



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

CONSOCIAZIONE
FRUMENTO-CICERCHIA
PER UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE

Wheat-grasspea intercropping
for sustainable agriculture

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
RICCARDO RONCONI

Relatore:
PROF. STEFANO TAVOLETTI

Correlatore:
DOTT.SSA ARIELE MERLETTI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Dedicata a tutti coloro
che hanno fatto nascere
e che hanno sostenuto
la mia passione agricola
e i miei studi

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

1.1 Leguminose

La famiglia delle leguminose, o *Fabaceae*, comprende specie vegetali, sia coltivate che spontanee, con caratteristiche peculiari, tra cui, l'alta concentrazione di proteine nei loro tessuti, la capacità di bio-fissare l'azoto atmosferico e il benefico effetto sulle rotazioni agrarie. Nei semi delle leguminose il titolo proteico oscilla dal 20 al 40% variando principalmente in base alla specie e alle condizioni di coltivazione. La capacità di assimilare e di organizzare l'azoto atmosferico è da tempo studiata e Peoples et al. (2009) riportano le leguminose fissano in media 30-40 Kg di azoto per tonnellata di sostanza secca. La gran parte di questa quota di N organico, grazie alla simbiosi con le diverse specie del genere *Rhizobium*, si traduce nell'alto contenuto proteico che caratterizza i semi delle leguminose. In particolare, dal 45 al 75% di tutto l'azoto presente nelle parti epigee delle leguminose va a costituire la quota proteica della granella (van Kessel and Hartely, 2000; Walley et al., 2007; Salvagiotti et al., 2008).

I benefici che si riscontrano nelle rotazioni colturali che prevedono la coltivazione di leguminose non sono da imputarsi solamente alla quota di N che permane in campo attraverso i residui colturali, ma vanno attribuiti anche ad altri fattori non relazionati alla maggior disponibilità di azoto, come indicato da Peoples et al. (2009). Alcuni esempi di fattori non legati alla maggior disponibilità di azoto possono essere la mobilitazione del fosforo precipitato attraverso l'azione dei loro essudati radicali (Hocking, 2001; Nuruzzaman et al., 2005), la migliore e maggiore capacità di esplorazione del suolo da parte della coltura successiva (Rochester et al., 2001; Aslam et al., 2003; Shah et al., 2003), la riduzione dell'inoculo di patogeni terricoli dannosi per i cereali (Stevenson and van Kessel, 1997; Kirkegaard et al., 2008) e la stimolazione della benefica attività degli organismi edafici (Jensen and Hauggard-Nielsen, 2003; Lupwayi and Kennedy, 2007). Altri vantaggi legati alla coltivazione di *Fabaceae* sono riscontrabili nei prati-pascolo in cui queste sono presenti assieme a *Poaceae*: la produzione falciabile aumenta e le caratteristiche nutrizionali del foraggio sono più bilanciate, rispetto ai risultati ottenibili coltivando in purezza i due tipi di

colture, e inoltre la presenza di leguminose riduce la necessità di concimi azotati per le Graminacee presenti nel prato-pascolo.

Le *Fabaceae*, però, presentano anche degli aspetti negativi, tra cui la bassa produttività per ettaro coltivato e la difficile meccanizzazione della raccolta per alcune specie. Il motivo di tale difficoltà è la tendenza di alcune leguminose ad allettarsi a maturazione di raccolta e ciò è ancor più vero per le specie ad accrescimento indeterminato. Il problema risiede nel fatto che una coltura prostrata a terra è, per vari motivi, difficilmente mietitrebbiabile: la testata di raccolta ha difficoltà nel tagliare e raccogliere sopra di sé la coltura, c'è un elevato rischio di incamerare terra all'interno della mietitrebbia, con possibili conseguenti danni al mezzo agricolo oltre al fatto che si avrà terra miscelata assieme alla granella, si ha inoltre una bassa efficienza di raccolta poiché molti legumi deiscono al contatto con la testata o non vengono raccolti affatto e, infine, aumenta il tempo necessario a raccogliere una data superficie. Una coltura tipicamente affetta da questa problematica è la lenticchia (*Lens culinaris* L.) e, dagli studi effettuati da Ball et al. (2006), è emerso che tale fenomeno è legato sia a fattori genotipici sia a fattori ambientali e in particolare le variabili maggiormente influenti sull'allettamento di questa specie sono il contenuto in fibra e lignina dello stelo, il diametro dello stelo, il numero di ramificazioni della pianta, la biomassa della pianta, la densità di semina e l'altezza della pianta.

Negli ultimi tempi le leguminose sono, giustamente, tornate ad essere un argomento molto attenzionato e discusso. A sostegno di quanto affermato si ricorda che il 2016 è stato dichiarato anno internazionale dei legumi dalla Food and Agriculture Organisation (FAO). Attualmente le leguminose sono considerate colture strategiche anche all'interno dell'Unione Europea, infatti, l'attuale Politica Agricola Comune 2014-2020 ha istituito le Ecological Focus Areas (EFA) o aree di interesse ecologico. L'istituzione delle EFA ha obbligato tutte le aziende, che intendono accedere ai sostegni economici erogati dall'Unione Europea e con superficie a seminativo superiore ai quindici ha, alla coltivazione di leguminose, da granella o prative da foraggio, per almeno il 5% della Superficie Agricola Utilizzabile. L'emanazione di questa misura, nell'ambito degli obblighi greening, aveva lo scopo di incrementare la diversificazione delle colture nell'agro europeo e di diffondere i benefici legati alla coltivazione delle *Fabaceae*. Durante il settennio 2014-2020 la SAU italiana a leguminose in purezza o consociate è passata da 67.450 Ha nel 2014 a 113.050 Ha nel 2020 (dati EUROSTAT) mentre la diffusione delle leguminose in tutta Europa e nei paesi prossimali nel 2020 è visibile alla Figura 0-1.

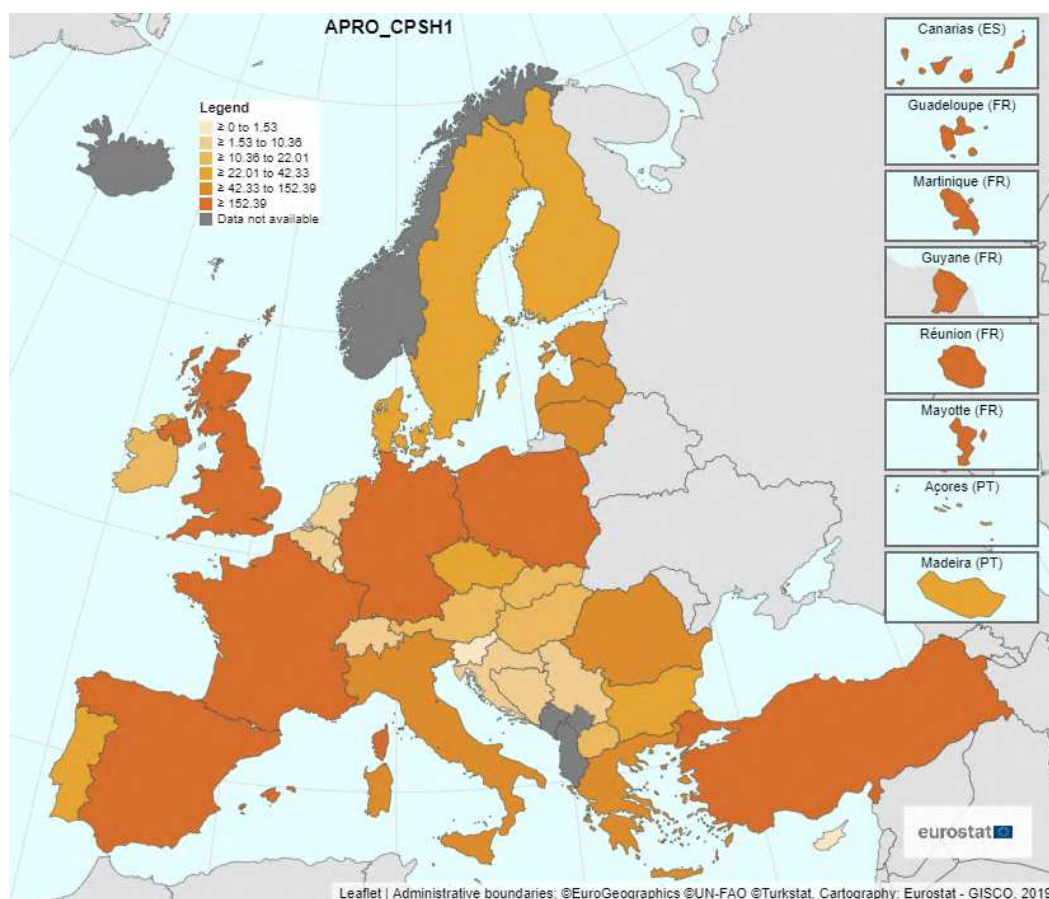


Figura 0-1: ettari coltivati a legumi secchi e colture proteiche incluse quelle per la produzione di seme e le consociazioni tra leguminose e cereali.

Dati espressi in migliaia di ha. Fonte: EUROSTAT

Il merito di questa considerevole crescita nelle superfici coltivate a *Fabaceae* è da attribuirsi non solo alle EFA ma anche al maggior interesse dei consumatori, e quindi dei trasformatori e dei produttori, nei confronti di alimenti a base di legumi più o meno trasformati. Altro fattore che potrebbe aver inciso sull'aumento della presenza delle leguminose negli appezzamenti del Vecchio Continente è l'aumento delle superfici coltivate in regime di agricoltura biologica e biodinamica e di quelle in conversione. Nel periodo 2014-2019 gli ettari certificati bio a livello continentale sono passati da 9.793.000 ha a 13.793.000 ha mentre in Italia l'incremento è stato paria a 600.000 ha raggiungendo un totale di 1.993.000 ha (EUROSTAT). In questi modelli agricoli la presenza di specie azotofissatrici è infatti

molto più ampia, sia per la necessità di seguire l'obbligo di rotazione dei terreni sia per sfruttare la forza vecchia che queste specie lasciano in dote alle colture successive. Ciò è ancor più comprensibile se si considerano le difficoltà che in agricoltura non convenzionale si hanno nell'apportare al terreno quantità anche modeste di azoto esogeno.

A livello continentale le specie di *Fabaceae* coltivate sono divisibili in due macrocategorie: le leguminose a ciclo primaverile-estivo e quelle a ciclo di coltivazione autunno-primaverile. Al primo gruppo appartengono la soia (*Glycine max* (L.) Merr.), varie tipologie di fagiolo (*Phaseolus spp.*), il fagiolo dall'occhio (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e l'arachide (*Arachis hypogea* L.). Al secondo raggruppamento fanno invece capo il cece (*Cicer arietinum* L.), il pisello (*Pisum sativum* Ash. et Gr.), la lenticchia (*Lens culinaris* Med.), varie tipologie fava (*Vicia faba* L.) e di lupini (*Lupinus spp.*) e anche la cicerchia (*Lathyrus sativus* L.).

1.2 Cicerchia (*Lathyrus sativus* L.)

La cicerchia è una Leguminosa erbacea ad accrescimento indeterminato. Questa specie è ancor oggi coltivata su un consistente numero di ettari in diversi paesi del mondo per la produzione di alimenti destinati al consumo umano così come per la produzione di foraggi o granella usati per alimentare il bestiame. Si contano più di un milione di ha nel subcontinente indiano (Kumar et al., 2011; Tesgaye et al., 2005), più di 110.000 ha in Etiopia (DFID, 2003) e 12.790 ha in Turchia (TUIK, 2019). Questa specie svolge quindi un ruolo prominente nei sistemi agricoli di Etiopia, Turchia, Pakistan, India, Nepal, Bangladesh e in altri paesi del sud-est asiatico. La sua importanza deriva dal fatto che questa coltura dimostra in campo un elevatissimo grado di rusticità e tolleranza agli stress biotici e abiotici, difficilmente paragonabile con le altre *Fabaceae*. Essa riesce a svilupparsi e a produrre anche in condizioni di elevato stress idrico, adattandosi pressoché a tutti i tipi di terreno, compresi quelli marginali e/o leggermente salini, e inoltre è in grado di allegare una certa quota di semi anche in condizioni che non consentono il volo degli insetti pronubi (ASSAM, 2003). A conferma della rusticità di questa specie Kachout et al. (2019) hanno dimostrato che la germinazione dei semi di cicerchia non è influenzata negativamente da un elevato stress osmotico, anzi, migliora in presenza di potenziali osmotici pari a -1 MPa. Nei paesi sopracitati la cicerchia viene coltivata prevalentemente per uso alimentare umano, eccezion fatta per la Turchia dove la maggior parte degli ettari seminati a *Lathyrus sativus* L., molto spesso in consociazione con una Graminacea, è utilizzata per produrre foraggio (Atis e

Acikalin; 2020). La coltivazione nei paesi del continente asiatico avviene solitamente in successione al riso, seminando la cicerchia poco prima o poco dopo la raccolta del cereale, allo scopo di eseguire la rotazione delle colture e per sfruttare le riserve idriche presenti nel terreno dovute alla precedente sommersione del riso. Nel continente europeo la cicerchia è stata storicamente coltivata in maniera molto più ampia e diffusa rispetto al livello attuale, rappresentando una delle principali fonti proteiche utilizzate dalle comunità contadine dell'Europa meridionale. La domesticazione di *Lathyrus sativus* L. si ritiene che sia avvenuta nella zona compresa tra i Balcani e la porzione orientale del bacino del Mediterraneo durante l'età del bronzo (Kislev, 1989). Da questa zona di domesticazione si è poi diffusa verso oriente e verso occidente seguendo gli spostamenti delle comunità di agricoltori.

La morfologia della cicerchia è caratterizzata da un apparato radicale fascicolato e robusto, in grado di esplorare, occupare e sfruttare un ampio volume di terreno e, conseguentemente, un elevato numero di nicchie radicali. La parte epigea è costituita da un numero variabile di steli erbacei a portamento prostrato-ascendente. Gli steli sono alati e mostrano sezione quadrangolare mentre le foglie si presentano lineari o lanceolate. Al termine delle foglie superiori si trova sempre un cirro ben sviluppato (Figura 0-2) contrariamente alle foglie basali dove il cirro è solo accennato. Importanti anche le stipole, sia per dimensione che per il ruolo fotosintetico. I fiori sono singoli, ascellari e portati al termine di un peduncolo lungo 2-3 cm. La corolla mostra colorazioni che vanno dal bianco all'azzurro-violetto (Figura 0-2). I fiori fecondati originano legumi lunghi 2-4 cm, con due ali ai lati della sutura dorsale e contenenti 2-3 semi. I semi sono tendenzialmente piatti, quadrangolari e con spigolosità più o meno accentuata a seconda dei genotipi. Il loro colore è molto variabile e può andare dal bianco opaco, al giallo tenue, al marrone più o meno scuro fino al rossiccio o al grigio. Molto spesso i semi presentano maculature o altri segni neri al disopra della tinta di fondo. Caratteristica tipica dei semi della cicerchia è la loro fortissima somiglianza con il brecciolino e questa peculiarità è alla base dei tanti nomi dialettali con cui viene nominata la pianta di cicerchia o i piatti a base dei suoi semi. *Lathyrus sativus* L. coltivato nel territorio marchigiano raggiunge solitamente un'altezza di 30-40 cm (Figura 0-3) e porta a produzioni di seme secco per ettaro che vanno dai 10 ai 25 quintali (ASSAM, 2003).



Figura 0-2: foto di dettaglio in cui è possibile apprezzare la funzione e l'efficacia prensile dei cirri oltre che la colorazione del fiore di Lathyrus sativus L.



Figura 0-3: parcellina sperimentale di Lathyrus sativus L.

Tutti i genotipi di cicerchia oggi conosciuti sono distinguibili in due gruppi: le varietà mediterranee, tendenzialmente caratterizzate da semi grandi e con un basso contenuto in β -ODAP, e le varietà asiatiche, generalmente contraddistinte da semi piccoli e con un elevato titolo di β -ODAP. La variabilità morfo-agronomica di questa specie può essere valutata anche attraverso altri caratteri come, ad esempio, il colore, la maculatura e la forma del seme, la forma delle foglie, il colore del fiore (solitamente più bianco nelle cv sottoposte a selezione e più azzurro-violetto nelle cv meno migliorate), l'epoca di fioritura, la forma e la curvatura del legume, il peso dei 100 semi, il numero di legumi per pianta, il numero di semi

per legume, il numero di steli per pianta, la lunghezza degli steli e la produttività per ettaro (Polignano et al., 2005; Tavoletti et al., 2010). Altri caratteri che sono stati analizzati per valutare la variabilità del germoplasma sono il contenuto in proteine e in ceneri dei semi (Granati et al., 2003; Tavoletti et al., 2010). Certamente i caratteri più interessanti ed attenzionati per questa coltura sono stati e sono il contenuto in β -ODAP e la produttività.

La progressiva riduzione, fino quasi alla scomparsa, della coltivazione della cicerchia nel territorio europeo, e la sua sostituzione con altre fonti proteiche (sia vegetali che animali) è avvenuta in più fasi e a causa di diversi fattori concomitanti. Ad incidere sulla regressione della cicerchia, tra gli altri fattori, hanno sicuramente avuto un ruolo fondamentale i due principali aspetti negativi di *Lathyrus sativus* L.: la presenza di acido 3-(β -N-oxalil)-L-2,3-diaminopropionico (β -ODAP) e la suscettibilità all'allettamento. Gli altri fattori che hanno contribuito alla sostituzione della cicerchia con altre fonti proteiche sono da attribuirsi alla diffusione dei fagioli (*Phaseolus spp.*) prima e la maggior disponibilità di carne poi. La presenza di β -ODAP all'interno dei semi, talvolta anche in concentrazioni elevate, è stato ed è attualmente l'aspetto che più penalizza questa coltura, altrimenti contraddistinta da caratteristiche più che positive. Questo metabolita esercita azione neurotossica sia nell'uomo che negli animali da allevamento portando a debolezza, atrofia dei muscoli delle gambe e, nei casi più gravi, a deformità scheletriche e paralisi irreversibile degli arti inferiori. Questa sintomatologia prende il nome di latirismo, termine coniato dal medico Arnaldo Cantani nel 1873 che fu il primo, in epoca moderna, ad associare scientificamente l'abuso di cicerchia con la sintomatologia tipica della patologia. Tuttavia, già al tempo della Grecia classica era nota la dannosità di un eccessivo consumo di semi del genere *Lathyrus*. L'eziologia della malattia è legata al metabolismo degli aminoacidi solforati, scarsamente presenti nei legumi, e in particolare della metionina. L'alimentazione basata esclusivamente, o quasi, sul consumo di cicerchia porta allo sviluppo della malattia, ancor più se la cicerchia o la sua farina non subiscono nessun trattamento termico (cottura o tostatura). Infatti, l'ammollo dei semi seguito dall'eliminazione dell'acqua di ammollo e dalla loro cottura consente di inattivare il principio attivo neurotossico. Il consumo di cicerchia adeguatamente preparata all'interno di un'alimentazione bilanciata, varia e comprendente fonti di aminoacidi solforati (come cereali, cipolle, aglio o zenzero) comporta un rischio per la salute assolutamente trascurabile, come affermato da Hillocks et al. (2012) e da Lambein et al. (2019). Nel corso dei secoli il latirismo si è manifestato più volte sotto forma ondate epidemiche strettamente legate a periodi di carestia, come dimostrano l'ultimo picco di sviluppo della malattia

avvenuto in Etiopia durante la carestia del 1995-96 (Getahun et al., 1999) o l'opera di Francisco Goya di inizio '800 "Gracias à la almorta". Durante questi periodi di forte carenza alimentare, dovuti in prevalenza a siccità, *Lathyrus sativus* L. mostra tutti i suoi lati positivi di coltura estremamente rustica, riuscendo a produrre quando tutte le altre colture falliscono, ma al contempo esprime sull'uomo il suo lato negativo: rappresentando l'unico o il principale alimento disponibile l'incidenza di persone che sviluppano latirismo aumenta in maniera sostanziale, anche a causa dell'elevata concentrazione di β -ODAP in conseguenza del clima siccitoso.

