e 4° semestre di progetto).

Nella seconda fase di lavoro si è proceduto all'individuazione degli indicatori di sostenibilità, valutando quelli presenti nel tool SAFA e quelli estratti da altri tool presenti nella ricerca di De Olde et al. (2016) e in altri lavori individuati in letteratura. Le dimensioni della sostenibilità presenti nel tool SAFA hanno costituito i tre costrutti principali da cui partire per selezionare gli indicatori. Considerando lo scopo della presente ricerca, si è ritenuto opportuno non considerare la dimensione di sostenibilità legata alla governance della filiera. Per ciascuno dei tre costrutti individuati (sostenibilità ambientale, economica e sociale), sono stati selezionati un pool indicatori, per un totale di 218 items. Successivamente si è proceduto con una selezione degli items, avendo cura di mantenere solamente quelli rilevanti ai fini della ricerca. Quattro esperti,

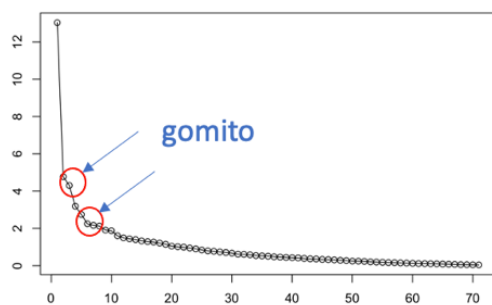
selezionati tra agronomi ed economisti agrari, hanno valutato il grado di pertinenza degli item raccolti rispetto alla definizione dei costrutti principali seguendo l'approccio proposta da Yusoff (2019). La valutazione è stata effettuata durante tre riunioni, nell'ambito delle quali gli esperti sono stati chiamati ad esprimere il grado di rilevanza degli item in una scala da 1 a 3: 1= l'item non è rappresentativo, 2=l'item è in qualche modo rappresentativo, 3= l'item è molto rappresentativo. Gli item selezionati (79 in totale) sono stati riformulati dal gruppo di esperti al fine di poter essere utilizzati in una scala di valutazione likert a sette punti che va da "totalmente in disaccordo" (1) a "totalmente d'accordo" (7).

Validazione della scala (4° e 5° semestre di progetto)

Nell'ambito della terza fase lavoro si è proceduto alla validazione della forma base del questionario utilizzando la piattaforma online qualtrics. Il questionario è stato inviato via e-mail a tutte le aziende socie ANABIO-CIA e a circa 2.000 aziende comprese in un elenco a disposizione dell'Università Politecnica delle Marche. Le risposte al questionario (132 in totale) sono state utilizzate per la validazione della scala (validity & reliability assessment). Per la validazione della scala è stata utilizzata la metodologia dell'analisi fattoriale, seguendo due step distinti:

Step 1- Analisi EFA (*Exploratory Factor Analysis*). Una EFA (ML-GEOMIN) iniziale con tutti i 79 indicatori ha permesso di stabilire la dimensionalità della scala in 3 fattori interpretabili (le 3 dimensioni teoriche: ambientale, sociale, economica). Il numero di fattori spiega complessivamente il 59% della varianza del campione. Per definire il numero di fattori da mantenere per le analisi successive si è proceduto tramite verifica degli autovalori (*eigenvalue* > 4, punto in cui il plot tra *eigenvalue* e numero di fattori forma un punto di flesso) (Figura 22).

Figura 22 - misura della correlazione tra i fattori esplorati grazie all'analisi EFA



Grazie ai test statistici (Figura 23) è stato possibile verificare che la correlazione tra i 3 fattori è relativamente bassa.

Figura 23 - misura della correlazione tra i fattori esplorati grazie all'analisi EFA

GEOMIN FACTOR CORRELATIONS (* significant at 5% level)

	1	2	3
1	1.000		
2	0.273*	1.000	
3	0.025	0.165	1.000

Grazie all'analisi fattoriale EFA è stato possibile, inoltre, diminuire il numero di item (indicatori della sostenibilità) da 79 a 21. Questo è stato possibile eliminando progressivamente le variabili con *loading factor* più bassi e verificando contemporaneamente che gli indici di *goodness of fit* (χ^2 , RMSEA, CFI, SRMR) dessero risultati soddisfacenti.

Step 2- Analisi CFA (*Confirmatory Factor Analysis*)

Una volta definite la struttura del questionario a 21 item (indicatori) è stata eseguita una CFA per la verifica ulteriore degli indici psicometrici (validity & reliability). Il modello, elaborato con software m-plus ha dato indici di *goodness of fit* (χ^2 , RMSEA, CFI, SRMR) soddisfacenti. Come si è detto risultati sono stati validati su un solo campione pilota (n=132), a causa del basso tasso di risposta della popolazione target. Al fine di dare un'ulteriore validazione del modello si è effettuata uno studio Montecarlo (n=500) sui coefficienti del modello CFA, che sono risultati piuttosto stabili così come il fit.

Somministrazione del questionario (6° semestre di progetto)

Nel corso del sesto semestre di progetto, il gruppo di economia agraria dell'UO2 ha somministrato il questionario (tool di valutazione rapida della sostenibilità nelle aziende avicole biologiche) a un campione di 100 aziende avicole biologiche operanti nel territorio italiano. Per la raccolta dei dati sono stati utilizzati approcci partecipativi, coinvolgendo partner industriali delle seguenti regioni italiane: Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Marche, Piemonte, Puglia, Sicilia, Toscana, Umbria, Veneto. Per la costituzione del database di aziende da intervistare si è inoltre l'elenco degli operatori biologici operanti sul territorio italiano (www.sian.it, sezione elenco operatori biologici), nonché i siti privati degli organismi di controllo che mettono a disposizione l'elenco delle aziende controllate per categoria di prodotto (es. produzione di carne, produzione di uova). Coerentemente con gli obiettivi dell'indagine, nel campione analizzato sono state considerate solamente aziende avicole con presenza di terreno agricolo (sono state escluse aziende senza terra). Inoltre, al fine di individuare potenziali fattori che influiscono sulla sostenibilità delle aziende, sono stati presi in considerazione diversi elementi di differenziazione tra le aziende: (i) produzione di carne vs produzione mista di carne e uova; (ii) aziende con contratto di soccida vs aziende senza contratto di soccida (iii) aziende a totale conduzione biologica vs aziende biologiche miste (convenzionale e biologiche). In particolare, al fine di valutare eventuali differenze tra il modello "microfiliera" e il modello "macrofiliera", l'indagine ha considerato il confronto tra aziende che autoproducono tutto o parte del mangime in azienda e le aziende che invece acquistano il mangime da mangimifici. Da una prima analisi si è potuto verificare che tutte le aziende che hanno contratti di soccida acquistano mangimi esternamente e non autoproducono alcuna quantità di mangime in maniera autonoma. Questo per ovvi motivi legati al contratto tra soccidante e soccidario, che per l'appunto impone, tra le altre cose, anche la fornitura di mangime da fornitori individuati dal soccidante.