La concentrazione di β -ODAP nei semi è piuttosto variabile e, tendenzialmente, è più elevato nelle landraces rispetto alle cv che hanno subito selezione. Le popolazioni localmente adattate, o landraces, collezionate in centro Italia mostrano titoli di β -ODAP compresi tra 0,2 e 0,5% (Tavoletti et al., 2010), mentre le accessioni tipiche del Medio Oriente esprimono concentrazioni variabili tra 0,02 e 1,20% e quelle del subcontinente indiano sintetizzano β -ODAP in concentrazioni che vanno da 0,7 a 2,4% (Dixit et al., 2016). Vi sono però anche delle accessioni che sono caratterizzate da un basso contenuto di β -ODAP, addirittura inferiore allo 0,2% (Dixit et al., 2016).

La biosintesi e l'accumulo di β -ODAP nei semi dipende dal genotipo dell'accessione ma è anche fortemente relazionato alle condizioni di coltivazione: piante di cicerchia che si sviluppano in condizioni ottimali, soprattutto per quanto riguarda la disponibilità idrica e le temperature, presenteranno una produzione maggiore e migliore, in quanto il contenuto in β -ODAP sarà minore rispetto a piante coltivate in condizioni stressanti.

Altro punto debole della cicerchia, che ha contribuito alla regressione della sua coltivazione, è la suscettibilità all'allettamento. Questa specie presenta infatti un habitus di crescita, variabile durante il periodo di coltivazione, che viene definito prostrato-ascendente. Durante le prime fasi fenologiche, infatti, gli steli della pianta presentano portamento tendenzialmente eretto poi, con il proseguire della stagione, gli steli si allungano divenendo striscianti nella loro porzione prossimale e mantenendo eretta solo la parte apicale. In questo periodo i cirri della cicerchia si avvinghiano a qualsiasi sostegno sia nella loro portata: altre piante di cicerchia, infestanti, colture consociate o altro ancora. Il livello di allettamento diviene massimo dopo il completo riempimento dei legumi: il peso dei semi completamente sviluppati porta le piante di cicerchia ad appoggiarsi l'una sopra l'altra e/o a qualsiasi tipo di sostegno esse abbiano a disposizione. Inoltre, se durante il periodo di riempimento o di disidratazione dei legumi si verificano piogge particolarmente intense la coltura viene ancor più schiacciata a terra. La predisposizione della cicerchia, e di altre leguminose a crescita

indeterminata, all'allettamento rende la mietitrebbiatura decisamente poco agevole. Proprio a causa di questa problematica la raccolta meccanica della cicerchia coltivata presso Serra de' Conti, principale zona di produzione delle Marche, viene soventemente eseguita in più tempi: in un primo passaggio si falcia la coltura quando presenta il circa il 90% dei semi giunti a maturità, in seguito si andana la cicerchia prima di procedere alla mietitrebbiatura utilizzando una mietitrebbiatrice dotata di testata pick-up. L'insieme di queste pratiche, se confrontate con la mietitrebbiatura diretta, porta all'incremento delle ore di lavoro che si traducono in maggiori costi colturali. Va inoltre considerata la perdita di semi legata alle operazioni di sfalcio e andanatura della coltura. La tendenza della cicerchia ad allettarsi, andando quindi a coprire il terreno con una sorta di tappeto vegetale, può essere invece considerata un pregio se si pensa al suo utilizzo come cover crop: questo tipo di habitus vegetativo, unito alla naturale e notevole competitività di *Lathyrus sativus* L. verso le erbe infestanti, consente a questa leguminosa di sviluppare la propria biomassa, scopo dell'impianto della cover crop, limitando al minimo lo sviluppo e la disseminazione delle malerbe.

Gli altri due fattori che hanno spinto all'abbandono della cicerchia in favore di altre fonti proteiche sono l'arrivo dei fagioli (*Phaseolus spp.*) e la maggior disponibilità di carne, come precedentemente anticipato. I fagioli, importati dalle Americhe nel '500, hanno velocemente spodestato la cicerchia in tutte quelle zone dov'era possibile coltivare questa nuova specie: i motivi di una così rapida sostituzione sono da ascrivere all'assenza di composti tossici, alla versatilità d'uso (fagioli freschi, secchi o perfino fagiolini mangiatutto), al ciclo colturale primaverile-estivo e all'habitus di crescita originario del fagiolo che è indeterminato e rampicante. Le ultime due caratteristiche rendevano e rendono ancor oggi *Phaseolus spp.* la Leguminosa ideale da consociare con l'altra importante coltura giunta dal Nuovo Mondo: il mais (*Zea mais* L.). È ora meglio comprensibile la celerità con cui è avvenuta questa sostituzione in quelle aree e in quegli appezzamenti che erano idonei alla coltivazione del fagiolo. L'ultima grande riduzione di superficie coltivata a cicerchia avviene a partire dalla metà del '900 a causa dello spopolamento delle zone agricole marginali, ovvero proprio quelle in cui la cicerchia rappresentava un'importante quanto insidiosa fonte di sostentamento, e a causa della maggior disponibilità e maggior domanda di fonti proteiche considerate più nobili.

Alla luce di quanto detto si può comprendere il potenziale di *Lathyrus sativus* L. se sottoposto a programmi di miglioramento genetico adeguati. Ad oggi, gli scopi di questi ipotetici programmi di breeding dovrebbero essere diretti alla riduzione/eliminazione della

presenza di β -ODAP dai semi e all'aumento della produttività della coltura (magari agendo sul tasso di allegazione) cercando, al contempo, di mantenere le caratteristiche di rusticità che rendono così interessante questa specie.

1.3 Grani antichi (*Triticum spp.* L.)

La denominazione comunemente utilizzata di “grani antichi” si riferisce alle *old varieties* o *heritage varieties*, ossia ad ecotipi, landrace oppure genotipi selezionati dai primi programmi di miglioramento genetico. In generale, tutti i frumenti che sono stati coltivati prima degli anni '20 del Novecento possono considerarsi frumenti antichi. Si sceglie questo periodo come limite temporale, a dire il vero piuttosto sfumato, poiché proprio in quegli anni il genetista marchigiano Nazareno Strampelli comincia a effettuare con successo i suoi programmi di miglioramento genetico tramite incroci mirati.

Cosa accomuna e cosa fa differire i grani antichi dalle moderne cv? Quali sono le caratteristiche positive e negative di queste due categorie di frumento?

Innanzitutto, i cosiddetti grani antichi sono genotipi non sottoposti ad intensa selezione oppure popolazioni caratterizzate da una larga base genetica, mentre le cultivar moderne sono costituite da linee pure selezionate mediante intensi programmi di miglioramento genetico. La caratteristica che distingue le due tipologie di frumento a colpo d'occhio è sicuramente la differenza nella taglia. A parità di epoca di semina l'altezza dei frumenti antichi è sempre ben maggiore rispetto a quella raggiunta dalle cv migliorate, in virtù di un maggior sviluppo in lunghezza degli ultimi internodi. Altezze anche abbondantemente superiori al metro sono comuni tra le diverse popolazioni di grani antichi, in particolare se tra la semina e la levata intercorre molto tempo. Tale caratteristica è tipica di tutte le landraces di cereali non selezionate secondo i criteri dell'agricoltura moderna in quanto le piante che riescono ad esprimere altezze elevate hanno dei vantaggi competitivi nei confronti delle piante loro competitori, i quali si traducono in maggiori possibilità di creare progenie e maggior diffusione dei loro geni nel tempo e/o nello spazio. I vantaggi della taglia elevata sono comprensibili se si immagina un contesto agricolo non moderno, ovvero senza l'ausilio di principi attivi diserbanti o fitoiatrici, senza la disponibilità di concimi di sintesi, spesso con lavorazioni poco profonde rispetto a quelle eseguibili con i mezzi meccanici e, il tutto, in un contesto agricolo prevalentemente di sussistenza. I benefici assicurati da una altezza consistente sono sostanzialmente due: migliore competizione inter e intraspecifica e maggior produzione di paglia. Il cereale che, sviluppando maggiormente in lunghezza i suoi ultimi

internodi, riesce a portare la sua foglia a bandiera al di sopra della canopy costituita dalle specie infestanti e/o dalle altre piante di frumento vince la competizione per l'intercettazione luminosa. Al termine della levata, infatti, la foglia a bandiera e quella immediatamente sottostante divengono i principali poli fotosintetici delle *Poaceae*: portarle dove non subiscono ombreggiamento consente di massimizzare la quantità di fotosintetati producibili dalla pianta e quindi permette di nutrire meglio e di più le cariossidi durante la loro maturazione. Ciò assicura un numero più alto di cariossidi per spiga e semi più grandi. Questi risultati sono interessanti per la pianta poiché così la sua progenie, i semi, sarà dotata di maggiori sostanze di riserva e quindi avrà maggiori chance di germinare ed insediarsi in modo ottimale. D'altro canto, questo risultato è interessante anche per l'essere umano agricoltore che può così godere di una produzione maggiore ma anche migliore, sia dal punto di vista della trasformazione in alimenti sia dal punto di vista della produzione di seme da utilizzare per la prossima semina. Il secondo vantaggio è un beneficio solo per l'uomo. Avere culmi più lunghi significa produrre una maggior quantità di paglia a parità di superficie e ciò, in contesti in cui la paglia era un bene estremamente versatile e utilizzato, rappresenta un aspetto non secondario. La paglia, infatti, poteva essere usata per creare pagliericci su cui dormire, oppure veniva intrecciata per confezionare dei cappelli, ma poteva anche essere usata per accendere il focolare, per alimentare il bestiame o per realizzare la loro lettiera. Il carattere taglia alta ha però anche dei considerevoli aspetti negativi: la suscettibilità all'allettamento (con i conseguenti problemi) e, spesso, maggior durata del ciclo colturale. È facilmente comprensibile perché piante più alte siano più soggette ad allettarsi, specie durante e a causa di eventi temporaleschi in cui si hanno piogge battenti e venti forti. L'allettamento innesca poi una serie di problematiche quali: il contatto con la terra e il ristagno di umidità che possono scatenare contaminazioni micotiche di tutte le parti epigee della pianta e l'interruzione dei vasi conduttori lungo lo stelo che comporta un rallentamento, se non l'arresto, della maturazione delle cariossidi. Con la coltura distesa a terra diviene più difficoltosa anche la raccolta, specialmente quella meccanica. Infine, lo sviluppo di internodi molto lunghi comporta dei tempi di levata maggiormente dilatati e ciò va poi a ritardare l'epoca di maturazione delle cariossidi in estate inoltrata, allungando la durata del ciclo colturale. Quest'ultimo aspetto fa sì che il frumento resti esposto più a lungo ad attacchi di malattie fungine, in particolare di ruggine bruna, che ha la capacità di azzerare la produzione degli appezzamenti colpiti. Per risolvere le problematiche ora descritte e per rendere le cv di frumento adatte ad un'agricoltura moderna, in cui sono disponibili diversi

input chimici esogeni e dove la raccolta è meccanizzata, sono state selezionate linee a taglia bassa e con una minor durata del ciclo colturale.

L'altra macroscopica caratteristica che distingue le vecchie popolazioni di frumento dalle attuali cultivar è la capacità produttiva. Le prime, coltivate con le tecniche e gli input attuali, si attestano su produzioni stabilmente comprese tra i 2,5 e i 4 Mg ha⁻¹ per il frumento duro e tra i 3 e i 5 Mg ha⁻¹ per il frumento tenero. Le varietà migliorate riescono a sostenere produzioni che oscillano tra i 4 e i 6,5 Mg ha⁻¹ per il frumento duro e tra i 6 e i 10 Mg ha⁻¹ nel caso del frumento tenero. Il divario produttivo è quindi più che evidente.

Un ulteriore aspetto che contraddistingue i frumenti teneri moderni dalle old varieties è la specializzazione delle cultivar. Ad oggi, ogni prodotto derivante da grano tenero viene realizzato utilizzando una precisa tipologia varietale o una miscela di tipologie; ciò consente ai trasformatori di creare un prodotto con determinate caratteristiche e di mantenerle tali nei successivi cicli produttivi. Per il frumento tenero le principali tipologie varietali attualmente diffuse sono: panificabile, panificabile superiore, di forza e biscottiero. Ogni tipologia ha determinate e peculiari caratteristiche legate alla genetica della cultivar. Ogni varietà moderna di frumento tenero è ascrivibile ad una di queste tipologie varietali ed è commercializzata indicando quella di appartenenza. Tutta questa classificazione nei frumenti teneri antichi non esiste.

Oltre alle differenze finora descritte tra i due gruppi di frumenti si riscontra anche un diverso grado di rusticità e di adattabilità ambientale. Il processo di selezione cui sono state sottoposte le cultivar moderne ha premiato i genotipi in grado di massimizzare le produzioni ma, svolgendo la selezione nelle migliori condizioni di coltivazione per il frumento, ha anche ridotto la presenza dei geni che conferivano rusticità e adattabilità ai genotipi di partenza.

È questo il motivo per cui le old varieties esprimono una resa stabile di anno in anno indipendentemente dalla località di coltivazione, come riportato nello studio condotto da De Vita et al. (2010). Viceversa, la stragrande maggioranza dei genotipi migliorati ha performance produttive eccellenti, decisamente molto migliori rispetto alle heritage varieties, solo negli areali e nelle annate favorevoli. All'atto pratico ciò significa che coltivando in diversi areali e in diverse annate una cv moderna essa presenterà un certo range di produzione, con un divario potenzialmente anche consistente tra i picchi massimi e quelli minimi; al contrario, coltivando in diversi areali e in diverse annate un grano antico esso presenterà un divario tra i picchi massimi e i picchi minimi molto più ristretto rispetto alla cv moderna. È però necessario dire che, probabilmente, la produzione della cv migliorata sia sempre maggiore o uguale rispetto a quella espressa dalla varietà antica. Nelle cv attuali

rimane però l'aspetto della differenza produttiva di una stessa cv se coltivata in luoghi diversi e soprattutto l'incostanza produttiva tra le annate, cosa che alimenta l'altalenanza dei mercati, dei prezzi e degli approvvigionamenti. Nonostante questa pregevole ed interessante caratteristica di adattabilità agli ambienti marginali, a causa della loro bassa produttività e degli altri aspetti negativi, i grani antichi rappresentano meno dell'1% degli oltre 200 milioni di Ha seminati a frumento nel mondo.

Nell'immaginario del consumatore medio italiano i grani antichi godono ora di un'ottima reputazione. Sono infatti presentati dalle varie pubblicità ed etichette come estremamente benefici per la salute umana e per l'ambiente. Posto che la loro coltivazione può essere vantaggiosa in termini ambientali, vista la loro minore necessità di cure colturali, rimane ampiamente dibattuta l'azione benefica nei confronti dell'uomo. In particolare, il dibattito, scientifico ma anche commerciale, si impernia sulla contrapposizione tra le cv moderne e i grani antichi. Le varietà attuali, ma soprattutto le farine da loro derivate, sono spesso accusate di essere le principali responsabili dell'aumento del numero di persone affette da celiachia o intolleranza al glutine, di essere meno digeribili e in generale di essere di scarsa qualità e poco adatte al consumo alimentare umano. Al contrario, i frumenti antichi, e le loro farine, sono indicati come alimenti molto salutari per via di un loro minor contenuto di glutine e/o diversa struttura del glutine. C'è infine da aggiungere che le cv moderne sono a volte presentate come Organismi Geneticamente Modificati o, addirittura, radioattive. Questi sono gli argomenti che più spesso vengono spesi a favore delle old varieties di frumento. Viceversa, i sostenitori delle varietà moderne difendono la loro innocuità per salute, enfatizzano la loro elevata produttività che consente di sfamare molte persone sfruttando poco terreno e affermano che non vi sono differenze nel glutine delle due tipologie di frumento. Saia et al. (2015) hanno provato a fare chiarezza su questi aspetti giungendo alle conclusioni di seguito esplicitate. Per quanto riguarda l'influenza sull'aumento dei casi di intolleranza al glutine o di celiachia (vera e propria allergia al glutine) il dibattito scientifico non è ancora giunto ad una conclusione mentre per quanto riguarda le differenze riguardanti il glutine delle due tipologie di frumenti si può affermare che la sua concentrazione dipende strettamente dal titolo proteico della granello il quale, a sua volta, varia in funzione delle condizioni di coltivazione e in particolare in base al livello di azoto disponibile o somministrato. La percentuale di glutine dei grani antichi può quindi essere pari, se non maggiore, rispetto a quella presente nei grani moderni. L'indice di glutine, che misura la tenacità del glutine, è invece più basso nelle heritage varieties rispetto al livello che si

riscontra nelle cultivar moderne. Infine, si può con sicurezza affermare che le varietà moderne attualmente coltivate in Italia e in Europa non sono state ottenute tramite transgenesi o cisgenesi e, soprattutto, non sono radioattive.

1.4 Consociazioni

Il termine consociazione definisce la coltivazione contemporanea di due o più specie o cultivar nello stesso appezzamento per un certo periodo di tempo (Katyayan, 2005). Probabilmente è una delle forme di coltivazione che più si avvicina agli ecosistemi naturali.

Esistono diverse tipologie di consociazioni:

- Erbacea: consociazione tra specie erbacee
- Arborea: consociazione tra specie arboree
- Mista o coltura promiscua: consociazione tra arboree ed erbacee

Tutte queste tipologie di consociazioni possono essere temporanee o mantenute permanentemente.

Le consociazioni erbacee sono solitamente realizzate a scopo foraggero, andando a seminare insieme prevalentemente leguminose e *Graminaceae* da utilizzare sia attraverso il pascolo sia attraverso lo sfalcio, oppure come cover crops nei periodi che intercorrono tra due colture principali o anche come miscuglio di essenze da sovesciare alla piena fioritura o, infine, anche per la produzione di granelle.

La composizione usuale delle consociazioni varia in base al loro scopo:

- Scopo foraggero: leguminose + graminacee
- Cover crops e sovesci: leguminose + graminacee + brassicacee
- Produzione di granelle: leguminose + graminacee; brassicacee inserite più raramente

Perché consociare? Quali sono i vantaggi legati a questa pratica?

I benefici agronomici correlati alla coltivazione contemporanea di più specie nello stesso appezzamento sono i seguenti: aumento della produzione complessiva (Yildirim and Guvence, 2005), aumento virtuale della superficie coltivata grazie ad una maggior efficienza d'uso delle superfici coltivate (Agegnehu et al., 2006; Zhang et al., 2007; Banik et al., 2009), miglioramento della qualità dei prodotti (Agegnehu et al., 2006; Barillot et al., 2014), limitazione dell'oscillazione delle rese (Mousavi e Eskandari, 2011; Ouma e Jeruto, 2010), risparmio di tempo, vicendevole protezione tra le colture, funzione di sostegno, facilitazione

della fecondazione incrociata, miglior sfruttamento dei diversi strati di terreno, dei diversi habitus vegetativi e dei diversi ritmi di crescita.

Dal punto di vista ambientale vi sono poi ulteriori vantaggi, (Millenium Ecosystem Assesment, 2005; FAO, 2017) tra i quali: riduzione della necessità di concimazioni azotate, effetti benefici per gli insetti utili e maggior livello di biodiversità a livello radicale.

Analizzando in dettaglio le coltivazioni consociate si può notare che i diversi ritmi di crescita delle varie specie/cultivar presenti in campo consentono alla consociazione nel suo complesso di sfruttare meglio i diversi periodi ottimali per la crescita e la produttività che si presentano nel corso dell'annata agraria (Sullivan, 2003). Ciò risulta poi in una maggiore produzione complessiva. In termini di produzione foraggera si può affermare che la qualità di un foraggio derivante da coltura consociata è migliore rispetto ad uno da coltura pura poiché è nutrizionalmente più equilibrato (Agegnehu et al., 2006; Barillot et al., 2014); lo stesso ragionamento è valido anche quando si parla di consociazioni usate per produrre granelle destinate all'alimentazione zootecnica. La tecnica della consociazione consente, in alcuni casi, anche di anticipare alcune operazioni colturali creando così un risparmio di tempo per l'agricoltore. L'esempio classico in questo caso è rappresentato dalla bulatura di leguminose foraggere negli appezzamenti seminati a cereali a paglia. La bulatura consiste nella trasemina ad inizio primavera di specie come *Medicago sativa* L. o *Trifolium spp.* negli appezzamenti seminati a cereali autunno-vernini prima che questi inizino la levata. Con questa operazione si anticipa la semina, e quindi anche l'insediamento, della leguminosa che è così in grado di fornire un primo taglio o un primo turno di pascolamento immediatamente dopo la raccolta del cereale. La vicendevole protezione tra le colture presenti nella consociazione può esplicarsi sia nei confronti del freddo sia nei confronti degli insetti nocivi (Sekamatte et al., 2003; Banik et al., 2006). Ad esempio, i colletti di *Medicago sativa* L. vengono in parte protetti dal freddo dalle foglie secche delle Graminacee microterme presenti nello stesso appezzamento oppure la presenza contemporanea di tante specie diverse mescolate tra loro può rendere più difficile la localizzazione olfattiva da parte degli insetti fitofagi nei confronti delle loro piante ospiti. La consociazione è stata spesso, ed è ancor oggi, utilizzata combinando una coltura eretta con una coltura rampicante o dotata di cirri. In questo modo la coltura eretta funge da sostegno su cui la specie rampicante si avvinghia. In questo modo le due, o più, specie sono sollevate da terra e ciò rende tutte le operazioni colturali più facili e meglio eseguibili. Esempi di consociazione che sfruttano questa

potenzialità sono: mais assieme a leguminose ad accrescimento indeterminato oppure leguminose dotate di cirri associate con cereali a paglia (Figura 0-4).



Figura 0-4: funzione di sostegno svolta dai culmi di frumento nei confronti degli steli di cicerchia. Si noti, nell'angolo in basso a destra, il portamento strisciante e tappezzante della leguminosa in assenza dei culmi di frumento

La consociazione consente anche di favorire la fecondazione incrociata tra due cultivar della stessa specie. Nella produzione di seme ibrido è infatti pratica diffusa quella di seminare a file separate, ma nello stesso appezzamento, la varietà portaseme e la varietà impollinante: la prima è quella destinata ad essere raccolta mentre la seconda viene solitamente distrutta subito dopo il termine della fioritura. La semina di più specie nello stesso campo permette anche un ottimale sfruttamento dei diversi strati di terreno e dei diversi habitus vegetativi. Seminare specie con apparato radicale fascicolato superficiale assieme a specie contraddistinte da apparato fittonante e/o anche con specie caratterizzate da radice ingrossata

consente di ottenere tre importanti benefici: esplorare minuziosamente tutte le nicchie radicali comprese in un volume di terreno potenzialmente molto ampio, effettuare una lavorazione biologica del suolo e portare in superficie i nutrienti eventualmente presenti negli strati profondi del suolo.

La contemporanea presenza di tante radici in un ampio volume terreno consente sfruttare tutte le risorse idriche e nutrizionali naturalmente presenti o messe a disposizione dall'uomo. Questo aspetto è particolarmente rilevante quando si impianta una consociazione con funzione di cover crop o catch crop. Il concetto di lavorazione biologica del suolo si fonda sull'attività di perforazione del terreno operata dalle radici delle colture; queste, nel loro ciclo vitale si allungano e si ingrossano creando dei percorsi che, dopo la morte della pianta o addirittura dopo la decomposizione delle radici stesse, divengono cunicoli e punti di frattura all'interno del suolo. La realizzazione di innumerevoli piccole gallerie porta poi ad avere una maggiore macroporosità del terreno, che consente una maggior aereazione e una più veloce penetrazione dell'acqua, una struttura più glomerulare e meno compatta e, infine, una migliore lavorabilità del terreno. Come ultimo aspetto rimane la capacità di portare in superficie i nutrienti eventualmente presenti negli strati profondi del suolo. Questo beneficio si realizza poiché alcune radici sono in grado di raggiungere profondità solitamente non esplorate dalla maggior parte delle radici. Le poche radici che arrivano in quelle zone solitamente non raggiunte vi attingono risorse idriche, ma soprattutto minerali, le quali vengono poi traslocate agli organi superficiali. In questo modo i minerali prima presenti in profondità sono portati a poca distanza dalla superficie o addirittura al di sopra del terreno: essi saranno asportati con la raccolta oppure, se rimangono all'interno dei residui culturali, torneranno ad essere facilmente disponibili per le successive colture dopo la decomposizione dei tessuti entro cui si trovano.

Per quanto riguarda lo sfruttamento dei diversi habitus vegetativi tale vantaggio è legato alla possibilità di consociare specie a portamento assurgente con specie a portamento prostrato-strisciante o rampicante. Agendo in questo modo si sfrutta al massimo l'energia luminosa che irradia l'appezzamento (Tsubo et al., 2001; Awal et al., 2006), si massimizza la copertura di tutta la superficie coltivata e le specie rampicanti possono godere del sostegno offerto dalle specie eretto-assurgenti.

Rimangono da trattare due dei principali vantaggi offerti dalle consociazioni: la limitazione dell'oscillazione delle rese e l'aumento virtuale della superficie coltivata.

La presenza di più specie o cultivar nello stesso appezzamento unitamente all'insieme di tutti i vantaggi finora descritti rappresentano i fattori che consentono alle consociazioni di

limitare l'oscillazione delle rese produttive nel corso degli anni e nei diversi contesti produttivi. Analizzando in dettaglio si può notare che le produzioni delle singole specie variano di anno in anno e in base ai diversi ambienti di coltivazione ma la stabilità della produzione complessiva offerta dalla consociazione, la quale è data dalla somma delle produzioni delle singole specie, non viene subisce variazioni significative.

L'aumento virtuale della superficie coltivata, dovuto alla maggior efficienza d'uso delle risorse, è misurato dal Land Equivalent Ratio (LER) (Mead and Willey, 1980; Bedoussac and Justes, 2011).

Questo indice misura la superficie coltivata a colture pure necessaria a raggiungere la produzione ottenuta coltivando le stesse specie in consociazione. Un esempio chiarificatore può rendere il tutto più semplice: coltivando un ettaro di consociazione frumento-favino si ottiene un LER di 1,4. Questo valore sta a significare che per ottenere la stessa produzione raccolta in un solo ettaro di consociazione sono necessari 0,7 Ha di frumento e 0,7 Ha di favino. In altre parole, 1 Ha di consociazione ha prodotto tanto quanto 1,4 Ha di colture pure. In questo modo si ottiene l'aumento virtuale della superficie coltivata: pur coltivando un solo ettaro si ottiene la stessa produzione che si raccoglierebbe su 1,4 ettari.

In pratica si ottiene di più con meno e i valori utilizzati nell'esempio non differiscono di molto da quelli misurati sperimentalmente. Per ulteriori approfondimenti riguardo il LER si veda il capitolo Materiali e metodi.

Vi sono poi gli aspetti benefici delle consociazioni nei confronti dell'ambiente.

Quello che oggi è considerato il principale vantaggio ambientale è la riduzione della necessità di concimazioni azotate (Andersen et al., 2005; Jensen, 1996; Ghaley et al., 2005; Hauggaard-Nielsen et al., 2009). Questo aspetto non si traduce solo in minori costi per le aziende agricole ma rappresenta un importante vantaggio collettivo poiché riducendo la domanda e l'utilizzo di fertilizzanti azotati si riducono, di conseguenza, anche le emissioni climalteranti ad essi connesse e le problematiche legate alla presenza di nitrati nelle acque superficiali così come in quelle di profondità.

La produzione, il trasporto e la distribuzione in campo delle ingenti quantità di concimi contenenti azoto che oggi contraddistinguono i sistemi agricoli più performanti sono responsabili del rilascio di un'importante quantità di diverse tipologie di sostanze inquinanti. Le *Fabaceae* presenti all'interno delle consociazioni e delle rotazioni possono in parte sopperire alla necessità di azoto pur mantenendo gli attuali livelli produttivi agricoli. Possono farlo grazie all'azotofissazione operata in simbiosi con diverse specie di batteri del

genere *Rhizobium*. Fissando nel terreno una quantità di N organico, più o meno rilevante a seconda della specie e della destinazione produttiva, possono aiutare a migliorare l'impatto ambientale delle attività agricole.

Le consociazioni possono inoltre rivelarsi utili nel mantenere ad un buon livello la presenza, il numero e la biodiversità degli insetti utili, quali i pronubi e gli insetti predatori e parassitoidi. L'utilizzazione a scala territoriale delle consociazioni comprendenti delle specie nettariifere e pollinifere può portare ai suddetti vantaggi. La diversità di specie in grado di produrre nettare e polline, le loro diverse epoche di fioritura, la presenza dei vari insetti fitofagi nelle consociazioni e la loro uniforme diffusione a scala territoriale possono infatti mettere a disposizione diverse fonti di nutrimento per buona parte dell'anno ai vari stadi vitali degli insetti utili. Ciò varrebbe tanto per gli insetti allevati dall'uomo quanto per le popolazioni selvatiche consentendo loro una sopravvivenza più semplice.

Infine, la presenza contemporanea di apparati radicali e di residui colturali appartenenti a specie o addirittura famiglie diverse garantisce un maggior livello di biodiversità a livello del suolo rispetto alle colture pure. Tale diversità, durante lo sviluppo e dopo il termine della coltura consociata, consente l'insediamento e il mantenimento di un'ampia biodiversità di organismi edafici (quali batteri, funghi, micorrize, nematodi, artropodi, anellidi, ecc) rispetto alle singole colture pure. Una composizione delle specie edafiche più equilibrata e diversificata si traduce in una maggior resistenza agli stress biotici e abiotici, nella capacità di decomporre i diversi residui colturali presenti e in una maggior effetto antagonistico nei confronti degli organismi patogeni e parassiti delle colture.

Come tutte le cose anche le consociazioni hanno insite in sé aspetti negativi e complicazioni, le quali sono di seguito presentate.

Le prime problematiche che si incontrano nella coltivazione di una consociazione riguardano l'adattabilità pedoclimatica e la compatibilità tra le specie che si vogliono inserire nella coltura associata. Ci possono inoltre essere complessità correlate alla semina. Lungo il ciclo colturale si possono poi verificare difficoltà nell'attuare la lotta alle infestanti, la concimazione, altre cure colturali e la raccolta.

L'adattabilità pedoclimatica delle specie che si vogliono consociare è un fattore tanto banale quanto fondamentale per la buona riuscita della consociazione. È quindi indispensabile progettare delle consociazioni in cui le specie utilizzate siano in grado di svilupparsi e produrre nelle condizioni climatiche e di terreno che caratterizzano l'appezzamento. È infatti illogico cercare di associare colture microterme, cioè a ciclo autunno-primaverile, con

colture macroterme, cioè a ciclo primaverile-estivo, così com'è illogico tentare di consociare specie acidofile con specie basifile. Altra preconditione necessaria al successo della consociazione è la compatibilità tra le specie che si vogliono associare: esistono infatti dei casi, soprattutto in orticoltura e in arboricoltura, in cui la consociazione non è vantaggiosa e, al contrario, riduce la quanti-qualità delle produzioni. Tale problematica è molto meno sentita nelle colture erbacee estensive ma rimane comunque un aspetto da valutare e tenere in considerazione ogni volta che si vuol creare una consociazione o, ancor di più, quando si vuole utilizzare una specie nuova per quel territorio.

Come accennato in precedenza possono esserci difficoltà nell'eseguire una semina tecnicamente corretta e ben eseguita. Il primo parametro tecnico con cui bisogna confrontarsi è la densità di semina; ogni specie ha infatti la sua densità di semina ottimale, espressa in numero di piante/m², e per ottenerla nelle colture pure è sufficiente registrare la seminatrice. Nelle consociazioni per ovviare al problema si hanno diverse possibili soluzioni: la prima consiste nel trovare un compromesso tra le densità di semina delle varie specie, la seconda prevede di utilizzare una seminatrice con più tramogge indipendenti tra loro, l'ultima possibilità si realizza nell'effettuare più passaggi di semina sullo stesso appezzamento. La prima soluzione è sicuramente la più semplice ma anche quella meno raffinata poiché ogni specie sarà seminata in densità diversa da quella ottimale. Per attuare questa soluzione è sufficiente usare una normale seminatrice applicando una taratura media per tutte le specie presenti in miscela nella tramoggia. A tale scopo possono essere utilizzate le normali seminatrici universali a righe, sia meccaniche sia pneumatiche, oppure anche i comuni spandiconcime opportunamente tarati. La seconda possibilità rappresenta un'ottima soluzione, soprattutto per quelle consociazioni composte da un basso numero di specie. Adoperando una seminatrice composta da più tramogge indipendenti e registrabili singolarmente si può ottenere la densità di semina ottimale per tutte le specie in un solo passaggio. Ad esempio, una tramoggia sarà dedicata alle specie a seme grosso, una alle specie con seme di medie dimensioni e una alle specie a seme minuto. L'ultima possibilità è anch'essa una buona soluzione dal punto di vista dell'impianto della coltura ma non è la soluzione ideale dal punto di vista economico. In più passaggi di semina, ponendo il seme nell'interfila precedentemente creata, si ottiene la densità di semina ottimale ma si moltiplica la superficie da seminare poiché lo stesso appezzamento va seminato più volte per intero. Nel caso in cui si voglia impiantare una consociazione utilizzando seminatrici di precisione monogerme la soluzione migliore è quella di dedicare ogni elemento di semina ad una specie e quindi montare su ogni elemento il disco adatto a quella specie. Su questo tipo di

seminatrici si potrà poi regolare la distanza tra le singole file al fine di realizzare il sesto d'impianto ideale.

Nelle consociazioni tra specie orticole o tra specie arboree o nei casi in cui si faccia coltura promiscua diviene di notevole importanza anche il sesto d'impianto utilizzato. L'obbiettivo, in questo caso, è distribuire le specie costituenti la consociazione nel modo più uniforme possibile. Per ottenere questo risultato l'associazione va attentamente studiata, progettata e realizzata.

Un ulteriore parametro tecnico che può essere problematico è la profondità di semina. Quasi al pari della densità di semina, ogni gruppo di specie ha la sua profondità di semina.

Adoperando le seminatrici multitraccia o seminando in più passaggi si possono mettere a dimora le varie specie alla profondità ideale, diversamente si dovrà accettare un compromesso che consenta l'emergenza di tutte le specie seminate. Sarà quindi la specie con seme più piccolo a determinare la profondità di semina nonostante la presenza di specie a seme grosso che si avvantaggerebbero di semine più profonde.

L'ultimo fondamentale criterio da considerare riguardo la semina delle colture consociate è l'epoca di semina. Tale parametro è precipuo di ogni specie ed è determinato dalla Temperatura Cardinale Minima di Germinazione (TCMG). Seminare alla temperatura del suolo ideale permette ai semi di germinare e di emergere nel minor tempo e nel modo più uniforme possibile. In questo caso la soluzione tecnicamente migliore sarebbe seminare singolarmente ogni specie nel momento in cui il terreno raggiunge la TCMG ma questa pratica è raramente adottata. La prassi più diffusa, in realtà, è rappresentata dalla consociazione di specie con TCMG molto simile in modo da eseguire una semina contemporanea per tutte le colture. Diversamente, bisognerebbe scegliere un compromesso tra le diverse TCMG oppure seminare tutte le specie quando viene raggiunta la TCMG più alta (oppure seminare tutte le specie quando la temperatura del suolo consente la germinazione della specie con la TCMG più elevata).

Proseguendo nel corso della coltivazione le difficoltà legate alla gestione delle consociazioni possono riguardare la lotta alle infestanti. Va subito detto che nel caso di consociazioni realizzate a scopo foraggero o come cover/catch crops o anche come sovesci questa problematica viene minimamente considerata. Ciò si deve al fatto che queste tipologie di consociazioni sono destinate ad essere rispettivamente sfalciate, pascolate, distrutte o sovesciate prima che le specie presenti vadano a seme. Per di più, una consociazione è molto più competitiva nei confronti delle infestanti rispetto alle colture pure e, nel caso di consociazioni foraggere, la presenza di alcune essenze spontanee può addirittura migliorare

gli aspetti quanti-qualitativi del foraggio o del pascolo. Solo nel caso in cui siano presenti specie non pabulari (poiché tossiche, spinose, arbustive, sgradite o troppo coriacee) si avrebbe una problematica reale.

Nel caso in cui si volessero controllare le malerbe in una consociazione si avrebbero numerose problematiche se non veri e propri impedimenti ad agire. Il controllo chimico è quasi impossibile per motivi di ordine tecnico e legale: in primis sarebbe molto difficile reperire sul mercato un principio attivo in grado di agire efficacemente sulle malerbe senza apportare danni, più o meno gravi, alle colture presenti. Tale ricerca diviene pressoché irrealizzabile quando si consociano specie di famiglie diverse, ad esempio *Fabaceae* assieme a *Poaceae*. In secondo luogo, ci sarebbero degli impedimenti legali poiché solitamente i principi attivi in commercio sono registrati, e quindi utilizzabili, solo su un numero limitato di colture. Questi aspetti, se osservati da un diverso punto di vista, rendono le consociazioni ambientalmente più sostenibili: maggior competitività verso le infestanti e al contempo minori quantità di principi attivi diserbanti immesse nell'ambiente e minori emissioni di CO₂ per produrli, trasportarli e distribuirli in campo.

Si potrebbe quindi tentare il controllo meccanico delle malerbe ma perfino questa opzione presenterebbe serie limitazioni, in particolar modo se si intende effettuarla mediante strigliatura. Infatti, questa particolare tecnica è nata per salvaguardare le *Graminaceae* in accestimento mentre effettua l'estirpatura leggera delle giovani plantule dicotiledoni: diviene così inutilizzabile in tutte quelle consociazioni in cui i cereali in accestimento sono inscindibilmente mescolati con specie a foglia larga. L'unico possibile metodo di controllo delle malerbe rimane quindi la sarchiatura. Andando a smuovere il terreno solo nelle interfile, le sarchiatrici riescono a tutelare le colture seminate lungo le file pur controllando le infestanti presenti in campo. Esse però non riescono ad agire, se non minimamente, nei confronti delle essenze spontanee presenti lungo le file e, inoltre, possono essere utilizzate solo nel caso di colture seminate spaziate e per questo definite, appunto, sarchiabili.