3) Risultati della ricerca

Descrizione del campione

Il campione di 100 aziende è stato contattato telefonicamente, previo invio di una lettera o di un e-mail ove si spiegava nel dettaglio gli obiettivi del progetto PROFILA e quindi dell'indagine specifica. Il questionario è stato sviluppato tramite piattaforma online qualtrics (www.qualtrics.it) in modo da poter consentire l'intervista in duplice modalità: (i) l'azienda poteva ricevere il link al questionario e rispondere in modo autonomo utilizzando un qualsiasi device presente in azienda; (ii) in alternativa, qualora l'azienda dichiarasse la volontà di farsi assistere durante la compilazione del questionario, un ricercatore dell'UNIVPM provvedeva ad organizzare un appuntamento telefonico ove poter intervistare l'agricoltore e quindi registrare le risposte sulla piattaforma in un secondo momento. Su un totale di 120 aziende contattate telefonicamente, circa 37 aziende agricole hanno aderito all'intervista. Di queste, 7 aziende non sono state escluse dal database, poiché non disponevano di terreno. Le aziende intervistate sono localizzate in 11 regioni italiane, come riportato nella tabella sottostante (Tabella 7 e Tabella 8).

Tabella 7 - Numero di aziende intervistate per regione

Regione	n. di aziende	Regione	n. di aziende
Emilia Romagna	2	Puglia	4
Friuli Venezia Giulia	1	Sicilia	2
Lazio	3	Toscana	1
Lombardia	1	Umbria	1
Marche	11	Veneto	3
Piemonte	1	<u>Totale</u>	<u>30</u>

In tabella 2 si riporta il numero di allevamenti avicoli intervistati rispettivamente per tipo di allevamento e per regione.

Tabella 8 - Numero di aziende avicole intervistate per tipo di allevamento

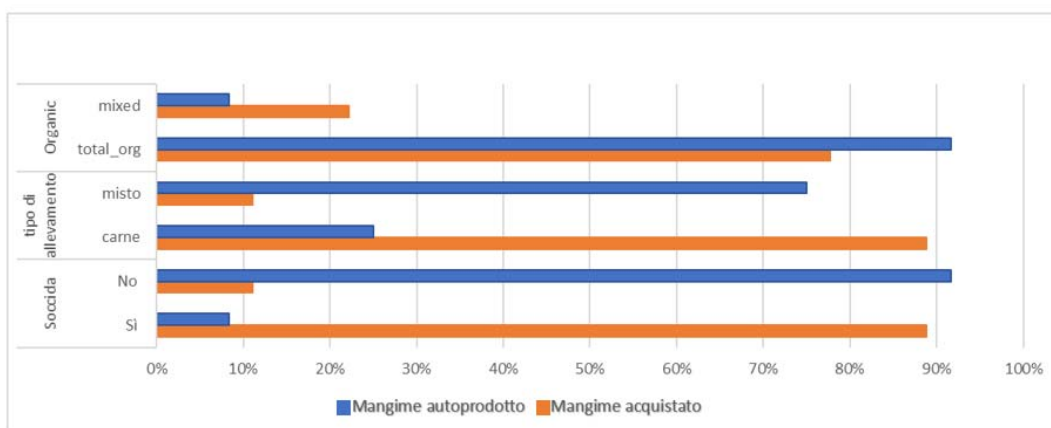
Regione	Tipo di allevamento		Numero totale di aziende per regione
	Carne	Misto	
Emilia Romagna	1	1	2
Friuli Venezia Giulia	0	1	1
Lazio	3	0	3
Lombardia	0	1	1
Marche	10	1	11
Piemonte	0	1	1
Puglia	3	1	4
Sicilia	0	2	2
Toscana	0	1	1
Umbria	1	0	1
Veneto	1	2	3
Numero totale per tipologia di allevamento	19	11	30

Una volta completate le interviste, tutti i dati sono stati riuniti in un unico database xlsx e dta (formato per analisi statistiche con software stata) comune. Dopo aver ricevuto i dati, l'UNIVPM ha applicato una procedura per verificare la coerenza e la plausibilità dei dati. Alla fine di questo processo sono state eliminate, come indicato in precedenza, 7 osservazioni, a causa di una mancata corrispondenza con i dati ritenuti validi al fine dell'elaborazione: infatti, per queste osservazioni è risultata mancante l'elemento 'azienda con terreno'. Di conseguenza, il dataset finale è composto da 30 osservazioni e 21 variabili. Ogni variabile del dataset è stata identificata in modo univoco. Il set di dati fornisce diverse informazioni a livello di azienda agricola sulle caratteristiche strutturali e gestionali, nonché informazioni sulla sostenibilità multidimensionale dell'azienda. I dati considerati nella nostra analisi sono classificati come segue:

- *Nome azienda*: identifica il nome dell'azienda avicola
- *CAP*: definisce la localizzazione dell'azienda avicola
- *SAT*: indica la superficie agricola totale dell'azienda avicola in ettari
- *Capi avicoli*: definisce il numero di capi avicoli presenti in media nell'azienda
- *Tipo lavoratore*: indica se il soggetto intervistato è un operaio o il titolare dell'azienda avicola
- *Soccida*: definisce se l'azienda agricola ha stipulato o meno un contratto di soccida per l'allevamento avicolo
- *Tipo di allevamento*: indica la tipologia di allevamento (carne o misto: carne e uova).
- *Con terreno*: tutte le aziende considerate per l'elaborazione dati presentano colture agricole (ad esempio, cereali, ortaggi, alberi, prati-pascoli, ecc.)
- *Mangime autoprodotta o acquistata*: indica se l'azienda agricola produce il proprio mangime (almeno una parte) o se acquista i mangimi da esterni/si affida al soccidante
- *Organic*: definisce se l'azienda ha produzione interamente biologica (total_org) o mista (mixed).

In Figura 24 si riportano alcuni dati strutturali delle aziende intervistate.

Figura 24 - Dati strutturali relativi al tipo di allevamento, agricoltura biologica e contratto di soccida, con distinzione tra aziende con mangime autoprodotta e senza



Ben 19 delle 30 aziende analizzate producono esclusivamente carne, mentre le rimanenti 11 sono miste (carne e uova). Va notato per due aziende avicole, la risposta selezionata non era né misto né carne bensì ovaiole ma in realtà questa risposta è stata integrata per motivi di omogeneizzazione di analisi all'interno della categoria misto anche perché è probabile che la tipologia di allevamento sia proprio questa e che la risposta data (ovaiole) faccia riferimento piuttosto ad una fase produttiva che si integra in seguito con la produzione di carne. Circa il 75% delle aziende caratterizzate dall'autoproduzione di mangimi prevedono un tipo di allevamento misto, mentre le aziende senza mangimi autoprodotti sono per la quasi totalità (circa il 90%) volte alla produzione di carne. In si riporta la distribuzione della SAT delle aziende intervistate, divise per tipologia di alimentazione (mangime autoprodotta o derivante da mangimifici).