Nelle consociazioni, un ulteriore rompicapo può essere rappresentato dalla concimazione. Ogni specie coltivata ha infatti delle esigenze nutrizionali più o meno specifiche, sia in termini di tipologia sia in termini di quantità di elementi nutritivi utilizzati. Trovandosi in queste condizioni operative diviene molto difficile gestire una concimazione razionale e capace di supportare il massimo potenziale produttivo di ogni specie e, inoltre, le concimazioni utili per una o alcune specie potrebbero risultare inutili, o perfino dannose, per le performance quanti-qualitative di altre specie presenti in consociazione. Ad esempio, in una coltura associata di Graminacee e leguminose le concimazioni azotate di copertura, tanto

importanti per la produttività dei cereali, sarebbero ben poco utili alle leguminose presenti in campo. Caso ancor più difficile sarebbe concimare una consociazione dove le specie presenti hanno diversi livelli nutritivi da soddisfare: distribuire il livello elevato di concimazione significherebbe nutrire adeguatamente una o alcune colture mentre le altre avrebbero troppi nutrienti a disposizione (con i relativi problemi); al contrario, distribuire il livello nutrizionale inferiore consentirebbe di soddisfare le necessità solo del gruppo di specie meno esigenti.

Anche altre cure colturali possono essere di difficile realizzazione in una consociazione, tra queste la lotta ai parassiti e ai patogeni. Coltivando insieme specie diverse va considerato che ognuna di esse può subire attacchi più o meno gravi da parte dei diversi patogeni e parassiti che attaccano le singole colture. Le misure preventive e quelle curative diverrebbero dunque numerosissime e si accavallerebbero tra loro creando un grande lavoro per l'agricoltore e, forse, anche un effetto protettivo limitato. Sembrerebbe quindi che le consociazioni siano destinate al fallimento a causa degli attacchi di patogeni e parassiti ma, la presenza in campo di specie diverse e la specificità degli organismi dannosi, sono alcuni dei fattori alla base della stabilità delle rese tipica delle consociazioni. È infatti altamente improbabile, soprattutto in consociazioni costituite da un alto numero di specie, o addirittura di famiglie diverse, che nella stessa annata tutte le colture siano colpite e danneggiate in maniera rilevante.

Nelle colture promiscue, al momento della progettazione della consociazione, vanno poi considerate le operazioni di potatura secca e verde e le operazioni di diradamento del carico produttivo presente sulle specie arboree. Nelle consociazioni con specie orticole, invece, va tenuto a mente l'eventuale necessità di una pacciamatura di varia natura. Se, infine, si vuole somministrare acqua irrigua alla consociazione bisogna ragionare su tutte le possibili implicazioni riguardanti i parametri irrigui oltre che gli aspetti fitosanitari e logistici legati a questa operazione. Tutte le pratiche suddette, per il loro ottimale svolgimento, necessitano infatti di spazi, tempistiche e procedure adeguate.

Rimangono, infine, le problematiche legate alla raccolta.

La presenza contemporanea di specie diverse nello stesso appezzamento rende impossibile utilizzare i diversi sistemi di raccolta idonei alle varie colture presenti. Molto spesso, e in particolare nelle consociazioni erbacee, la raccolta avviene simultaneamente per tutte le colture presenti. Ciò implica, per l'ennesima volta, la ricerca di compromessi il più possibile ottimali. Tali compromessi possono riguardare l'epoca di raccolta a causa della diversa epoca di maturazione, la scelta e la taratura degli organi meccanici che eseguono la raccolta

per via della diversa forma e dimensione degli organi vegetali da raccogliere oppure anche la “porzione” di appezzamento da raccogliere nel caso in cui si consocino specie che producono al di sopra del terreno assieme a specie in cui il prodotto da raccogliere si sviluppa all’interno del terreno. A seconda delle casistiche si può quindi optare per una raccolta contemporanea e complessiva della consociazione regolando adeguatamente, ad esempio, il battitore e il controbattitore della mietitrebbia (nel caso della raccolta di consociazioni per la produzione di granella). Un’altra possibilità è rappresentata dall’eseguire più passaggi di raccolta raccogliendo una o poche specie per volta, come nel caso delle bulature, dove prima si esegue la mietitrebbiatura del cereale tenendo alta da terra la testata di raccolta per poi eseguire lo sfalcio della Leguminosa in un secondo passaggio. Un’ulteriore soluzione potrebbe essere data dall’utilizzazione diretta da parte degli animali attraverso il pascolo: i suini (in particolar modo le cosiddette razze rustiche o loro incroci), ad esempio, sono perfettamente in grado di valorizzare consociazioni come sorgo bianco associato a barbabietola da foraggio, leguminose da granella abbinate a cereali mutici e molte altre (Giannoni, 2017).

In conclusione, rimane da fare un’ultima considerazione riguardo tutti gli aspetti negativi e complicazioni legati alla coltivazione delle consociazioni: eccezion fatta per l’adattabilità pedoclimatica e la compatibilità tra le specie da consociare, non si avrebbe nessuna delle suddette problematiche se non si utilizzassero le macchine e le tecniche moderne. Se si fosse costretti per motivi contingenti, o se si volesse seguire la coltivazione basandosi unicamente sulla forza lavoro dell’uomo, le consociazioni darebbero nessuno degli impedimenti suddetti e, anzi, mostrerebbero appieno tutto il loro potenziale e tutti i loro vantaggi. Non è un caso, infatti, se il ricorso alle consociazioni è maggiore nei paesi in via di sviluppo e in tutte le aree dove l’agricoltura ha a disposizione pochi degli input tipici dei sistemi agricoli più performanti. L’uomo, rispetto ai macchinari e mezzi agricoli, ha un ingombro e un raggio di sterzata minimo, non calpesta le colture, non crea ormaie e né compattamenti rilevanti e può eseguire qualsiasi operazione colturale con una precisione e una delicatezza impensabili per qualsiasi macchina. Ciò consente alle popolazioni umane delle zone tropicali di consociare mais, legumi rampicanti e manioca nello stesso appezzamento, cosa che sarebbe estremamente difficile gestire con le tecniche e i mezzi moderni. Il risvolto della medaglia sta nell’alta mole di lavoro e di fatica richiesta oltre che nella minore produttività del lavoro.

1.5 Consociazione frumenti antichi-cicerchia: il progetto B.A.L.T.I.

Nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale 2014-2020 (PSR) la Regione Marche ha deciso di finanziare il progetto Biodiversità Agraria Leguminose – Tradizione e Innovazione (B.A.L.T.I.). Tale progetto, finanziato attraverso la Misura 16.1 A.2 “Finanziamenti dei Gruppi Operativi FA 2A”, ambisce ad essere motivo di stimolo per la diffusione delle leguminose nella Regione Marche ed in particolare punta a riproporre la coltivazione delle leguminose tradizionali e minori nelle aree interne della regione. Il Gruppo Operativo (GO) comprende la cooperativa “La Bona Usanza”, l'Università Politecnica delle Marche (UNIVPM), il pastificio “Pasta Ciccarelli srl”, ASSAM Marche e CIA provincia di Ancona. La cooperativa, attraverso due suoi soci, ha ospitato alcune delle sperimentazioni agronomiche effettuate; UNIVPM ha seguito le sperimentazioni in campo e le analisi di laboratorio necessarie alla sperimentazione; “Pasta Ciccarelli srl” ha eseguito la pastificazione delle farine di leguminose mentre ASSAM e CIA si sono occupati della divulgazione del progetto e dei risultati da esso ottenuti. L'ambito agronomico del progetto B.A.L.T.I. si concentra sulla sperimentazione ed ottimizzazione della consociazione tra cicerchia (*Lathyrus sativus* L.) e frumenti (*Triticum spp.*), in particolare è stato scelto di utilizzare la cicerchia di Serra de'Conti associata a due tipologie di grani antichi: frumento tenero Jervicella (*Triticum aestivum* L.) e frumento duro Saragolla (*Triticum durum* Desf.). Visto il forte legame con il territorio che il progetto si propone di avere, si è deciso di utilizzare la cicerchia di Serra de'Conti e il frumento tenero Jervicella poiché rappresentano due accessioni della biodiversità agraria delle Regione Marche catalogate dall'ASSAM, rispettivamente la numero 48 e la numero 60. Questa scelta consente di ottenere diversi vantaggi: utilizzare genotipi a larga base genetica già adattati alle condizioni di coltivazione della Regione Marche, valorizzare risorse genetiche e territori “minori” e, infine, aumentare la biodiversità delle coltivazioni negli appezzamenti delle Marche. Le sperimentazioni agronomiche sono state eseguite a scala di parcelle e parcelloni presso l'Azienda Agraria didattico-sperimentale “Pasquale Rosati” (che ospita i campi sperimentali dell'UNIVPM) e a scala di pieno campo presso l'azienda agricola Sdogati Mario. La posizione delle aziende agricole coinvolte nel progetto B.A.L.T.I. è visibile in Figura 0-5.



Figura 0-5: immagine satellitare che mostra l'ubicazione delle aziende agricole coinvolte nel progetto B.A.L.T.I.

Gli obiettivi dell'intero progetto B.A.L.T.I. sono riassumibili nei seguenti punti:

- Testare ed ottimizzare la pratica della consociazione tra cicerchia e frumenti, con un ricorso nullo o molto limitato ad input chimici, al fine di favorire la diffusione di pratiche agricole sostenibili
- Mettere a punto alimenti a base di leguminose che siano funzionali e con caratteristiche tecnico-organolettiche ottimali
- Implementare delle filiere corte in grado di valorizzare i rapporti ed il know-how tra i vari attori della filiera (ricerca pubblica, aziende agricole, trasformatori e consumatori) e quindi in grado di promuovere la diffusione delle leguminose a scala regionale

1.6 Scopo della tesi

Obiettivo della presente tesi è quello di valutare l'efficacia della consociazione tra frumenti antichi e cicerchia come strategia di coltivazione innovativa e a basso impatto.

In particolare, l'attenzione sarà concentrata sulla cicerchia in quanto coltura tradizionale con notevoli potenzialità e quindi meritevole di essere nuovamente coltivata su ampia scala.

Nella presente tesi di laurea saranno quindi esaminati gli andamenti meteorologici delle due annate in cui si è svolta la sperimentazione, in modo da comprendere quale sia stata la loro influenza sulle prove.

Successivamente, si passerà ad analizzare alcuni aspetti importanti per un'approfondita valutazione di questo tipo di consociazione.

In particolare, saranno indagate consociazioni con densità di semina della cicerchia totalmente diverse fra loro nelle due annate.

Per entrambe le annate di sperimentazione saranno considerati ed analizzati i seguenti parametri produttivi:

- risposta produttiva della cicerchia sia in coltura consociata che in coltura pura
- risposta produttiva dei frumenti sia in coltura consociata che in coltura pura
- Land Equivalent Ratio della sola cicerchia
- Land Equivalent Ratio dei due frumenti
- Land Equivalent Ratio totale

Per la sola annata 2021 saranno analizzati ulteriori aspetti non produttivi.

Il principale tra questi sarà l'allettamento della cicerchia a fine ciclo colturale, attraverso la misura della lunghezza degli steli, dell'altezza della canopy e dell'indice d'allettamento. L'osservazione e l'interpretazione dei suddetti parametri consentirà di constatare se le consociazioni testate siano adeguate a migliorare la suscettibilità all'allettamento di *Lathyrus sativus* L. e quindi a consentirne la mietitrebbiatura diretta, con particolare riguardo per le consociazioni in cui il cereale è presente a bassa fittezza di semina.

L'effetto della consociazione sui due frumenti sarà invece approfondito attraverso la misurazione della loro altezza e del loro stato nutrizionale utilizzando un lettore SPAD.

Capitolo 2 MATERIALI E METODI

2.1 Materiali vegetali

Nella sperimentazione eseguita sono stati complessivamente utilizzati tre genotipi:

- Frumento duro “Saragolla” (*Triticum durum* Desf.)
- Frumento tenero “Jervicella” (*Triticum aestivum* L.)
- Cicerchia di Serra de’ Conti (*Lathyrus sativus* L.)

La seguente Tabella 1 riassume e confronta le caratteristiche dei due frumenti scelti per la sperimentazione:

| CARATTERISTICA | FRUMENTO DURO “SARAGOLLA” | FRUMENTO TENERO “JERVICELLA” |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Lunghezza del ciclo di coltivazione | Medio-tardivo | Medio-tardivo |
| Alternatività | Alternativo | Alternativo |
| Altezza pianta (cm) | 115 ± 5 | 120 ± 10 |
| Epoca di spigatura (gg dal 1° aprile) | 45 | 50 |
| Tipo di spiga | Aristata | Mutica |
| Colore reste | Base nera, apici chiari | |
| Colore cariossidi | Giallo vitree | Bruno |
| Peso medio cariossidi (mg) | 65 | 48 |

Tabella 1: confronto tra le principali caratteristiche dei due genotipi di frumento utilizzati nella sperimentazione. Fonte: Biodiversità agraria delle Marche, ASSAM.

La Figura 2.1 mostra le differenze tra i due genotipi di frumenti utilizzati nella sperimentazione.



Figura 2-1: immagine in cui sono immortalate due parcelle seminate con due consociazioni: a sinistra Saragolla-Cicerchia e a destra Jervicella-Cicerchia. Si apprezzino, per quanto possibile, le differenze morfologiche tra i due genotipi di frumento

Per quanto riguarda la cicerchia di Serra de' Conti, in Tabella 2 si specificano le peculiarità che la contraddistinguono dalla descrizione generale della cicerchia precedentemente affrontata nel sottocapitolo 1.2. I dati presenti in Tabella 2 sono stati ripresi dall'opera "Biodiversità agraria della marche" pubblicata da ASSAM nel 2003.

| CARATTERISTICHE DELLA CICERCHIA DI SERRA DE' CONTI | |
|---|---|
| Lunghezza degli steli (cm) | 65 ± 3 |
| Colore fiore | Bianco con sfumature azzurre |
| Colore semi | Giallognolo-grigiastro con sfumature brune |
| Forma semi | Compressa, con spigolosità più o meno accentuata |
| Peso 1000 semi (g) | 230 |
| Numero medio semi/baccello | 2,5 |
| Contenuto proteico (%) | 25-27 |
| Contenuto in β-ODAP (g/100g s.s.) | 36 |

Tabella 2: principali caratteristiche della cicerchia di Serra de' Conti

2.2 Conduzione prove 2020 e schema sperimentale

Nell'anno 2020 la prova è stata eseguita presso l'Azienda Agraria didattico-sperimentale "Pasquale Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche su terreno gestito in lavorazione tradizionale (aratura a 30 cm e successivi affinamenti). La semina è avvenuta in data 13 Gennaio a mezzo seminatrice parcellare Vignoli (Figura 2-2) e sono state valutate sia le colture pure che le consociazioni alle densità riportate di seguito nella Tabella 3.



Figura 2-2: operazione di semina delle parcelle utilizzando la seminatrice parcellare a disposizione dell'Azienda Agraria didattico-sperimentale Università Politecnica delle Marche

Nelle tabelle a seguire si utilizzeranno le seguenti abbreviazioni:

- Sar = frumento duro "Saragolla"
- Jer = frumento tenero "Jervicella"
- SdC = Cicerchia di Serra de' Conti

| COLTURE | NUMERO Pt m² FRUMENTO | NUMERO Pt m² CICERCHIA | SEME Kg ha⁻¹ FRUMENTO | SEME Kg ha⁻¹ CICERCHIA |
|------------------------|---|--|---|--|
| Serra de' Conti | 0 | 80 | 0 | 273 |
| Saragolla | 350 | 0 | 274 | 0 |
| Jervicella | 350 | 0 | 216 | 0 |
| Sar-SdC 80:20 | 280 | 16 | 220 | 55 |
| Sar-SdC 60:100 | 210 | 80 | 165 | 273 |
| Sar-SdC 60:40 | 210 | 32 | 165 | 109 |
| Sar-SdC 40:100 | 140 | 80 | 110 | 273 |
| Sar-SdC 40:60 | 140 | 48 | 110 | 164 |
| Sar-SdC 20:80 | 70 | 64 | 55 | 218 |
| Jer-SdC 80:20 | 280 | 16 | 172 | 55 |
| Jer-SdC 60:100 | 210 | 80 | 129 | 273 |
| Jer-SdC 60:40 | 210 | 32 | 129 | 109 |
| Jer-SdC 40:100 | 140 | 80 | 86 | 273 |
| Jer-SdC 40:60 | 140 | 48 | 86 | 164 |
| Jer-SdC 20:80 | 70 | 64 | 43 | 218 |

Tabella 3: combinazioni e densità di semina (Pianta m⁻² e Kg ha⁻¹ di semente utilizzata) testate nella sperimentazione 2020

Nella colonna Colture, relativamente alle colture consociate, il numero che affianca il nome della coltura esprime la percentuale del numero di piante a m² utilizzata in quella specifica consociazione rispetto al numero di piante a m² utilizzato in coltura pura. Tale convenzione sarà mantenuta anche nelle tabelle successive.

La prova è stata eseguita utilizzando parcelle di 8 m x 1,2 m per una superficie totale di 9,6 m². Il disegno sperimentale utilizzato è rappresentato da blocchi randomizzati completi. Sono stati utilizzati 6 blocchi da 15 parcelle ognuno, per un totale di 90 parcelle. All'interno di ogni blocco erano presenti tutte le consociazioni da testare e le rispettive colture pure. Nella prova sono state inserite due file di parcelle di bordo, non considerate nella sperimentazione, per evitare che le parcelle da valutare subissero "effetto bordo".

Quanto descritto è rappresentato nel seguente Schema 1.

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo |
| bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo |
| JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 |
| JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 | | JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 |
| SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 | | CICERCHIA | | SARAGOLLA | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 |
| JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 | | CICERCHIA | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 | | JERVICELLA | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 | | JERVICELLA | | JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 |
| CICERCHIA | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 |
| SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 |
| JERVICELLA | | SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 | | CICERCHIA | | JERVICELLA 80 CICERCHIA 20 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA |
| JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 | | CICERCHIA | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 |
| SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 | | CICERCHIA |
| SARAGOLLA 40 CICERCHIA 60 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA | | SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 | | JERVICELLA | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 60 | | SARAGOLLA |
| SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 |
| JERVICELLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA 60 CICERCHIA 40 | | SARAGOLLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 40 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 80 | | SARAGOLLA 80 CICERCHIA 20 |
| bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo |
| bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo | | bordo |

Schema 1: rappresentazione schematica della prova creata per la sperimentazione 2020

Una volta seminata, la prova non è stata né diserbata né concimata, viste le caratteristiche di rusticità delle varietà utilizzate.

La raccolta delle singole parcelle è avvenuta il 23 Luglio 2020 a mezzo mietitrebbia parcellare marca Wintersteiger modello Delta: per quanto riguarda le colture pure di cicerchia, queste sono state falciate e andanate manualmente il giorno precedente la raccolta per poi essere-trebbiate il giorno successivo. Tutte le altre parcelle sono state direttamente mietitrebbiate. Dopo la raccolta, colture pure e consociazioni sono state sottoposte a vagliatura manuale al fine di separare i semi di cicerchia da quelli di frumento.

Relativamente alle colture consociate, sono stati eseguiti i seguenti rilievi:

- Pesatura della quantità di granella prodotta dai frumenti
- Pesatura della quantità di granella prodotta dalla cicerchia

Attraverso i dati raccolti è stato possibile calcolare il Land Equivalent Ratio (LER) sia per le singole colture (LER_{frumento} e LER_{cicerchia}) sia il LER_{totale} = LER_{frumento} + LER_{cicerchia}.

2.3 Conduzione prove 2021 e schemi sperimentali

Anche nell'annata 2021 la prova è stata eseguita presso l'azienda didattico-sperimentale "Pasquale Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche ancora una volta su terreno gestito in lavorazione tradizionale (aratura a 30 cm e successivi affinamenti). La semina è avvenuta in data 2 Marzo a mezzo seminatrice parcellare Vignoli e sono state valutate colture pure e consociazioni alle densità riportate di seguito nella Tabella 4.

| COLTURE | NUMERO | NUMERO | SEME | SEME |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | Pt m ² FRUMENTO | Pt m ² CICERCHIA | Kg ha ⁻¹ FRUMENTO | Kg ha ⁻¹ CICERCHIA |
| Serra de' Conti | 0 | 80 | 0 | 273 |
| Saragolla pura | 350 | 0 | 274 | 0 |
| Jervicella pura | 350 | 0 | 216 | 0 |
| Sar-SdC 30:100 | 105 | 80 | 65 | 273 |
| Sar-SdC 20:100 | 70 | 80 | 43 | 273 |
| Sar-SdC 10:100 | 35 | 80 | 22 | 273 |
| Jer-SdC 30:100 | 105 | 80 | 82 | 273 |
| Jer-SdC 20:100 | 70 | 80 | 55 | 273 |
| Jer-SdC 10:100 | 35 | 80 | 27 | 273 |

Tabella 4: combinazioni e densità di semina (Piante m⁻² e Kg ha⁻¹ di semente utilizzata) testate nella sperimentazione 2021

Nella colonna Colture, relativamente alle colture consociate il numero che affianca il nome della coltura esprime la percentuale del numero di piante a m² utilizzata in quella specifica consociazione rispetto al numero di piante a m² utilizzato in coltura pura.

Ogni coltura è stata sperimentata su una parcella di 8 m x 1,2 m per una superficie totale di 9,6 m². Il disegno sperimentale utilizzato è stato a blocchi completamente randomizzati.

Nel 2021 sono state eseguite 2 prove posizionate in diversi punti dell'appezzamento e caratterizzati dall'aver terreni differenti. Ogni prova era costituita da 3 blocchi, ognuno dei quali riuniva 9 parcelle, per un totale di 27 parcelle per prova. Complessivamente la sperimentazione ha preso in esame 2 prove, per un totale di 6 blocchi e 54 parcelle. All'interno di ogni blocco erano presenti tutte le colture pure e le consociazioni da testare,

impiegando parcelle di bordo per evitare che le parcelle da valutare subissero “effetto bordo”.

Quanto descritto è rappresentato dagli Schemi 2 e 3 e dalle fotografie di seguito presentate.

| | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 | | CICERCHIA |
| JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA |
| SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA | | CICERCHIA | | JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA |
| CICERCHIA | | JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA | | JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA | | SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |

Schema 2: rappresentazione schematica della prima delle due prove create per la sperimentazione 2021

| | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| JERVICELLA | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA |
| SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 | | CICERCHIA |
| SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA | | JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 |
| CICERCHIA | | SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA 20 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA | | JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 |
| JERVICELLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 30 CICERCHIA 100 | | SARAGOLLA 20 CICERCHIA 100 |
| SARAGOLLA | | JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 | | JERVICELLA |
| JERVICELLA 10 CICERCHIA 100 | | CICERCHIA | | SARAGOLLA 10 CICERCHIA 100 |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |
| Bordo | | Bordo | | Bordo |

Schema 3: rappresentazione schematica della seconda delle due prove create per la sperimentazione 2021

Successivamente alla semina, entrambe le prove non sono state diserbate né concimate in alcun modo.

La raccolta delle singole parcelle è avvenuta il giorno 12 Luglio a mezzo mietitrebbia parcellare marca Wintersteiger modello Delta (Figure 2-11 e 2-12). Anche in questa seconda annata le colture pure di cicerchia sono state falciate e andanate manualmente il giorno precedente la raccolta, per poi essere trebbiate il giorno successivo (Figura 2-11). Tutte le altre parcelle sono state direttamente mietitrebbiate. Dopo la raccolta, colture pure e consociazioni sono state sottoposte a vagliatura meccanica al fine di separare i semi di cicerchia da quelli di frumento in ciascuna coltura.

Di seguito si mostrano una serie di fotografie che immortalano la sperimentazione 2021.



Figura 2-3: visione aerea dell'appezzamento in cui si sono svolte le prove sperimentali nel 2021. Le prove di consociazione frumenti antichi-cicerchia sono posizionate a monte e a valle della fascia coltivata a sinistra



Figura 2-4: visione aerea dell'appezzamento in cui si sono svolte le prove sperimentali nel 2021. Le prove di consociazione frumenti antichi-cicerchia sono le due coltivazioni posizionate a monte e a valle della fascia sinistra



Figura 2-5: foto di tre parcelle rappresentative della sperimentazione effettuata in questa tesi di laurea. Da destra verso sinistra: Jervicella in coltura pura, Jervicella 20 Cicerchia 100, Cicerchia in coltura pura. Si noti la diversa densità delle piante di frumento tra coltura pura e consociata.



Figura 2-6: visione planimetrica aerea di una delle due prove realizzate per la sperimentazione 2021. Foto scattata in fase di accostimento delle colture



*Figura 2-7: visione aerea di una delle due prove realizzate per la sperimentazione 2021.
Foto scattata ad inizio levata dei frumenti*



*Figura 2-8: visione aerea di una delle due prove realizzate per la sperimentazione 2021.
Foto scattata a spigatura dei frumenti-inizio maturazione della cicerchia*



Figura 2-9: visione aerea di una delle due prove realizzate per la sperimentazione 2021.

Foto scattata a maturazione di raccolta per tutti i genotipi presenti



Figura 2-10: visione aerea di una delle due prove realizzate per la sperimentazione 2021. Si noti la differenza di altezza della canopy tra le varie parcelle e il grado di allettamento della cicerchia in coltura pura



Figura 2-11: mietitrebbiatura di una parcella di coltura pura di cicerchia. Si noti che la cicerchia è stata falciata e andanata a mano prima del passaggio della mietitrebbia parcellare



Figura 2-12: mietitrebbiatura di una parcella di coltura consociata.

Sulle singole parcelle, durante e al termine della coltivazione, sono stati eseguiti i seguenti rilievi:

- Conteggio, all'emergenza, del numero di piante di frumento/m²
- Conteggio, all'emergenza, del numero di piante di cicerchia/m²
- Lunghezza degli steli di cicerchia in prefioritura (5/05), fioritura (19/05), inizio allegagione (31/05), maturazione cerosa (17/06) e maturazione di raccolta (30/06)
- L'altezza della canopy della cicerchia in prefioritura (5/05), fioritura (19/05), inizio allegagione (31/05), maturazione cerosa (17/06) e maturazione di raccolta (30/06)
- Altezza dei frumenti nelle date 5-19-31 maggio e 17-30 giugno
- Il valore SPAD dei frumenti in botticella (19/05)
- Pesatura della quantità di granella prodotta dai frumenti
- Pesatura della quantità di granella prodotta dalla cicerchia

Attraverso i dati raccolti è stato possibile calcolare il Land Equivalent Ratio (LER) sia per le singole colture (LER_{frumento} e LER_{cicerchia}) sia il LER_{totale}.

2.4 Indici utilizzati

In questa sperimentazione sono stati utilizzati due indici: il Land Equivalent Ratio (LER) e l'indice di allettamento (IA).

È stata inoltre effettuata una misurazione Singole Photon Avalanche Diode (SPAD) utilizzando un chlorofill meter SPAD-502Plus marca Konica Minolta.

Il LER è un indice ampiamente utilizzato nello studio delle consociazioni per valutarne il possibile vantaggio in termini di uso del suolo rispetto alle colture pure, a parità di condizioni agronomiche e ambientali. L'indice LER è definito come la superficie relativa richiesta in coltura pura per produrre la stessa resa raggiunta in consociazione (Bedoussac et al., 2014) e fornisce quindi informazioni sulla capacità di utilizzo delle risorse di una coltura consociata in confronto alla rispettiva coltura pura.

Tale indice LER è una valutazione indiretta che si ottiene facendo il rapporto tra la produzione ottenuta in consociazione e quella ottenuta in coltura pura:

$$\text{LER}_{\text{cicerchia}} = \text{cicerchia (Mg ha}^{-1}\text{) in consociazione} / \text{cicerchia (Mg ha}^{-1}\text{) in coltura pura}$$

$$\text{LER}_{\text{frumento}} = \text{frumento (Mg ha}^{-1}\text{) in consociazione} / \text{frumento (Mg ha}^{-1}\text{) in coltura pura}$$

In questo modo si ottengono i due LER parziali.

Sommando i due valori ottenuti si ottiene il LER totale:

$$\text{LER}_{\text{totale}} = \text{LER}_{\text{cicerchia}} + \text{LER}_{\text{frumento}}$$

Le operazioni matematiche soprariportate sono riscontrabili in Weigelt e Jolliffe (2003).

Il valore del LER_{totale} è un indice del comportamento della consociazione rispetto la coltura pura. Quindi se:

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

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

L'Indice di Allettamento (IA) (Loïc et al., 2018) esprime il tasso di prostrazione di una coltura in rapporto alla lunghezza dei suoi steli/culmi. Per ottenere questo indice è sufficiente misurare in campo la lunghezza complessiva degli steli/culmi e l'altezza della canopy della coltura. Il procedimento di calcolo è di seguito esplicitato:

$$IA = ((\text{lunghezza totale steli} - \text{altezza canopy}) / \text{lunghezza totale steli}) * 100 = \%$$

Per la redazione di questa tesi di laurea, le misurazioni necessarie al calcolo dell'indice di allettamento sono state eseguite solo per l'annata 2021 e nelle date riportate al sottocapitolo 2.3.

Un ulteriore indice utilizzato nella prova sperimentale condotta nel 2021 è stato quello misurato attraverso la tecnologia Singole Photon Avalanche Diode (SPAD). Questa tecnologia consente di misurare indirettamente il contenuto di clorofilla senza danneggiare la struttura vegetale d'interesse. Lo strumento utilizzato (chlorophyll meter SPAD-502Plus marca Konica Minolta) misura l'assorbanza della foglia alle lunghezze d'onda del rosso e del vicino infrarosso (Near-InfraRed, NIR) e calcola un valore numerico SPAD che è proporzionale alla quantità di clorofilla presente nella foglia. Il valore SPAD è, inoltre, un indicatore indiretto del contenuto di azoto nelle foglie in quanto vi è una proporzionalità diretta tra contenuto di azoto, contenuto di clorofilla e valore SPAD: all'aumentare della concentrazione di N nella foglia aumenta anche il contenuto di clorofilla e, di conseguenza, anche il valore SPAD.

Nella sperimentazione 2021 sono state effettuate 4 misure per foglia su 8 foglie per ciascuna parcella. La misurazione del valore SPAD è avvenuta solo sulle colture, pure e consociate, in cui era presente il frumento.

2.5 Analisi statistiche

I caratteri analizzati allo scopo di valutare la consociazione frumenti antichi-cicerchia sono stati i seguenti:

- produzione di granella della cicerchia (Mg ha^{-1})
- produzione di granella dei frumenti (Mg ha^{-1})
- Land Equivalent Ratio (LER) della cicerchia
- Land Equivalent Ratio (LER) dei frumenti
- Land Equivalent Ratio (LER) totale
- Lunghezza degli steli di cicerchia alla raccolta (cm)
- Altezza della canopy della cicerchia alla raccolta (cm)
- Altezza dei frumenti alla raccolta (cm)

Tutti i parametri sopraindicati sono stati rilevati su ciascuna parcella ed i dati sono stati analizzati mediante Analisi della Varianza (ANOVA) e confronti tra le medie, utilizzando il software JMP 11.0, eseguiti separatamente per i frumenti antichi e per la cicerchia (eccetto il LERtotale).

Avendo utilizzato un disegno a Blocchi Randomizzati Completi, le fonti di variazione sono risultate “Prova”, “Blocchi (entro prova)”, “Colture”, “Colture x Prova” e “Residuo”.

Per valutare la differenza tra le medie dei diversi Mix e delle colture pure sono stati effettuati i confronti multipli tra le medie utilizzando il Test HSD (Honestly Significant Difference) di Tukey.

Capitolo 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 Confronto agrometeorologico tra le annate 2020 e 2021

La Tabella 5 e i Figure 3-1, 3-2, 3-3, e 3-4 consentono di tenere in debito conto l'influenza dell'andamento meteorologico e la lunghezza del ciclo di coltivazione nei due anni di sperimentazione.

I dati utilizzati sono stati gentilmente e gratuitamente messi a disposizione da ASSAM per la stesura della presente tesi di laurea. I valori sono riferiti alla centralina agrometeorologica ST32 posizionata in località Borgo Ruffini, nel comune di Agugliano, in provincia di Ancona. È stata scelta la suddetta stazione agrometeorologica in quanto dista solo poche centinaia di metri dall'appezzamento sede della sperimentazione biennale.

Dai dati riportati in Tabella 5 e dalla loro elaborazione grafica si nota che: vi è una considerevole differenza nel posizionamento, nella lunghezza del ciclo colturale e nella sensibilmente diversa quantità di pioggia caduta durante i due periodi di coltivazione.

In particolare, nel 2020 il ciclo colturale è iniziato il 13 Gennaio ed è terminato il 23 Luglio per un totale di 193 giorni mentre, per l'annata 2021 il periodo di coltivazione è risultato compreso tra il 2 Marzo e il 12 Luglio coprendo così un periodo di 133 giorni.

Altra importante differenza è la diversa piovosità dei due cicli di coltivazione: nel 2020 le precipitazioni cumulate hanno raggiunto 293,6 mm mentre nel 2021 l'accumulo di piogge nel periodo di presenza in campo delle colture si è fermato a 127,6 mm (Figura 3-3). Tra le due annate vi è quindi una differenza di piovosità pari al 56,5%.

Il diverso posizionamento temporale tra i due cicli di coltivazione ha inoltre influito sulle temperature cui sono state sottoposte le consociazioni nelle due annate. In dettaglio, (Figura 3-4) la sperimentazione 2021 è risultata maggiormente spostata verso la primavera rispetto alla prova 2020 e ciò ha fatto sì che le temperature medie del periodo siano state più calde. In conclusione, la prova 2021 si è sviluppata in meno tempo rispetto alla sperimentazione 2020 ed ha subito un andamento meteo più asciutto e più caldo.

| DATA | 2020 | | 2021 | |
|-----------------|----------------------------|--|----------------------------|--|
| | T MEDIA MENSILE (°C) | PRECIPITAZIONI CUMULATE MENSILI (mm) | T MEDIA MENSILE (°C) | PRECIPITAZIONI CUMULATE MENSILI (mm) |
| Gennaio | 8,1 | 4,2 | | |
| Febbraio | 11,6 | 17,2 | | |
| Marzo | 10,6 | 59,2 | 9,9 | 24,8 |
| Aprile | 14,2 | 59,6 | 12,5 | 33 |
| Maggio | 18,8 | 52,2 | 18,4 | 23,8 |
| Giugno | 22,4 | 69,6 | 24,9 | 7,8 |
| Luglio | 24,9 | 31,6 | 26,8 | 38,2 |

Tabella 5: dati climatici dei due periodi di coltivazione.

Sono riportati i dati solo nei mesi di effettiva presenza in campo della sperimentazione

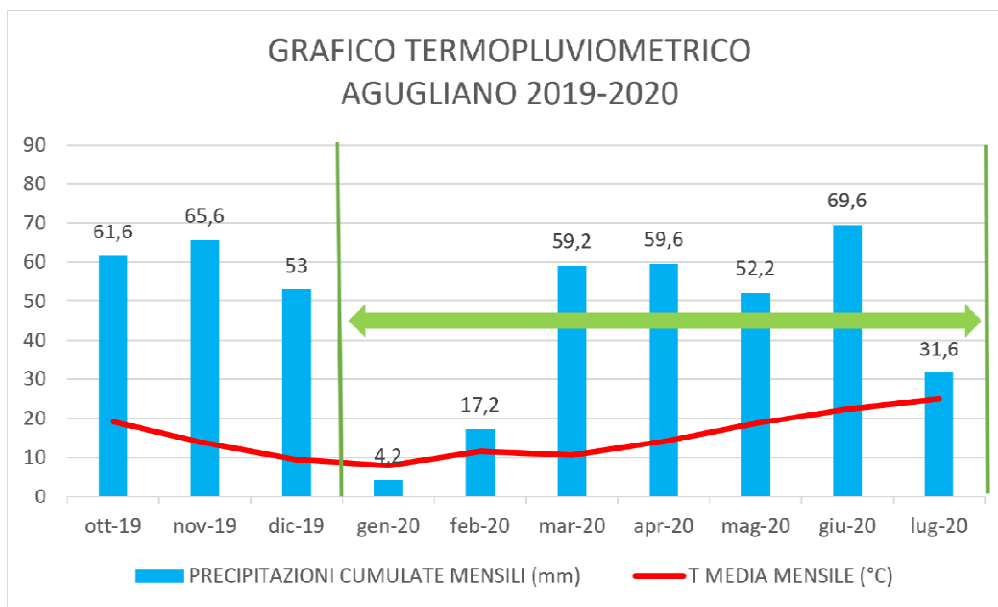


Figura 3-1: andamento di temperatura e piovosità per l'annata 2019-20.
Le due barre e la freccia verde indicano il periodo in cui la sperimentazione era presente in campo

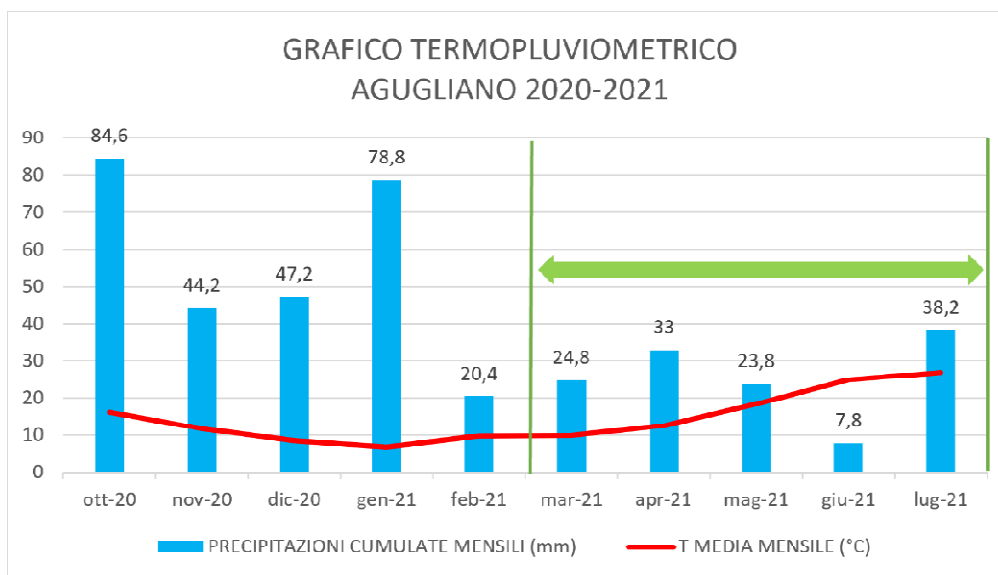


Figura 3-2: andamento di temperatura e piovosità per l'annata 2020-21.
Le due barre e la freccia verde indicano il periodo in cui la sperimentazione era presente in campo