Figura 25 - Distribuzione della SAT per tipologia di azienda

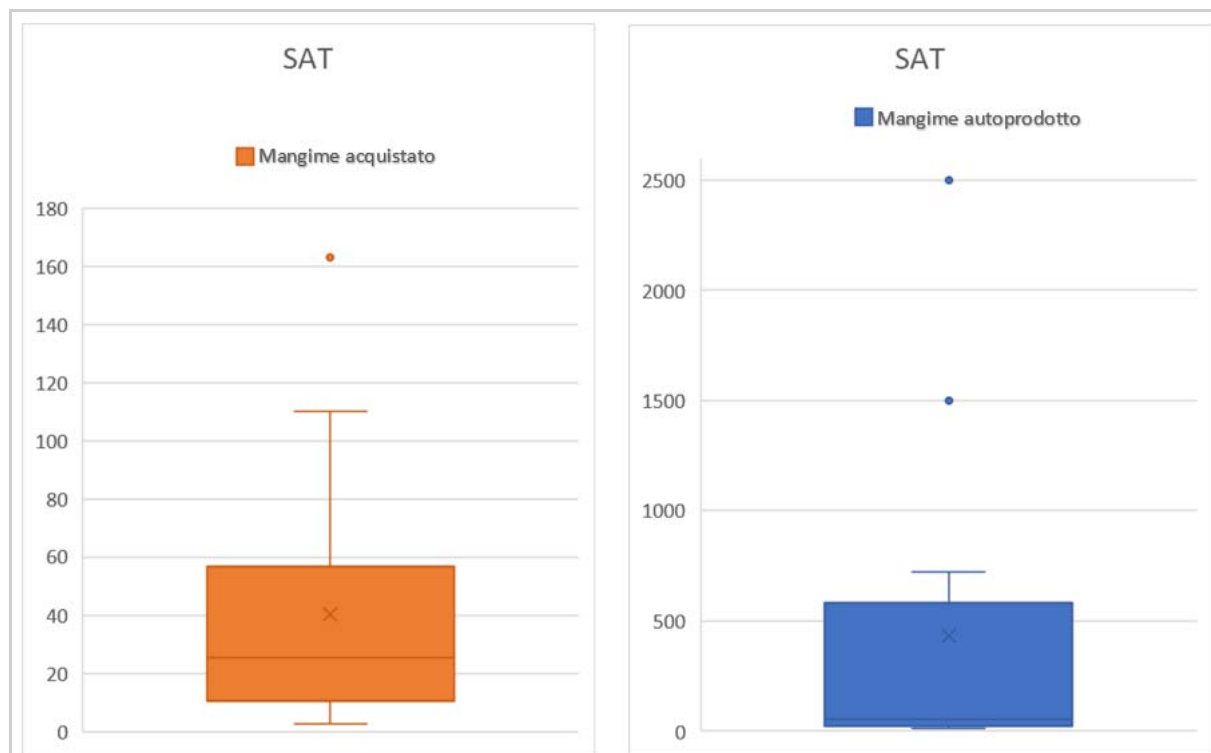


Tabella 9 - Distribuzione della SAT per tipologia di azienda

SAT			
Mangime acquistato		Mangime autoprodotta	
Valore medio	d.s.	Valore medio	d.s.
40	41,3521	433	753,764

Come atteso, le aziende con autoproduzione di mangime sono caratterizzate da superficie agricola totale mediamente superiore rispetto a quelle che non producono il mangime. In questo caso, il valore medio della SAT è di 433 ha, contro il valore medio di 40 ha per le aziende che non autoproducono mangime.

La media dei capi avicoli per le aziende che non producono il mangime è di 54.567 capi, con una considerevole deviazione standard pari a 45.309 ed un outlier nonché valore minimo di 40 capi avicoli. Il valore medio è nettamente superiore per le aziende con auto produzione di mangime, con una media di 167.628 , anche se con una deviazione standard di 552.484. Escludendo gli outlier per entrambi i cluster mangime autoprodotta e mangime acquistato si ottengono valori più omogenei e si evidenzia che il valore medio dei capi avicoli per le aziende che non producono mangime è superiore a quello delle aziende che lo producono. Dai dati emerge che le aziende che non producono mangimi dispongano di una SAT media inferiore rispetto alle aziende che producono mangime e al contrario un numero di capi medio superiore. Questo potrebbe trovare la sua spiegazione nel fatto che le aziende produttrici di mangimi utilizzano parte del terreno agricolo proprio per la produzione mentre le altre utilizzano l'interezza della superficie agricola per l'allevamento.

Risultati dell'analisi di sostenibilità tramite tool di misurazione rapida

Tutti i valori relativi agli indicatori di sostenibilità si riferiscono alla scala utilizzate per l'elaborazione del tool e vanno da un minimo di 1 (minimo livello di sostenibilità) a un massimo di 7 (massimo livello di sostenibilità). I risultati delle interviste mostrano valori medi elevati per tutte le tre componenti della sostenibilità, con media delle risposte che superano il valore di 6, indicando che le aziende a cui il questionario è stato somministrato sono ben performate dal punto di vista della sostenibilità multidimensionale. Il valore medio inferiore riguarda la sostenibilità ambientale per le aziende senza produzione di mangime propria con valore medio di 5,54. Il valore medio superiore pari a 6,52 si registra per la componente della sostenibilità sociale nelle aziende che producono autonomamente mangime. La Figura 26 e la Tabella 10 mostrano come per le tre dimensioni della sostenibilità, poiché le differenze, dove esistenti, sono state assorbite dai valori medi, non emergono differenze significative tra le aziende con auto produzione di mangimi e le altre.

Figura 26 - Valori medi ottenuti per gruppo di indicatori ambientali, economici e sociali, che illustrano i punti di forza e di debolezza delle aziende avicole, differenziate per autoproduzione o meno di mangimi, ottenuti dai risultati della valutazione della sostenibilità.

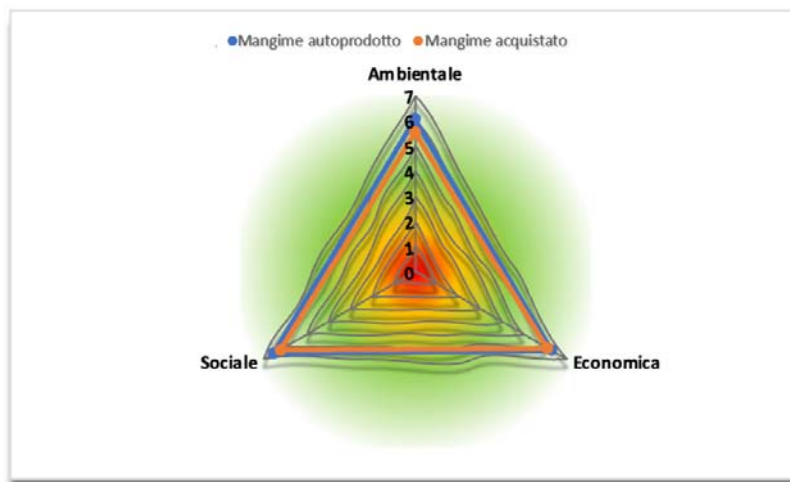


Tabella 10 - Valori medi degli indicatori di sostenibilità per tipologia aziendale

Componente di sostenibilità	Valore medio	
	FeedAuto Si	FeedAuto NO
Ambientale	6,07	5,54
Economica	6,27	6,09
Sociale	6,52	6,21

Figura 27. Valori medi che illustrano i punti di forza e di debolezza delle aziende avicole differenziate per autoproduzione o meno di mangimi, ottenuti dai risultati della valutazione della sostenibilità. Sono considerati tutti i 21 indicatori ambientali, economici e sociali.