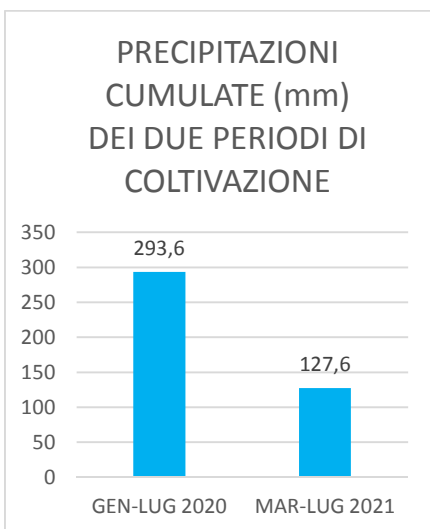


Figura 3-3: rappresentazione delle precipitazioni cumulate durante i due periodi di presenza delle sperimentazioni in campo

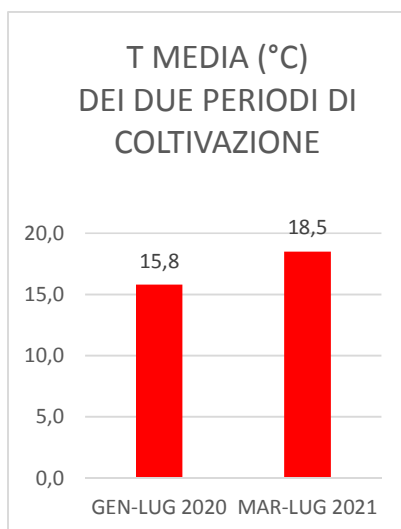


Figura 3-4: rappresentazione della temperatura media dei due periodi di presenza delle sperimentazioni in campo

3.2 Risultati sperimentazione 2020

Risultati dell'analisi della varianza delle produzioni di cicerchia e frumenti (Mg ha⁻¹)

I risultati dell'Analisi della varianza hanno evidenziato che la varianza tra colture è risultata altamente significativa relativamente alla produzione di granella sia della cicerchia (Tabella 6) che dei frumenti (Tabella 7). I confronti multipli tra le medie (Test di Tukey), eseguiti separatamente per cicerchia e frumenti, sono riportati in Tabella 8.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|---------------------|------|-----------|----------|---------|-------------------|
| BLOCCO | 5 | 0,1665522 | 0,03331 | 1,1221 | 0,3587 |
| COLTURE | 12 | 3,6386550 | 0,303221 | 10,2142 | <0,0001 |
| ERRORE | 59 | 1,7514920 | 0,029686 | | |

Tabella 6: analisi della varianza riguardante la produzione della cicerchia

(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|---------------------|------|-----------|----------|---------|-------------------|
| BLOCCO | 5 | 1,334134 | 0,266827 | 0,8304 | 0,5328 |
| COLTURE | 13 | 68,526654 | 5,271281 | 16,4041 | <0,0001 |
| ERRORE | 65 | 20,887095 | 0,32134 | | |

Tabella 7: analisi della varianza riguardante la produzione dei frumenti

(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

I risultati relativi ai confronti multipli tra le medie sono riportati in Tabella 8.

Relativamente alla resa in granella, la coltura pura di cicerchia nel 2020 ha fatto registrare una produzione pari a soli 0,8 Mg ha⁻¹, ed ha mostrato una produzione più elevata di tutte le colture consociate tranne Saragolla 20 Cicerchia 80. Dalla Tabella 8 si può inoltre notare che nelle colture consociate la produzione della cicerchia è aumentata al diminuire della densità del frumento ed all'aumentare della densità della cicerchia stessa.

Questo risultato indica che per migliorare la performance della cicerchia in consociazione è necessario ridurre la densità del frumento. A questo riguardo si deve sottolineare l'elevata capacità competitiva, nei confronti della cicerchia, delle varietà di frumento oggetto di studio che sono caratterizzate da un'elevata altezza e da un alto grado di accostamento. Infatti, le due consociazioni in cui la cicerchia è presente alla minor densità si semina (20%) e in cui i frumenti sono presenti ad elevate densità (80%) hanno fatto registrare le produzioni di cicerchia più basse in assoluto.

Tra le restanti consociazioni testate non sono state individuate differenze statisticamente significative. Inoltre, la cicerchia ha mostrato una performance produttiva più elevata quando consociata con il frumento duro Saragolla rispetto alla consociazione con il frumento tenero Jervicella.

Relativamente alla produzione dei frumenti, nella prova del 2020, i risultati dei confronti multipli tra le medie hanno evidenziato che:

- Il frumento tenero Jervicella in purezza ha fatto segnare un'eccezionale resa di 5,12 Mg ha⁻¹, produzione non significativamente più elevata di quella realizzata nelle consociazioni in cui era presente a densità del 40, 60 o 80%.
- Il frumento duro Saragolla ha mostrato una produzione (3,18 Mg ha⁻¹) in coltura pura significativamente inferiore a Jervicella. Inoltre, non sono state riscontrate differenze significative tra Saragolla in coltura pura ed in tutte le consociazioni prese in esame.
- Complessivamente i risultati ottenuti hanno evidenziato una maggior produttività del frumento tenero Jervicella rispetto al frumento duro Saragolla, sia in coltura pura che consociata con la cicerchia (Figura 3-5). E' stato inoltre interessante notare che, per entrambe le varietà, la produzione non è diminuita significativamente al ridursi della densità del frumento nelle colture consociate.

Nella prova sperimentale del 2020 sono state testate combinazioni che andavano da densità di semina totalmente a favore dei frumenti a combinazioni pensate per favorire la cicerchia. Testare una così ampia gamma di combinazioni è servito per effettuare una prima, indicativa, valutazione riguardo il comportamento in consociazione dei tre genotipi utilizzati e per individuare, orientativamente, quali fossero le migliori combinazioni di densità di semina. Sulla base dei risultati del 2020 sono state impostate le due prove sperimentali condotte nel 2021.

| Colture | Produzione (Mg ha ⁻¹) | | Land Equivalent Ratio (LER) | | |
|------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|------------|
| | Frumento | Cicerchia | LER frumento | LER cicerchia | LER totale |
| Saragolla | 3,18 bc | | | | |
| Sar-SdC 80:20 | 3,33 bc | 0,04 e | 1,04 a | 0,07 cd | 1,11 ab |
| Sar-SdC 60:40 | 2,90 c | 0,20 bcde | 0,92 ab | 0,24 abcd | 1,16 ab |
| Sar-SdC 60:100 | 3,00 c | 0,17 bcde | 0,95 ab | 0,21 abcd | 1,15 ab |
| Sar-SdC 40:60 | 2,97 c | 0,30 bcde | 0,94 ab | 0,37 abcd | 1,32 a |
| Sar-SdC 40:100 | 2,66 c | 0,39 bcd | 0,85 ab | 0,52 abc | 1,37 a |
| Sar-SdC 20:80 | 2,43 c | 0,46 ab | 0,76 ab | 0,58 ab | 1,34 a |
| Jervicella | 5,12 a | | | | |
| Jer-SdC 80:20 | 4,99 a | 0,01 e | 0,98 a | 0,01 d | 0,98 ab |
| Jer-SdC 60:40 | 4,70 a | 0,10 cde | 0,92 ab | 0,13 bcd | 1,04 ab |
| Jer-SdC 60:100 | 4,66 a | 0,09 cde | 0,91 ab | 0,14 bcd | 1,05 ab |
| Jer-SdC 40:60 | 4,18 ab | 0,06 de | 0,82 ab | 0,06 d | 0,88 b |
| Jer-SdC 40:100 | 4,53 a | 0,08 cde | 0,88 ab | 0,11 cd | 0,99 ab |
| Jer-SdC 20:80 | 3,33 bc | 0,41 bc | 0,66 b | 0,62 a | 1,28 a |
| Serra de' Conti | | 0,80 a | | | |

Tabella 8: Risultati ottenuti nel 2020 relativamente alla produzione di granella, al LER delle singole colture ed al LER totale.

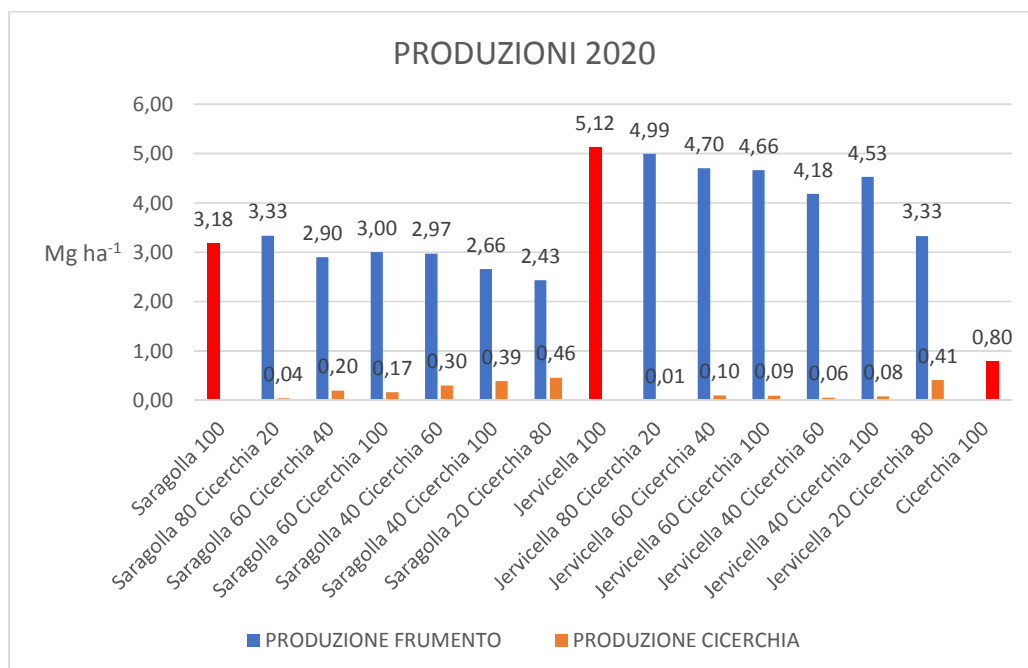


Figura 3-5: andamento delle produzioni registrate nella prova 2020. In rosso le produzioni delle colture pure

Analisi della varianza del Land Equivalent Ratio della cicerchia

L'analisi della varianza dei LER della cicerchia, i cui esiti sono esposti alla Tabella 9, rispecchia in buona parte quanto detto per l'ANOVA riguardante le produzioni di granna. L'unico fattore di variazione con differenze statisticamente significative è, ancora una volta, rappresentato dalle Colture.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|---------------------|------|-----------|----------|---------|-------------------|
| BLOCCO | 5 | 0,4212218 | 0,08424 | 1,6565 | 0,1591 |
| COLTURE | 12 | 6,1691538 | 0,5141 | 10,1085 | <0,0001 |
| ERRORE | 60 | 3,0514615 | 0,050858 | | |

**Tabella 9: analisi della varianza riguardante il LERcicerchia
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)**

Alla Tabella 8 sono presentati i risultati del Test HSD di Tukey.

Osservando detta tabella è possibile rendersi conto di quanto la *Lathyrus sativus* L. abbia sofferto la competizione dei cereali: la dimostrazione è data dal mancato raggiungimento delle produzioni attese in tutte le consociazioni. Ciò significa che la cicerchia ha prodotto meno rispetto alla quantità di granella che ci si attendeva in base alle densità di semina della leguminosa all'interno delle consociazioni. Va però considerato che questo calo del Land Equivalent Ratio è piuttosto comune nelle consociazioni da granella in cui sono presenti leguminose e cereali.

Nonostante l'assenza di chiare divisioni statisticamente significative, anche attraverso questo carattere è possibile notare come la cicerchia migliori le sue performance al diminuire della densità dei frumenti così come quando è consociata al frumento duro Saragolla piuttosto che in combinazione con il frumento tenero Jervicella.

Analisi della varianza del Land Equivalent Ratio dei frumenti

La Tabella 10 riporta il responso dell'analisi della varianza dei LER dei frumenti: emerge come unico fattore di variazione statisticamente significativo il fattore Colture.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|---------------------|------|------------|----------|--------|---------------|
| BLOCCO | 5 | 0,15135238 | 0,03027 | 1,5884 | 0,1758 |
| COLTURE | 13 | 0,83206190 | 0,064 | 3,3587 | 0,0006 |
| ERRORE | 65 | 1,2386810 | 0,019057 | | |

Tabella 10: analisi della varianza riguardante il LERfrumenti

(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

La Tabella 8 presenta le differenze significative tra colture ottenute tramite il Test di Tukey.

In questo caso è da segnalare l'ottimale risposta dei frumenti che si è esplicitata in produzioni superiori all'atteso in tutte le consociazioni valutate.

Come prevedibile il LER tout court diminuisce al diminuire della densità di semina utilizzata ma il rapporto tra il LER e la densità di semina sembra aumentare al diminuire della densità di semina. Ciò significherebbe che le piante di frumento che erano a minor densità hanno attuato compensazioni più intense.

Eccezion fatta per le combinazioni in cui i frumenti erano presenti al 20%, si noti che quasi tutte le consociazioni testate hanno produzioni di granella di frumento statisticamente comparabili indipendentemente dalla densità di semina adoperata. Ciò è testimoniato dalla presenza della lettera statistica “a” in tutte le suddette consociazioni.

Per questo carattere non emergono evidenti distinguo riguardanti i due genotipi di frumento valutati.

Analisi della varianza del Land Equivalent Ratio totale

L’analisi della varianza eseguita sul Land Equivalent Ratio totale (Tabella 11), ovvero sul LER che esprime la produttività delle varie specie presenti in consociazione, identifica come significativi i fattori di variazione Blocchi e Colture.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|---------------------|------|-----------|----------|--------|-------------------|
| BLOCCO | 5 | 0,5751313 | 0,11503 | 3,3491 | 0,0091 |
| COLTURE | 14 | 1,9293703 | 0,13781 | 4,0125 | <0,0001 |
| ERRORE | 69 | 2,3698520 | 0,034346 | | |

Tabella 11: analisi della varianza riguardante il LERtotale
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

La fonte di variazione Colture è stata indagata utilizzando il Test di Tukey (Tabella 8) al fine di evidenziare le differenze significative tra le consociazioni valutate.

Osservando detta tabella si può notare come i migliori LERtotali siano associati a consociazioni in cui il cereale è presente in densità medio-basse (40, 20%) e la cicerchia è presente in densità elevate (60, 80%). A conferma di quanto detto si osservi il gruppo di consociazioni accomunate dalla lettera statistica “a”. Dalla tabella emerge anche il fatto che le migliori consociazioni in termini di LERtotale siano quelle in cui la cicerchia di Serra de’ Conti è combinata con il frumento duro Saragolla. Questo importante risultato attesta che tra

questi due genotipi vi è una buona integrazione per quanto riguarda la convivenza in campo e lo sfruttamento delle risorse disponibili e che questo tipo di consociazione produce dall'11 al 37% in più rispetto alle singole colture pure di Saragolla e cicerchia. In generale si può dire che solo le consociazioni Saragolla 40 Cicerchia 100, Saragolla 20 Cicerchia 80, Saragolla 40 Cicerchia 60 e Jervicella 20 Cicerchia 80 siano statisticamente diverse dalla consociazione Jervicella 40 Cicerchia 60 mentre tutte le altre combinazioni testate mostrano LERtotali comparabili tra loro.

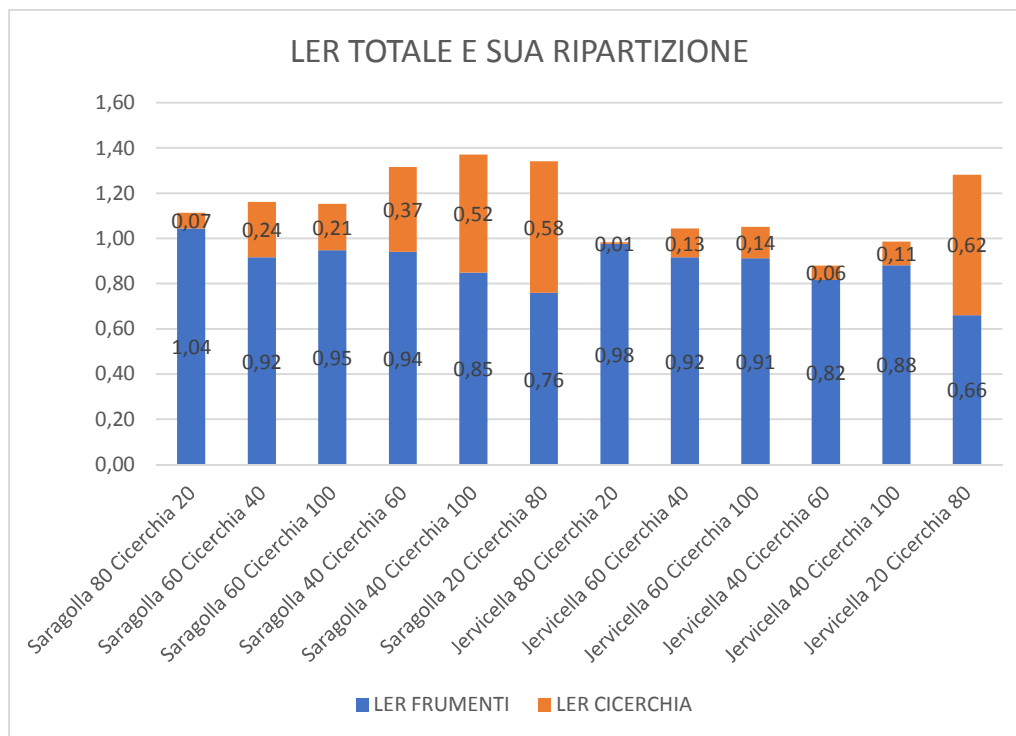


Figura 3-6: LER totale e sua ripartizione tra frumenti e cicerchia

Complessivamente nel 2020 la cicerchia di Serra de' Conti ha avuto rese ad ettaro basse sia in coltura pura sia in coltura consociata. La produzione in coltura pura è risultata comunque in linea con le produzioni di pieno campo ottenute dalla Cooperativa La Bona Usanza. Un aspetto importante è stato l'aver riscontrato che la cicerchia in consociazione ha subito fortemente la competizione delle due varietà di frumento, evidenziando una riduzione della produzione proporzionale all'aumentare della densità del frumento.

I due frumenti, al contrario, hanno fatto registrare produzioni considerevolmente alte se si tiene conto che sono varietà che non sono state ottenute da programmi avanzati di selezione.

Complessivamente i risultati ottenuti hanno messo in evidenza che:

- la produzione della cicerchia aumenta, seppur di poco, al diminuire della densità di semina dei frumenti;
- sembra che la cicerchia di Serra de' Conti si adatti meglio alla consociazione con il frumento duro Saragolla rispetto al frumento tenero Jervicella;
- Il raccolto ottenuto dalle combinazioni comprendenti il frumento duro Saragolla è più equamente diviso tra cicerchia e frumento rispetto alle consociazioni comprendenti il frumento tenero Jervicella;
- la produzione dei frumenti si riduce relativamente poco al diminuire della loro densità di semina, a riprova della notevolissima elasticità di queste due varietà;
- il frumento tenero Jervicella è maggiormente produttivo rispetto al frumento duro Saragolla

Esaminando le consociazioni dal punto di vista del Land Equivalent Ratio si può dedurre che:

- le performance migliori sono state ottenute dalla consociazione tra Saragolla e cicerchia. Ciò fa trasparire la maggior compatibilità e sinergia tra questi due genotipi e indica una maggior efficienza d'uso del suolo da parte di questa consociazione;
- tutte le consociazioni comprendenti il frumento duro Saragolla mostrano LER superiori ad 1, cosa che invece non accade in tutte le consociazioni comprendenti il frumento tenero Jervicella;
- lo Jervicella, in termini di quantità di granella, predomina in tutte le combinazioni in cui è presente tranne che nella consociazione Jervicella 20 Cicerchia 80

Infine, si è notato che le consociazioni più efficienti, equilibrate, in grado di favorire la produttività della cicerchia e di limitare la sua suscettibilità all'allettamento sono quelle in cui il frumento è presente in bassa densità di semina (20, 40%).

3.3 Risultati sperimentazione 2021

Le prove del 2021 sono state impostate sulla base dei risultati del 2020 relativi sia alla produzione che ai LER. Nel 2021 si è deciso di approfondire il comportamento delle consociazioni riducendo la densità del frumento e inserendo la cicerchia di Serra de' Conti alla stessa densità utilizzata in coltura pura (Tabella 12).

| Colture | Produzione (Mg ha ⁻¹) | | Land Equivalent Ratio (LER) | | |
|------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|---------------|------------|
| | Frumento | Cicerchia | LER Frumento | LER Cicerchia | LER Totale |
| Saragolla | 2,43 a | | | | |
| Sar-SdC 30:100 | 0,74 cd | 1,48 cd | 0,30 b | 0,67 bc | 0,97 a |
| Sar-SdC 20:100 | 0,46 cd | 1,56 bc | 0,19 bc | 0,71 ab | 0,90 a |
| Sar-SdC 10:100 | 0,27 d | 1,86 b | 0,12 c | 0,83 a | 0,95 a |
| Jervicella | 2,92 a | | | | |
| Jer-SdC 30:100 | 1,41 b | 1,15 d | 0,49 a | 0,52 c | 1,01 a |
| Jer-SdC 20:100 | 0,88 bc | 1,49 cd | 0,30 b | 0,68 abc | 0,98 a |
| Jer-SdC 10:100 | 0,53 cd | 1,53 bc | 0,18 bc | 0,69 ab | 0,87 a |
| Serra de' Conti | | 2,25 a | | | |

Tabella 12: risultati ottenuti nel 2021 riguardanti la produzione di granella dei frumenti e della cicerchia, il LER delle singole colture ed il LERtotale

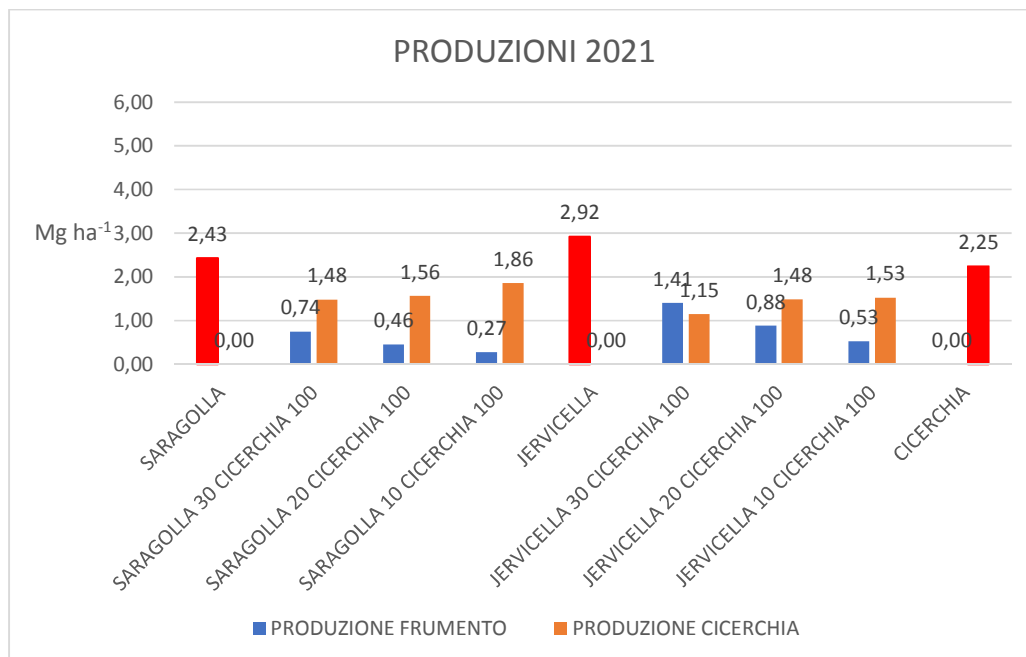


Figura 3-7: andamento delle produzioni registrate nella prova 2021.

In rosso le produzioni delle colture pure

Produzione di granella (Mg ha⁻¹)

Dal punto di vista produttivo, questa seconda annata è risultata completamente diversa rispetto alla precedente. Complessivamente nel 2021 si è notato un forte aumento della produzione della cicerchia, sia in coltura pura sia in coltura consociata, accompagnato da un considerevole calo della produzione da parte dei frumenti. Se si osservano le produzioni delle tre colture pure nei due anni si può notare che la produzione della cicerchia è aumentata del 281,3% nel 2021 rispetto al 2020, mentre la produzione di Saragolla e Jervicella hanno mostrato rispettivamente una riduzione del 23,6% e del 43%.

Anche nelle colture consociate è stato osservato lo stesso trend delle colture pure. È da imputare i fattori che hanno determinato nelle consociazioni la maggior produzione della cicerchia e la minor produzione dei frumenti nel 2021 rispetto al 2020 sono da ricercarsi nelle diverse densità ed epoche di semina applicate nelle due annate. La ridotta densità del frumento ha ridotto la sua competitività nei confronti della cicerchia che, a sua volta, anche

per la maggior densità di semina, ha mostrato una miglior performance nel 2021 rispetto al 2020.

L'analisi della varianza relativa alla produzione di granella nel 2021 ha evidenziato una differenza significativa nella produzione media di cicerchia tra le due prove (Tabella 13), mentre tale differenza non è stata evidenziata per i frumenti (Tabella 14). Altamente significativa è risultata la varianza tra colture sia per la cicerchia che per i frumenti, come riportato nelle Tabelle 13 e 14, rispettivamente.

Non è stata riscontrata significatività per la varianza dell'interazione Colture x Prova, quindi i confronti tra le medie sono stati eseguiti unicamente tra le medie generali delle due prove (Tabella 12; produzione della cicerchia) e delle colture (Tabella 12; produzione della cicerchia e dei frumenti).

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|-------|-------------------|
| PROVA | 1 | 1,35002 | 1,35002 | 11,49 | 0,0275 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 0,46982 | 0,11745 | 3,06 | 0,358 |
| COLTURE | 6 | 4,3237 | 0,72062 | 18,79 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 6 | 0,50383 | 0,08397 | 2,19 | 0,079 |
| ERRORE | 24 | 0,92004 | 0,03833 | | |

*Tabella 13: analisi della varianza riguardante la produzione della cicerchia
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)*

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|-------|-------------------|
| PROVA | 1 | 0,9047 | 0,9047 | 2,67 | 0,17 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 1,3534 | 0,3383 | 4,04 | 0,0103 |
| COLTURE | 7 | 40,1852 | 5,7407 | 68,63 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 7 | 0,5565 | 0,0795 | 0,95 | 0,48 |
| ERRORE | 28 | 2,3418 | 0,083 | | |

*Tabella 14: analisi della varianza riguardante la produzione dei frumenti
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)*

Per quanto riguarda la fonte di variazione Prova, il Test t di Student, (Tabella 15) ha mostrato che la prova 1 nel suo complesso ha mostrato una produzione media di granella di

cicerchia significativamente maggiore rispetto a quella della prova 2. Le differenze tra prove sono, probabilmente, da imputarsi alle diverse condizioni pedologiche che caratterizzano i punti in cui sono state ubicate le due prove, pur ricadendo entrambe entro lo stesso appezzamento. Tale appezzamento presenta, infatti, una leggera pendenza e terreni di diverso impasto se ci si sposta lungo la pendenza. La prova 1 è stata messa a dimora nella parte più pianeggiante e di fondo valle dell'appezzamento, caratterizzata dall'avere terreni scuri, franchi, profondi e ricchi in acqua mentre la prova 2 è stata posizionata nella parte in leggera pendenza che presenta terreni chiari, franco-sabbiosi, meno profondi e meno freschi rispetto ai terreni della prova 1.

| PROVE | CICERCHIA (Mg ha⁻¹) |
|-----------------------|---|
| Prova 1 (parte bassa) | 1,80 a |
| Prova 2 (parte alta) | 1,43 b |

Tabella 15: confronto tra le due prove (Test t di Student)

Relativamente alla produzione della cicerchia (Tabella 12) la coltura pura ha avuto una performance eccezionale, producendo ben 2,25 Mg ha⁻¹ di granella ed è risultata significativamente superiore a tutte le colture consociate. Osservando i risultati delle singole consociazioni si evince che:

- la produttività della cicerchia aumenta al diminuire della densità di semina dei frumenti
- il Saragolla si conferma essere il frumento meglio tollerato dalla cicerchia di Serra de' Conti

Gli ottimi risultati produttivi ottenuti in una stagione di coltivazione così breve e siccitosa hanno confermato che la cicerchia è una coltura estremamente resistente e performante in condizioni di stress idrico. Infatti, il *Lathyrus sativus* L. gode internazionalmente di questa fama sia a livello scientifico sia a livello di popolazione contadina.

La Tabella 12 mostra le differenze imputabili alle diverse Colture elaborate attraverso confronti multipli tra le medie.

Le colture pure di Jervicella e Saragolla hanno mostrato le produzioni medie più elevate e non sono risultate significativamente diverse tra loro. Esaminando le colture consociate si può affermare che:

- la produzione dei frumenti è aumentata all'aumentare della densità di semina, com'era facilmente prevedibile alle basse densità di semina impiegate nel 2021;
- il frumento tenero Jervicella si è confermato significativamente più produttivo del frumento duro Saragolla solo nelle combinazioni in cui il frumento era inserito alla densità maggiore (30%). Alle densità di semina del 10 e 20% nessuna differenza tra Jervicella e Saragolla è risultata significativa.

Per quanto riguarda i confronti tra le densità di semina utilizzate per i frumenti, in entrambe le varietà sono state ottenute differenze significative tra coltura al 30% e quella al 10% solo per la varietà Jervicella, mentre alla densità del 20% la produzione di Jervicella è risultata intermedia e non significativamente diversa da quella alle densità al 10 ed al 30%. Saragolla non ha mostrato differenze significative tra le tre differenti densità di semina

La maggiore produttività mostrata da Jervicella può essere dovuta ad una sua migliore e/o maggiore capacità di adattamento, intensità di accostamento e competizione nei confronti della cicerchia. Tali fattori sono probabilmente alcune delle cause delle ridotte performance produttive della cicerchia in consociazione con questo frumento tenero antico.

Cicerchia: Land Equivalent Ratio (LER_{cicerchia})

L'analisi della varianza relativa al Land Equivalent Ratio della cicerchia ha evidenziato che la fonte di variazione Colture è risultata altamente significativa (Tabella 16).

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|------|---------------|
| PROVA | 1 | 0,05921 | 0,05921 | 1,31 | 0,315 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 0,1798 | 0,0449 | 5,79 | 0,0029 |
| COLTURE | 5 | 0,29 | 0,058 | 7,48 | 0,0004 |
| COLTURE X PROVA | 5 | 0,0237 | 0,0047 | 0,61 | 0,69 |
| ERRORE | 20 | 0,1551 | 0,0077 | | |

Tabella 16: analisi della varianza riguardante il LER_{cicerchia}

(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

I confronti multipli tra le medie dei LERcicerchia tra le varie Colture sono rappresentati in Tabella 12. Al pari delle rese ad ettaro, i LERcicerchia, più elevati sono stati ottenuti nelle consociazioni con il frumento duro Saragolla e il LERcicerchia è aumentato al diminuire della densità di semina del frumento. In particolare, sia per le consociazioni con Saragolla che per quelle con Jervicella, i risultati ottenuti hanno evidenziato che i Mix con il frumento al 10% hanno mostrato valori di LERcicerchia significativamente più elevati delle consociazioni dove il frumento è stato inserito alla densità del 30%. Questo ha confermato quanto emerso anche dalla prova del 2020 ossia che nelle consociazioni della cicerchia con varietà di frumento molto competitive queste ultime devono essere inserite a basse densità.

Si deve comunque notare che in tutte le consociazioni testate nel 2021 la cicerchia è stata seminata alla stessa densità di semina della coltura pura ma la sua produzione di granella in nessuna consociazione è stata pari alla coltura pura: il range di variazione è risultato compreso tra il 52,3% e l'83,2% della produzione espressa dalla coltura pura. Questo conferma che la cicerchia ha risentito della competizione del frumento, sebbene i valori di LERcicerchia nelle consociazioni con il frumento al 10% e 20% possano essere considerate molto interessanti. In particolare, il LERcicerchia= 0,83, ottenuto in consociazione con Saragolla alla densità del 10%, è da considerarsi molto elevato, tenendo conto che la cicerchia in coltura pura è stata trebbiata dopo raccolta manuale delle parcelle. Infatti, sebbene nelle consociazioni sia stata osservata una riduzione delle produzioni della cicerchia rispetto alla coltura pura, la consociazione presenta il notevole vantaggio tecnico-economico legato alla possibilità di eseguire la raccolta meccanica mediante mietitrebbia senza dover prima eseguire la falcia-andanatura della coltura. L'analisi dell'Indice di Allettamento discussa in seguito ha confermato il vantaggio della consociazione in termini di facilità di raccolta della cicerchia. Infatti, la cicerchia utilizza i cirri per legarsi agli steli del frumento mantenendo un portamento più eretto rispetto alla coltura pura, facilitando quindi la raccolta meccanica senza dover ricorrere all'andanatura.

Frumento: Land Equivalent Ratio (LERfrumento)

In Tabella 17 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza (ANOVA) relativa al LER dei frumenti che hanno evidenziato come altamente statisticamente significativa la fonte di variazione Colture.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|-----------------------|------|----------|----------|---------|---------|
| PROVA | 1 | 0,00147 | 0,00147 | 0,1694 | 0,7017 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 0,03469 | 0,00867 | 1,2438 | 0,3245 |
| COLTURE | 5 | 0,50816 | 0,10163 | 14,5767 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 5 | 0,5565 | 0,00346 | 0,4967 | 0,775 |
| ERRORE | 20 | 0,01731 | 0,006972 | | |

Tabella 17: analisi della varianza riguardante il LERfrumenti
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

I confronti multipli tra le medie dei LERfrumento (Tabella 12) hanno evidenziato che la consociazione con il valore più alto è risultata quella con lo Jervicella al 30% (LERfrumento = 0,48), valore significativamente più elevato rispetto a tutte le altre consociazioni. Questo indica che lo Jervicella, ad una densità del 30%, ha mostrato una produzione di granella pari al 48% della coltura pura, ovvero il 18% in più rispetto all'atteso del 30% corrispondente alla densità di semina utilizzata. Lo Jervicella al 20% ed il Saragolla al 30% hanno mostrato valori medi di LERfrumento leggermente inferiori ma statisticamente superiori alla combinazione con il Saragolla al 10% ma non da quella con il Saragolla al 20% e con lo Jervicella al 10%. E' inoltre interessante notare come la consociazione con il Saragolla alla densità del 10% abbia presentato un LERfrumento significativamente inferiore a tutte le altre consociazioni, ma in linea con la densità di semina utilizzata. Complessivamente, il frumento tenero Jervicella, in tutte le consociazioni, ha mostrato produzioni più elevate rispetto all'atteso determinato in base alla densità di semina realizzata, mentre il frumento duro Saragolla ha fatto registrare rese sempre prossime ai valori attesi.

Analisi della varianza dei LER totali

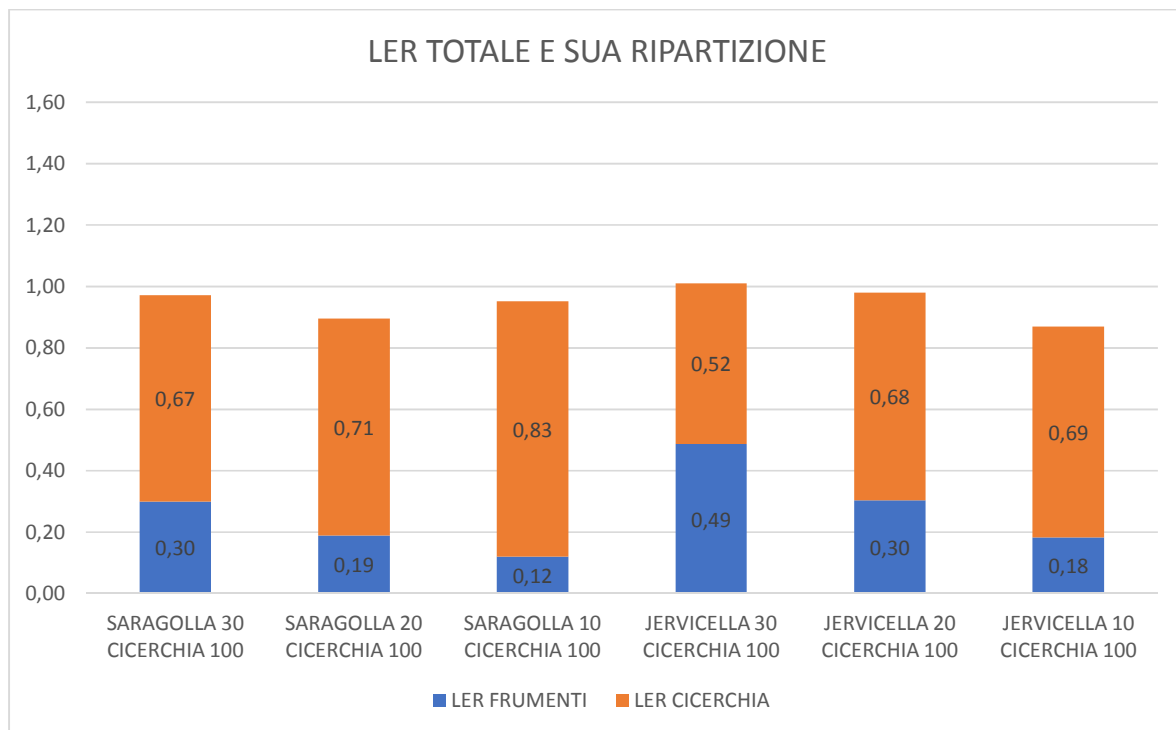
L'Analisi della Varianza eseguita per il LERtotale non ha messo in evidenza una varianza significativa per la fonte di variazione Colture, mostrando che complessivamente tutte le consociazioni sono risultate equivalenti in relazione alla loro performance rispetto alle colture pure (Tabella 18).