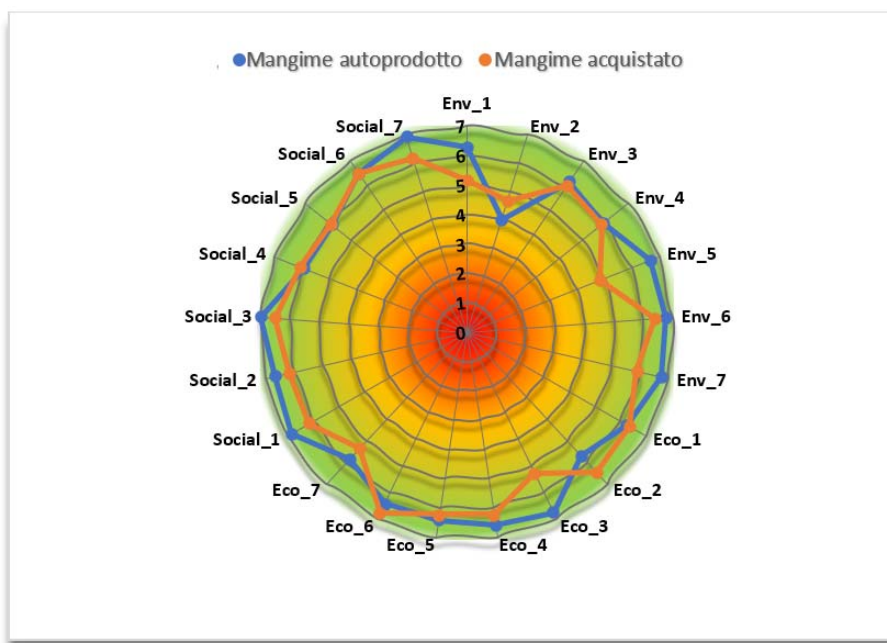


Tabella 11 - Valori degli indicatori di sostenibilità per tipologia aziendale

Variabile	Mangime autoprodotta			Mangime acquistata		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Env_1	6,25	3	7	5,17	2	7
Env_2	4,00	1	7	4,67	1	7
Env_3	6,17	1	7	6,00	3	7
Env_4	5,92	2	7	5,83	4	7
Env_5	6,67	5	7	4,83	1	7
Env_6	6,75	5	7	6,39	4	7
Env_7	6,75	5	7	5,89	4	7
Eco_1	6,25	4	7	6,33	3	7
Eco_2	5,67	2	7	6,44	5	7
Eco_3	6,75	6	7	5,28	1	7
Eco_4	6,58	3	7	6,22	3	7

Eco_5	6,42	4	7	6,22	4	7
Eco_6	6,42	6	7	6,78	6	7
Eco_7	5,83	1	7	5,33	2	7
Social_1	6,83	6	7	6,17	4	7
Social_2	6,67	6	7	6,17	4	7
Social_3	6,92	7	7	6,50	4	7
Social_4	5,92	2	7	6,06	4	7
Social_5	5,83	3	7	5,89	1	7
Social_6	6,50	6	7	6,50	4	7
Social_7	6,92	6	7	6,17	1	7

Andando a considerare i valori medi delle risposte alle 21 domande somministrate nei questionari – senza raggrupparle nei tre sottogruppi della sostenibilità – si evidenziano i valori medi ottenuti per singola componente e quindi un livello di dettaglio superiore attraverso il quale è stato possibile isolare gli elementi più o meno critici per le aziende (Figura 27 e Tabella 11). In generale non emergono valori particolarmente bassi. Il valore medio inferiore risulta essere per la variabile Env_2, che corrisponde all’affermazione ‘adotto sistemi che consentono il recupero e il riutilizzo dell’acqua impiegata in azienda (es. acque di lavaggio; acque di irrigazione), con 4,00 per le aziende con mangime autoprodotta e 4,67 per le altre aziende quindi indicando una relativa criticità rispetto alla risorsa acqua; l’unico valore medio inferiore a 5 insieme a quelli appena citati è per Env_5 per le aziende senza auto produzione di mangimi e che corrisponde all’assunto ‘mi assicuro che in azienda siano presenti contemporaneamente più specie vegetali e/o animali’ (biodiversità). Da notare il valore medio massimo che si registra per le aziende con auto produzione di mangimi rispetto alla variabile Social_3, con un valore di 6,92 e che corrisponde all’affermazione I miei dipendenti sono assunti attraverso un contratto regolare e Social_7, Ritengo che il lavoro svolto dai miei lavoratori sia qualificante. Da questa elaborazione dati e visibilmente nella figura 3, con le eccezioni sopra descritte, i valori medi ottenuti dalle risposte sono generalmente elevati superando il valore medio di 5 nel 93% dei casi e in più della metà dei casi (circa il 65%) con valori compresi tra 6 e 7, indicando risultati positivi sotto tutti gli aspetti della sostenibilità considerati.

Sostenibilità ambientale

I risultati dell’analisi effettuata isolando le 7 componenti relative alla sostenibilità ambientale hanno evidenziato innanzitutto quanto già emerso a seguito dell’analisi effettuata sulla totalità delle 21 componenti cioè che si registrano valori medi più bassi per la componente Env_2, Adotto sistemi che consentono il recupero e il riutilizzo dell’acqua impiegata in azienda (es. acque di lavaggio; acque di irrigazione). Infatti, analizzando più in dettaglio le risposte a questo assunto si nota che per circa il 50% delle risposte sono stati assegnati punteggi inferiori a 4 (da né in accordo né in disaccordo, 17% a completamente in disaccordo, 13%). In generale si registrano valori medi inferiori per le aziende che non fanno autoproduzione di mangimi. I valori medi per le sette componenti risultano comunque tutti superiori al 5 ad eccezione di Env_2 ed Env_5 solo per le aziende senza autoproduzione di mangimi, indicando complessivamente una buona performance delle aziende dal punto di vista della sostenibilità ambientale (Figura 28 e Figura 29).

Figura 28 - Distribuzione delle risposte al questionario per la valutazione della sostenibilità delle aziende avicole per componente ambientale

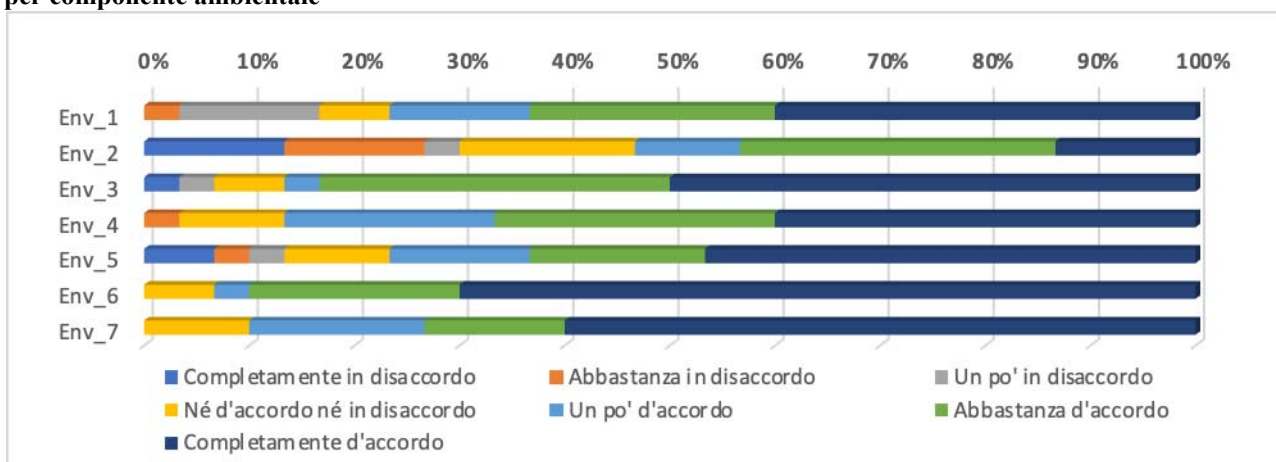
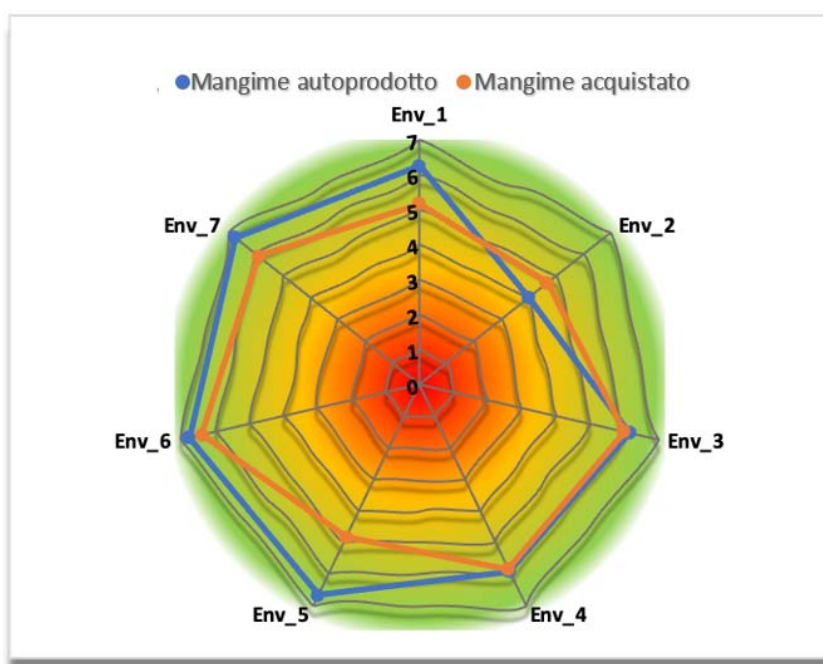


Figura 29 - Valori medi che illustrano i punti di forza e di debolezza delle aziende avicole, differenziate per aziende con autoproduzione di mangimi e senza, dal punto di vista della sostenibilità ambientale



Sostenibilità Economica

L'analisi effettuata sulle 7 componenti della sostenibilità che riguardano l'aspetto economico ha evidenziato che i valori medi ottenuti sono tutti superiori al 5 (abbastanza d'accordo) indicando una performance complessiva per le aziende positiva dal punto di vista della sostenibilità economica. Più in dettaglio, emergono valori medi superiori per le aziende con autoproduzione di mangimi per le componenti Eco_3, Eco_4, Eco_5 ed Eco_7 ed inferiori per Eco_1, Eco_2 ed Eco_6. Va notato inoltre che per tutte le componenti economiche le aziende hanno assegnato un punteggio pari a 7 (completamente d'accordo) tra il 40% e il 63% dei casi, confermando il trend positivo per la componente di sostenibilità in analisi (Figura 30 e Figura 31).

Figura 30 - Distribuzione delle risposte al questionario per la valutazione della sostenibilità economica delle aziende avicole

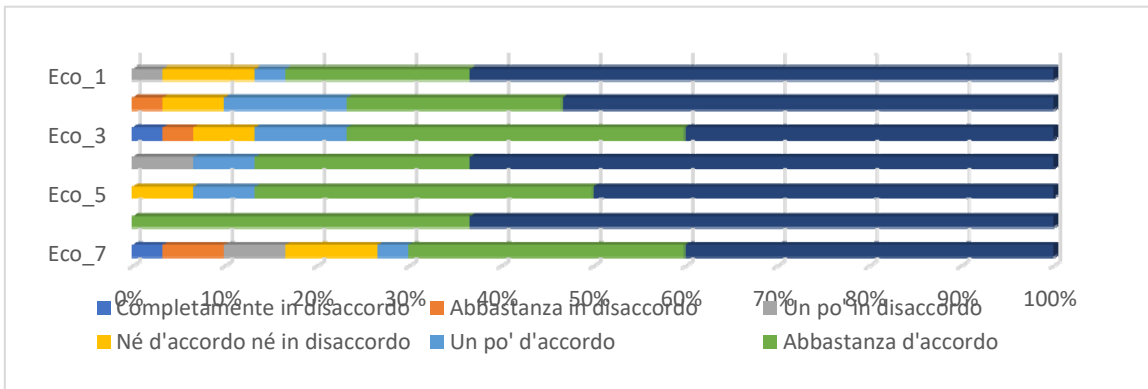
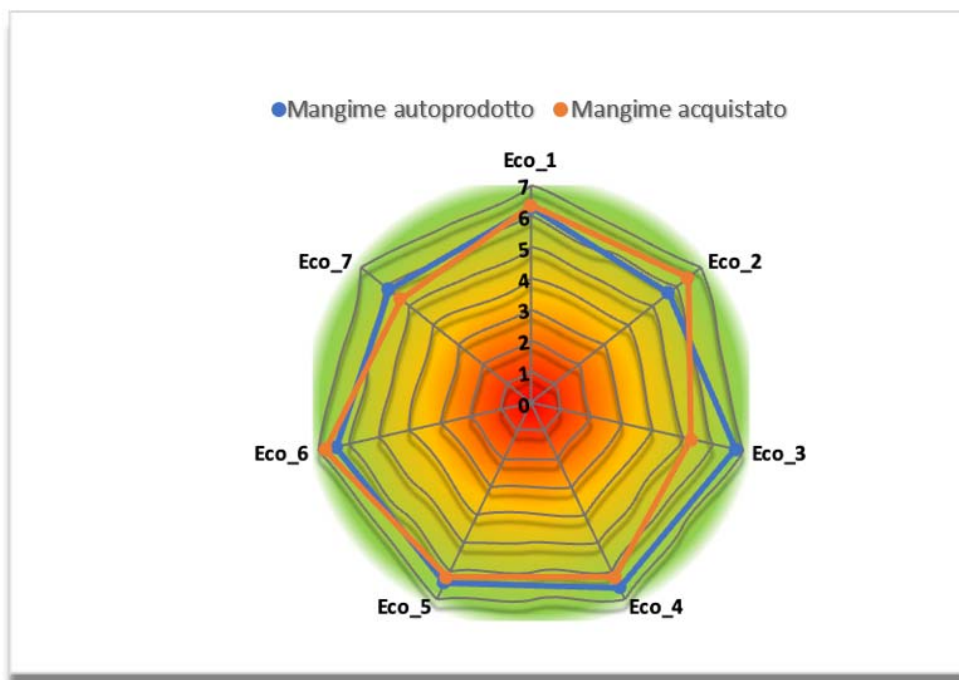


Figura 31 - Valori medi che illustrano i punti di forza e di debolezza delle aziende avicole, differenziate per aziende con autoproduzione di mangimi e senza, dal punto di vista della sostenibilità economica.



Sostenibilità sociale

I risultati ottenuti dall'analisi delle 7 componenti relative alla sostenibilità sociale delle aziende ha mostrato valori medi in linea con quelli ottenuti per le componenti ambientale ed economica e che evidenziano performance positive. Un dato interessante per le aziende con autoproduzione di mangimi riguarda la componente Social_3 e Social_7 con valori medi che si avvicinano al 7 (punteggio massimo che indica completamente d'accordo): gli intervistati hanno risposto 7 nel 90% dei casi per Social_3 e nel 77% dei casi per Social_7. Le aziende che non fanno autoproduzione di mangimi hanno valori medi allineati o inferiori rispetto alle altre (Figura 32 e Figura 33).

Figura 32 - Distribuzione delle risposte al questionario per la valutazione della sostenibilità sociale delle aziende avicole

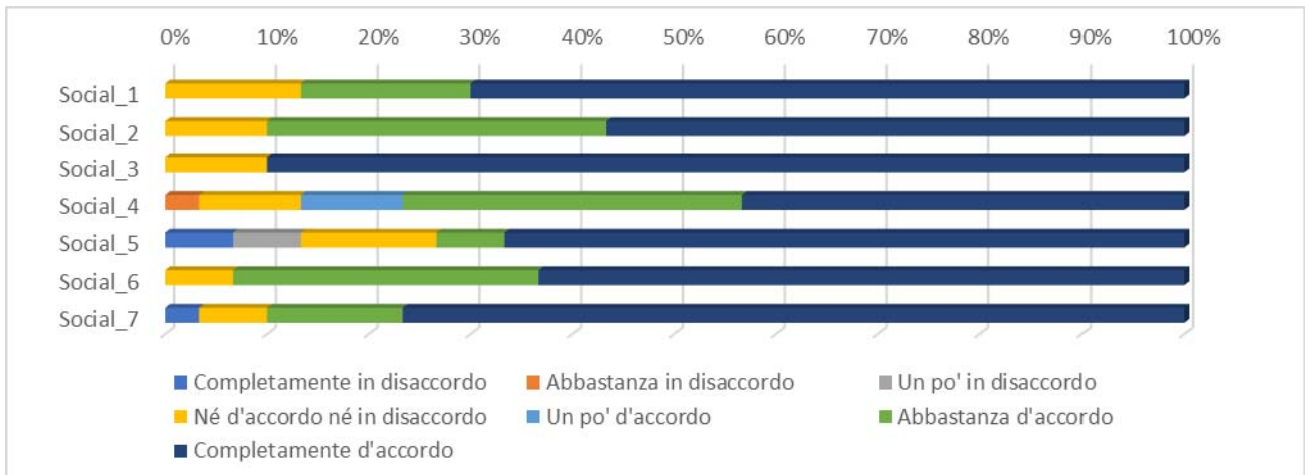
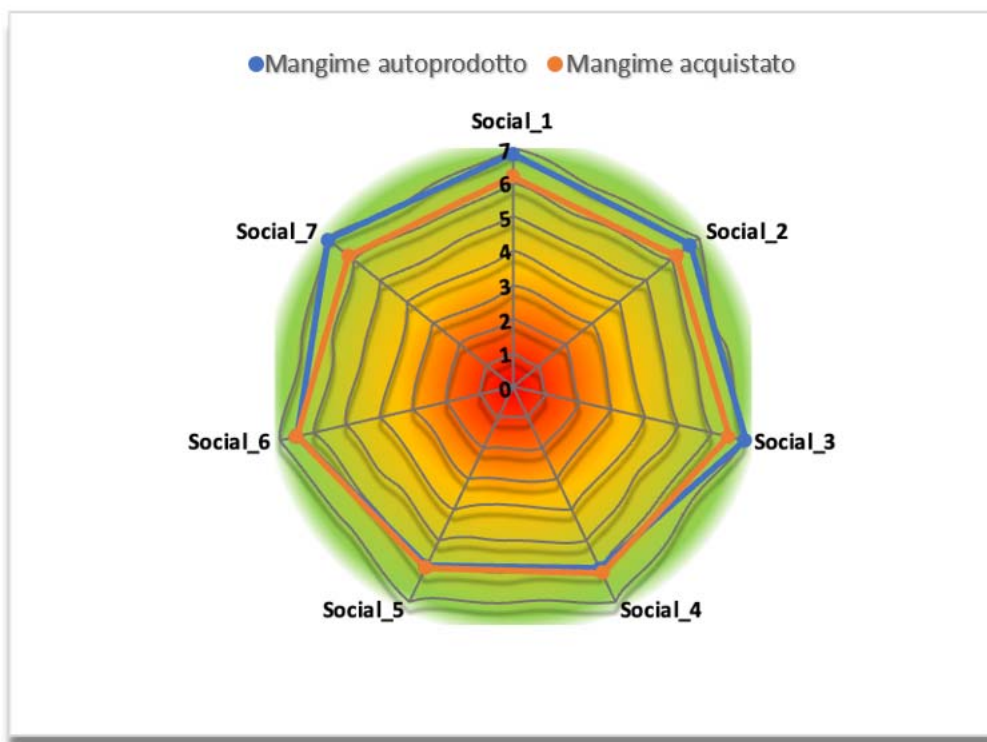


Figura 33 - Valori medi che illustrano i punti di forza e di debolezza delle aziende avicole, differenziate per aziende con autoproduzione di mangimi e senza, dal punto di vista della sostenibilità sociale



A completamento dell'analisi vista sopra, al fine di verificare l'esistenza di differenze significative tra le due tipologie di aziende considerate (mangime autoprodotta vs mangime acquistato) per i vari indicatori di sostenibilità rilevati, si è proceduto con alcuni test statistici non parametrici. I risultati del test Wilcoxon test, non parametrico, sono riportati nella Tabella 12.

Tabella 12 - Wilcoxon test (test non parametrico) per la differenza media le variabili rispetto al criterio *mangime, acquistato o autoprodotta*

Variabile	Valore medio		p-value
	Mangime acquistato	Mangime autoprodotta	
Env 1	5,17	6,25	0.04835**
Env 2	4,67	4,00	0.6348*
Env 3	6,00	6,17	0.4185*
Env 4	5,83	5,92	0.4913*
Env 5	4,83	6,67	0.005063***
Env 6	6,39	6,75	0.2269*
Env 7	5,89	6,75	0.03067**
Eco 1	6,33	6,25	0.7301*
Eco 2	6,44	5,67	0.2969*
Eco 3	5,28	6,75	0.001029***
Eco 4	6,22	6,58	0.1029*
Eco 5	6,22	6,42	0.2946*
Eco 6	6,78	6,42	0.05099
Eco 7	5,33	5,83	0.2136*
Social 1	6,17	6,83	0.149*
Social 2	6,17	6,67	0.2602*
Social 3	6,50	7,00	0.1542*
Social 4	6,06	5,92	0.9102*
Social 5	5,89	5,83	0.9396*
Social 6	6,50	6,50	0.3824*
Social 7	6,17	6,92	0.1091*

*** P-value<0.01 **P-value<0.05 *P-value>0.1

In questa analisi sono state incrociate singolarmente le 21 componenti della sostenibilità con la discriminante del mangime autoprodotta o acquistato, allo scopo di evidenziare differenze statistiche significative tra i risultati ottenuti per le aziende con autoproduzione di mangimi e le altre. L'analisi statistica mostra che il p-value per 17 delle componenti è superiore a 0.05 da cui non si rifiuta l'ipotesi nulla H_0 e quindi non c'è differenza statistica significativa tra mangime autoprodotta e mangime acquistato. Per 4 componenti il p-value è invece inferiore a 0.05 confutando l'ipotesi nulla ed evidenziando una differenza statistica significativa tra mangime autoprodotta e acquistato. Nel dettaglio, le componenti con differenze statistiche significative sono Env_1 che corrisponde a 'la mia azienda adotta tecniche colturali che permettono una costante copertura dei terreni durante l'inverno (es. cover crops; inerbimenti)', con $p=0.04835$, Env_5 ossia 'mi assicuro che in azienda siano presenti contemporaneamente più specie vegetali e/o animali', con $p=0.005063$, Env_7, 'il materiale organico di scarto prodotto nella mia azienda (es. letame, paglia, sfalci, potature, sottoprodotti) viene riutilizzato sottoforma di ammendante/fertilizzante', con $p=0.03067$ ed Eco_3, la mia azienda riduce i rischi di mercato diversificando il numero di clienti, con $p=0.001029$. Non sono emerse differenze statistiche significative per le componenti della sostenibilità sociale. Quindi l'elaborazione dati mostra che le aziende con autoproduzione di mangimi hanno una performance significativamente superiore dal punto di vista ambientale per quanto riguarda risorse quali il suolo (env_1), la biodiversità (Env_5) e l'economia circolare (Env_7), e per quanto riguarda la sostenibilità economica la performance è superiore in maniera significativa dal punto di vista della gestione dei rischi di mercato.

4) Discussione dei risultati e conclusioni

Lo strumento di misurazione della sostenibilità sviluppato e testato in questo studio può essere considerato un valido supporto per valutare le performance delle aziende avicole biologiche italiane. Rispetto agli strumenti esistenti, questo approccio offre diversi vantaggi. Innanzitutto, la valutazione può essere completata in tempi relativamente rapidi (al massimo 15 minuti), consentendo agli allevatori di misurare velocemente le prestazioni della propria azienda. Questo è particolarmente vantaggioso per i piccoli allevamenti avicoli biologici che generalmente dispongono di poche risorse da destinare a valutazioni della

sostenibilità più articolate, come possono essere quelle offerte dal tool SAFA o dal metodo LCA. Un secondo vantaggio degno di nota è legato alla natura olistica dello strumento. Il fatto che la scala sviluppata prenda in considerazione tutte le dimensioni della sostenibilità (economica, sociale e ambientale) permette agli allevatori e ai loro consulenti di identificare in maniera completa le potenziali aree di miglioramento dell'azienda. Inoltre, un altro aspetto che non va trascurato è legato all'affidabilità sperimentale dello strumento di misurazione. A differenza di altri strumenti di valutazione come il SAFA (FAO, 2014), da cui il nostro lavoro trae parziale ispirazione, la scala di misurazione proposta è stata testata per la validità e l'affidabilità, attraverso il coinvolgimento diretto degli allevatori.

Per quanto riguarda la comparazione tra le due tipologie aziendali, è possibile notare come lo strumento di misurazione sopra descritto abbia messo in luce importanti differenze. In primo luogo, si nota una maggiore performance in termini «ambientali» delle aziende che producono tutto o parte del mangime con materie prime aziendali, soprattutto per fattori quali la tutela del suolo, la diversità di specie allevate in azienda e il riutilizzo di risorse aziendali a scopi agricoli. Tale risultato è in linea con quanto atteso e conferma la bontà dell'impostazione legislativa in materia. Il regolamento europeo in materia di agricoltura biologica (Reg EU 848/18) promuove l'uso efficiente delle risorse presenti all'interno dell'azienda agricola aziendali, limitando il più possibile il ricorso a input provenienti dall'esterno. Per tale motivo, anche per quanto riguarda le regole relative all'alimentazione animale, il regolamento impone l'utilizzo di materie prime aziendali o provenienti da aziende biologiche del comprensorio (regionali) come fonte principale per la formulazione delle razioni. Secondo il regolamento (si veda allegato II parte II punto 1.9.4.2 del Reg. UE 848/18) almeno il 30% dell'alimentazione deve essere prodotta con materie prime aziendali o acquistato attraverso accordi di cooperazione con altre unità di produzione/mangimifici che utilizzano materie prime biologiche provenienti dalla stessa regione. Con questa norma, il legislatore ha voluto di fatto garantire il più possibile la rispondenza al "principio dell'ecologia", secondo il quale l'uso di fattori esterni all'azienda va ridotto tramite l'impiego di materie prime prodotte all'interno dell'agroecosistema aziendale, in modo da mantenere e migliorare la qualità dell'ambiente e mantenere la diversità genetica e agricola (si vedano i principi del biologico IFOAM, 2023). Dal punto di vista economico da rilevare invece l'indicatore legato alla diversificazione delle produzioni come elemento di riduzione del rischio manageriale, così come l'accesso alla liquidità da parte delle aziende che producono tutto o parte del mangime con materie prime aziendali. I risultati della ricerca trovano parziale conferma con quanto riportato in letteratura circa la migliore performance economica delle aziende che utilizzano le materie prime aziendali per la produzione di trasformati (de Quelen et al., 2021) da utilizzare internamente all'impresa. Inoltre, a livello di filiera, è importante notare come la produzione domestica (aziendale o regionale) di materie prime per la mangimistica potrebbe concorrere ad aumentare la sostenibilità della filiera nel medio e lungo termine. Recenti indagini (CREA, 2023), mostrano come nell'allevamento avicolo il mangime biologico contenga una forte percentuale di materie prime provenienti da paesi extra EU, limitando dunque di molto le opportunità di reddito delle aziende agricole locali.

5) Bibliografia consultata

- Anderson, J.C., Gerbing, D.W., 1988. Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach. *Psychol. Bull.* 103, 411–423. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.103.3.411>
- Arulnathan, V., Heidari, M.D., Doyon, M., Li, E., Pelletier, N., 2020. Farm-level decision support tools: A review of methodological choices and their consistency with principles of sustainability assessment. *J. Clean. Prod.* 256, 120410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120410>
- Balmford, A., Green, R., Phalan, B., 2012. What conservationists need to know about farming. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279, 2714–2724. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0515>
- Benton, T., Bieg, C., Harwatt, H., Pudassaini, R., Wellesley, L., 2021. Food system impacts on biodiversity loss Three levers for food system transformation in support of nature, Energy, Environment and Resources Programme. Chatnam House.
- Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan, M.B., Gaillard, G., 2009. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 223–235. <https://doi.org/10.1051/agro:2008058>

- Cammarata, M., Timpanaro, G., Scuderi, A., 2021. Assessing sustainability of organic livestock farming in Sicily: A case study using the Fao Safa framework. *Agric.* 11. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030274>
- CREA, 2023. BIOREPORT 2021-2022: l'agricoltura biologica in Italia. Rete rurale nazionale 2014-2020, Roma. Disponibile a: [file:///Users/francescosolfanelli/Downloads/Libro_Bioreport_2021_2022DEFWEB%20\(4\).pdf](file:///Users/francescosolfanelli/Downloads/Libro_Bioreport_2021_2022DEFWEB%20(4).pdf)
- de Olde, E.M., Bokkers, E.A.M., de Boer, I.J.M., 2017. The Choice of the Sustainability Assessment Tool Matters: Differences in Thematic Scope and Assessment Results. *Ecol. Econ.* 136, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.015>
- de Quelen, F., Brossard, L., Wilfart, A., Dourmad, J. Y., & Garcia-Launay, F. (2021). Eco-Friendly Feed Formulation and On-Farm Feed Production as Ways to Reduce the Environmental Impacts of Pig Production Without Consequences on Animal Performance. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.689012>
- Du Pisani, J.A., 2006. Sustainable development – historical roots of the concept. *Environ. Sci.* 3, 83–96. <https://doi.org/10.1080/15693430600688831>
- El Bilali, H., Strassner, C., Ben Hassen, T., 2021. Sustainable agri-food systems: Environment, economy, society, and policy. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13116260>
- Elling, S., Lentz, L., de Jong, M., van den Bergh, H., 2012. Measuring the quality of governmental websites in a controlled versus an online setting with the “Website Evaluation Questionnaire.” *Gov. Inf. Q.* 29, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2011.11.004>
- European Union, 2020. Farm to Fork Strategy.
- FAO, 2016. The State of Food and Agriculture 2016: Climate change, agriculture and food security. Food and Agriculture Organization of the United states, Rome.
- FAO, 2014. SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems Guidelines V 3.0. Food and Agriculture Organization of the United states, Rome.
- FAO, 2006. Livestock’s long shadow; environmental issues and options. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Gaviglio, A., Bertocchi, M., Demartini, E., 2016. Lessons learned from a process of farm sustainability assessment: Literature review, methodology and governance opportunities. *Riv. di Stud. sulla Sostenibilita* 129–139.
- Hinkin, T.R., 1998. A brief tutorial on the development of measures for use in survey questionnaires. *Organ. Res. Methods* 1, 104–121. <https://doi.org/10.1177/109442819800100106>
- HLPE, 2014. Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems. High Lev. Panel Expert. *Food Secur. Nutr. Comm. World Food Secur. Sustain. Food Syst.* 1–117.
- Iakovidis, D., Gadanakis, Y., Park, J., 2022. Farm-level sustainability assessment in Mediterranean environments: Enhancing decision-making to improve business sustainability. *Environ. Sustain. Indic.* 15, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100187>
- IFOAM, 2023. The Four Principle Of Organic Agriculture. Available at: <https://www.ifoam.bio/why-organic/shaping-agriculture/four-principles-organic>
- Le Gal, P.Y., Dugué, P., Faure, G., Novak, S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agric. Syst.* 104, 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007>
- Lozano, R., 2008. Envisioning sustainability three-dimensionally. *J. Clean. Prod.* 16, 1838–1846.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.02.008>

- Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., Lauwers, L., 2014. Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecol. Soc.* <https://doi.org/0.5751/ES-06876-190346>
- Meuwissen, M.P.M., Feindt, P.H., Spiegel, A., Termeer, C.J.A.M., Mathijs, E., de Mey, Y., Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroege, W., Ciecchomska, A., Accatino, F., Kopainsky, B., Poortvliet, P.M., Candel, J.J.L., Maye, D., Severini, S., Senni, S., Soriano, B., Lagerkvist, C.J., Peneva, M., Gavrilescu, C., Reidsma, P., 2019. A framework to assess the resilience of farming systems. *Agric. Syst.* 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Poore, J., Nemecek, T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (80-.). 360, 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Pope, J., Annandale, D., Morrison-Saunders, A., 2004. Conceptualising sustainability assessment. *Environ. Impact Assess. Rev.* 24, 595–616. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.03.001>
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., Travasso, M.I., 2015. Food security and food production systems, in: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.W. (Ed.), *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485–534. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.012>
- Schader, C., Baumgart, L., Landert, J., Muller, A., Ssebunya, B., Blockeel, J., Weisshaidinger, R., Petrasek, R., Mészáros, D., Padel, S., Gerrard, C., Smith, L., Lindenthal, T., Niggli, U., Stolze, M., 2016. Using the Sustainability Monitoring and Assessment Routine (SMART) for the systematic analysis of trade-offs and synergies between sustainability dimensions and themes at farm level. *Sustain.* 8. <https://doi.org/10.3390/su8030274>
- Ssebunya, B.R., Schmid, E., Van Asten, P., Schader, C., Altenbuchner, C., Stolze, M., 2017. Stakeholder engagement in prioritizing sustainability assessment themes for smallholder coffee production in Uganda. *Renew. Agric. Food Syst.* 32, 428–445. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000363>
- The United Nations, 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* [WWW Document]. URL <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement> (accessed 9.27.22).
- Wall, T.D., Michie, J., Patterson, M., Wood, S.J., Sheehan, M., Clegg, C.W., West, M., 2004. On the validity of subjective measures of company performance. *Pers. Psychol.* 57, 95–118. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2004.tb02485.x>
- WCED, 1987. *Our Common Future* ('The Brundtland Report'): World Commission on Environment and Development.
- Yusoff, M.S.B., 2019. ABC of Content Validation and Content Validity Index Calculation. *Educ. Med. J.* 11, 49–54. <https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>

Publicazioni prodotte e in corso d'opera

Solfanelli F., Ozturk E., Mattei G., Naspetti S., Cubero Dudinskaya E., Mandolesi S., Zanolini R. (2022). *Developing and testing a rapid tool for holistic farm-level sustainability assessment.* Atti del LVIII convegno SIDEA – Palermo, 29-30 settembre 2022.

Solfanelli F., Ozturk E., Naspetti S., Cubero Dudinskaya E., Mandolesi S., Zanoli R. (2023). *The development and validation of a rapid tool for sustainability assessment at farm level*. In Corso di pubblicazione sulla rivista AFE (Agricultural and Food Economics).

Il responsabile scientifico

Prof. Raffaele Zanoli

¹ In caso di progetto di durata superiore a 36 mesi indicare nella colonna a fianco a quale periodo si riferiscono le attività descritte

² Solo per progetti di durata superiore a 36 mesi