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|------|--------------|
| PROVA | 1 | 0,0448 | 0,0448 | 0,99 | 0,37 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 0,1792 | 0,0448 | 5,4 | 0,004 |
| COLTURE | 5 | 0,0866 | 0,0173 | 2,09 | 0,1 |
| COLTURE X PROVA | 5 | 0,0311 | 0,006 | 0,75 | 0,59 |
| ERRORE | 20 | 0,1656 | 0,0077 | | |

Tabella 18: analisi della varianza riguardante il LERtotale

(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

La Figura 3-8 riassume la suddivisione del LERtotale nelle sue componenti, LERfrumento e LERcicerchia, per ciascuna consociazione presa in esame. Dalla Figura 3-8 emerge come tutte le consociazioni, pur avendo valori simili di LERtotale, siano state caratterizzate da un diverso contributo del cereale e della cicerchia in base alle densità di semina dei frumenti. Inoltre, nelle consociazioni con Jervicella il contributo al LERtotale del frumento è risultato sempre più elevato rispetto alle consociazioni in cui è stato inserito il Saragolla.



**Figura 3-8: ripartizione del LER totale nelle sue componenti:
LERfrumenti e LERcicerchia**

3.3.1 *Analisi di parametri fisio-morfologici*

In aggiunta ai dati produttivi e ai dati relativi ai LER, nell'annata 2021 sono stati raccolti, elaborati e interpretati ulteriori dati, riguardanti caratteri utili nell'analisi delle consociazioni ed in particolare nel confronto tra consociazioni e colture pure. A tal fine sono stati quindi analizzati i seguenti parametri: Lunghezza dello stelo, altezza della canopy e indice di allettamento (IA), relativamente alla cicerchia, e altezza e SPAD relativamente al frumento.

Lunghezza degli steli della cicerchia

L'Analisi della Varianza riguardante la lunghezza degli steli della cicerchia alla raccolta (Tabella 19) ha messo in evidenza come altamente significativa la fonte di variazione Prova. La fonte di variazione Colture non significativa ha indicato un'elevata uniformità nello sviluppo vegetativo della cicerchia in consociazione ed in coltura pura.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|--------|---------------|
| PROVA | 1 | 1046 | 1046 | 189,95 | 0,0002 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 22,026 | 5,506 | 0,321 | 0,86 |
| COLTURE | 6 | 121,872 | 20,312 | 1,186 | 0,34 |
| COLTURE X PROVA | 6 | 40 | 6,625 | 0,386 | 0,88 |
| ERRORE | 24 | 411,027 | 17,126 | | |

Tabella 19: analisi della varianza riguardante la lunghezza degli steli di cicerchia
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

Il Test t di Student (Tabella 20) ha evidenziato che la lunghezza degli steli della cicerchia nella prova 1 è risultata significativamente maggiore rispetto alla prova 2. Tale risultato è probabilmente legato alle migliori condizioni di fertilità generale che hanno caratterizzato la prova 1 rispetto alla prova 2. In particolare, vista la scarsa piovosità registrata nel 2021, la prova 1, situata più a valle rispetto alla prova 2, probabilmente è stata caratterizzata da un livello di disponibilità idrica per le colture più favorevole rispetto alla prova 2.

| PROVA | LUNGHEZZA STELI CICERCHIA (cm) |
|-----------------------|--------------------------------------|
| Prova 1 (parte bassa) | 70,4 a |
| Prova 2 (parte alta) | 60,5 b |

Tabella 20: confronto tra le due prove (Test t di Student)

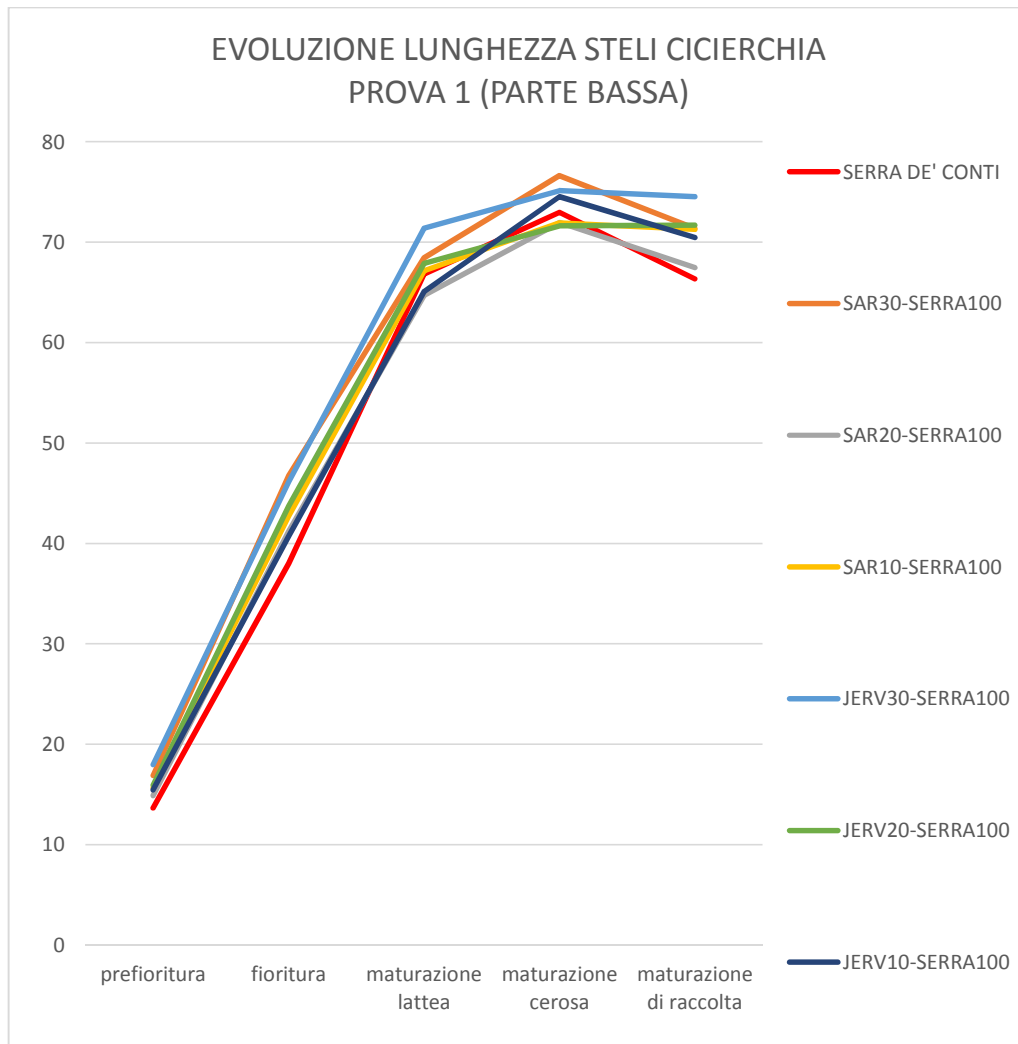
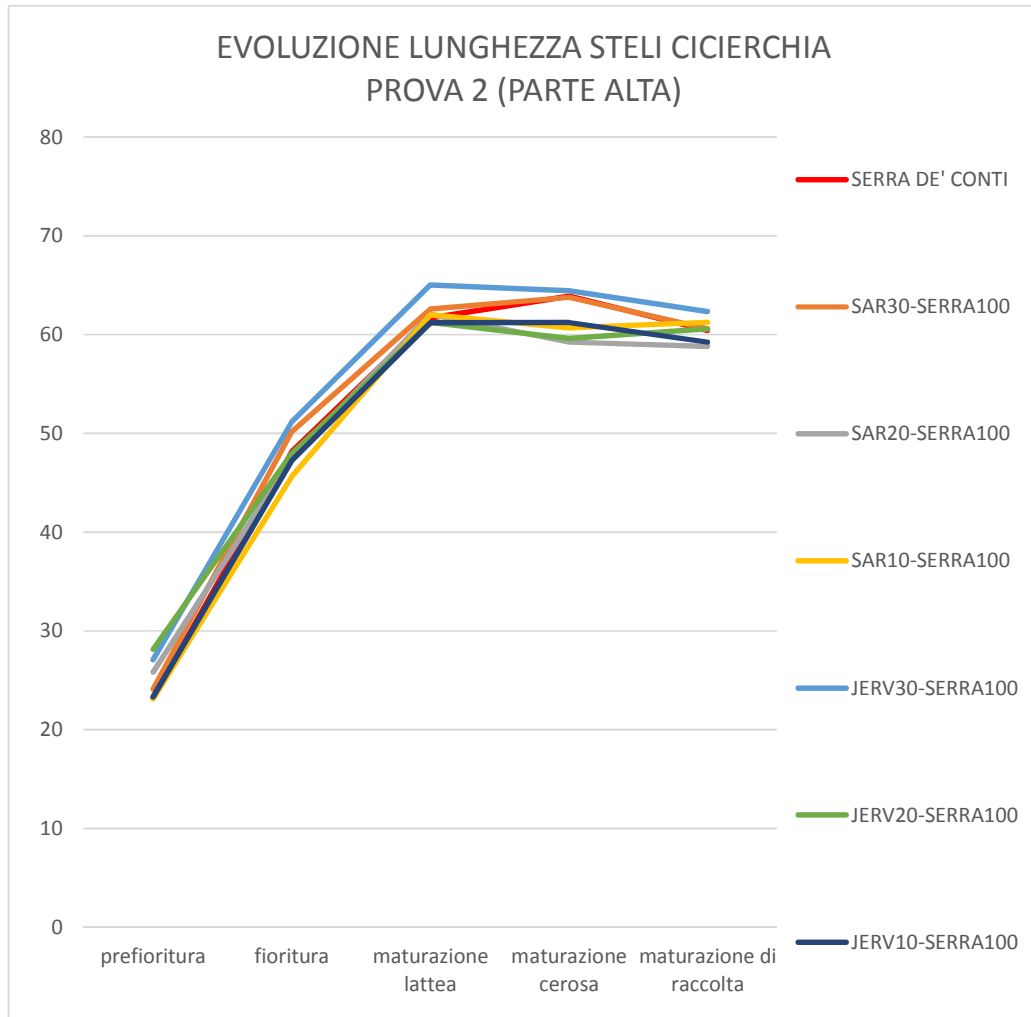


Figura 3-9: evoluzione della lunghezza degli steli di cicerchia all'interno della prova 1 durante il ciclo colturale



**Figura 3-10: evoluzione della lunghezza degli steli di cicerchia
all'interno della prova 2 durante il ciclo colturale**

Altezza della canopy della cicerchia

I risultati relativi all'analisi della varianza dell'altezza della canopy della cicerchia alla raccolta sono riportati in Tabella 21. Le fonti di variazione Prova, Coltura e l'interazione Coltura x Prova, sono risultate statisticamente significative.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|---------|-------------------|
| PROVA | 1 | 354,381 | 354,381 | 12,9511 | 0,0228 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 109,452 | 27,36 | 1,877 | 0,1472 |
| COLTURE | 6 | 2114,32 | 352,387 | 24,1719 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 6 | 362,369 | 60,39 | 4,1428 | 0,0054 |
| ERRORE | 24 | 349,88 | 14,57 | | |

Tabella 21: analisi della varianza riguardante l'altezza della canopy della cicerchia
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

Il Test t di Student (Tabella 22) ha mostrato che nella prova 1, caratterizzata da terreno più fertile, la cicerchia ha presentato un'altezza media della canopy significativamente più elevata di quella riscontrata nella prova 2, con una differenza di circa 6 cm tra le medie delle due prove.

| PROVA | ALTEZZA CANOPY CICERCHIA (cm) |
|-----------------------|----------------------------------|
| Prova 1 (parte bassa) | 50,4 a |
| Prova 2 (parte alta) | 44,5 b |

Tabella 22: confronto tra le due prove (Test t di Student)

La Tabella 23 riporta i confronti multipli (Test di Tukey) tra le medie dell'altezza della canopy tra le varie consociazioni testate. Molto interessante è stato osservare una nettissima differenza significativa tra la cicerchia in coltura pura e tutte le consociazioni: quest'ultima ha mostrato un'altezza della canopy significativamente maggiore della coltura pura. Il delta tra la canopy della cicerchia coltivata in purezza e quella consociata è stato di circa 20 cm. Dall'analisi statistica è emerso anche che non vi sono state differenze tra le varie consociazioni valutate nella prova sperimentale 2021. Questi risultati permettono di

comprendere come la consociazione della cicerchia con il frumento, attraverso l'esplicazione della funzione di sostegno da parte degli steli del frumento per gli steli della cicerchia, sia stata efficace nel diminuire l'allettamento della cicerchia consociata rispetto alla coltivazione in purezza, tenendola sollevata fino al momento della raccolta.

| COLTURE | ALTEZZA CANOPY (cm) |
|------------------------|----------------------------|
| Sar-SdC 10:100 | 51,3 a |
| Jer-SdC 20:100 | 51,2 a |
| Jer-SdC 30:100 | 50,8 a |
| Jer-SdC 10:100 | 49,7 a |
| Sar-SdC 20:100 | 49,6 a |
| Sar-SdC 30:100 | 49,4 a |
| Serra de' Conti | 30,2 b |

Tabella 23: confronti multipli tra colture (Test di Tukey)

Relativamente all'altezza della canopy, anche l'interazione Coltura x Prova è risultata significativa (Tabella 24), indicando che le diverse condizioni pedologiche che hanno contraddistinto le due prove hanno influenzato l'altezza della canopy della cicerchia nelle diverse consociazioni. In particolare, la consociazione in cui Jervicella è presente alla densità del 30% ha presentato un'altezza della canopy nella prova 1 (59,5 cm) significativamente più elevata che nella prova 2 (42,2 cm). Relativamente alle altre consociazioni non sono state riscontrate differenze significative tra le due prove. Complessivamente tutte le consociazioni hanno presentato un'altezza media della canopy maggiore nella prova 1 rispetto alla prova 2. E' stato comunque molto importante osservare che, sia nella prova 1 che nella prova 2, l'altezza della canopy è risultata significativamente maggiore per tutte le consociazioni rispetto alla coltura pura della cicerchia, unica eccezione rappresentata dalla consociazione dello Jervicella 30% nella prova 2. Questi risultati confermano la validità della consociazione per facilitare la raccolta meccanica.

Alle Figure 3-11 e 3-12 si può notare chiaramente l'effetto della consociazione nel garantire un'altezza della canopy più favorevole alla raccolta meccanica rispetto alla coltura pura.

| COLTURE | PROVA | ALTEZZA CANOPY (cm) |
|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Jer-SdC 30:100 | Prova 1 (parte bassa) | 59,5 a |
| Jer-SdC 20:100 | Prova 1 (parte bassa) | 54,8 ab |
| Sar-SdC 20:100 | Prova 1 (parte bassa) | 53,3 abc |
| Sar-SdC 30:100 | Prova 1 (parte bassa) | 53 abc |
| Sar-SdC 10:100 | Prova 1 (parte bassa) | 52,7 abc |
| Jer-SdC 10:100 | Prova 1 (parte bassa) | 50,3 abc |
| Sar-SdC 10:100 | Prova 2 (parte alta) | 50 abc |
| Jer-SdC 10:100 | Prova 2 (parte alta) | 49 abc |
| Jer-SdC 20:100 | Prova 2 (parte alta) | 47,5 bc |
| Sar-SdC 20:100 | Prova 2 (parte alta) | 45,8 bc |
| Sar-SdC 30:100 | Prova 2 (parte alta) | 45,8 bc |
| Jer-SdC 30:100 | Prova 2 (parte alta) | 42,2 cd |
| Serra de' Conti | Prova 2 (parte alta) | 31,5 de |
| Serra de' Conti | Prova 1 (parte bassa) | 28,8 e |

Tabella 24. altezza della canopy della cicerchia: confronti multipli relativi all'interazione Coltura x Prova (Test di Tukey)

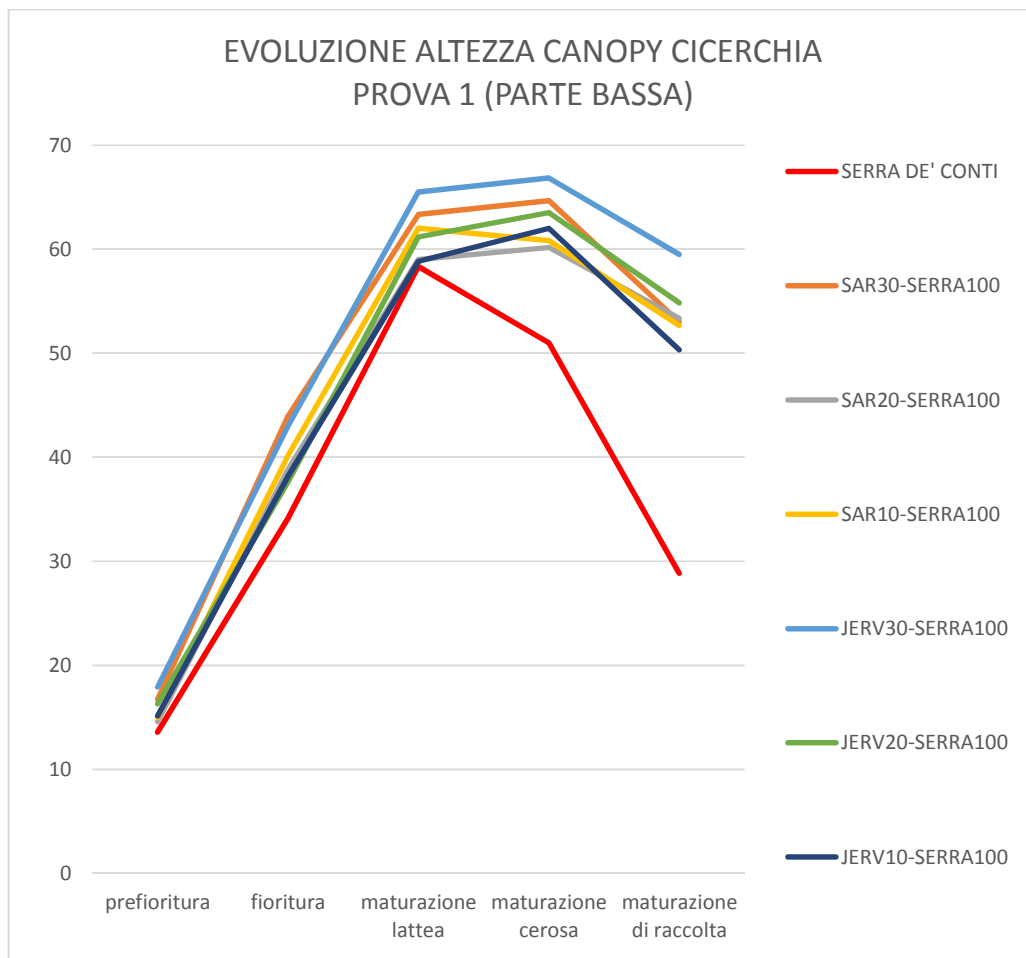


Figura 3-11: evoluzione dell'altezza della canopy della cicerchia all'interno della prova 1 durante il ciclo colturale

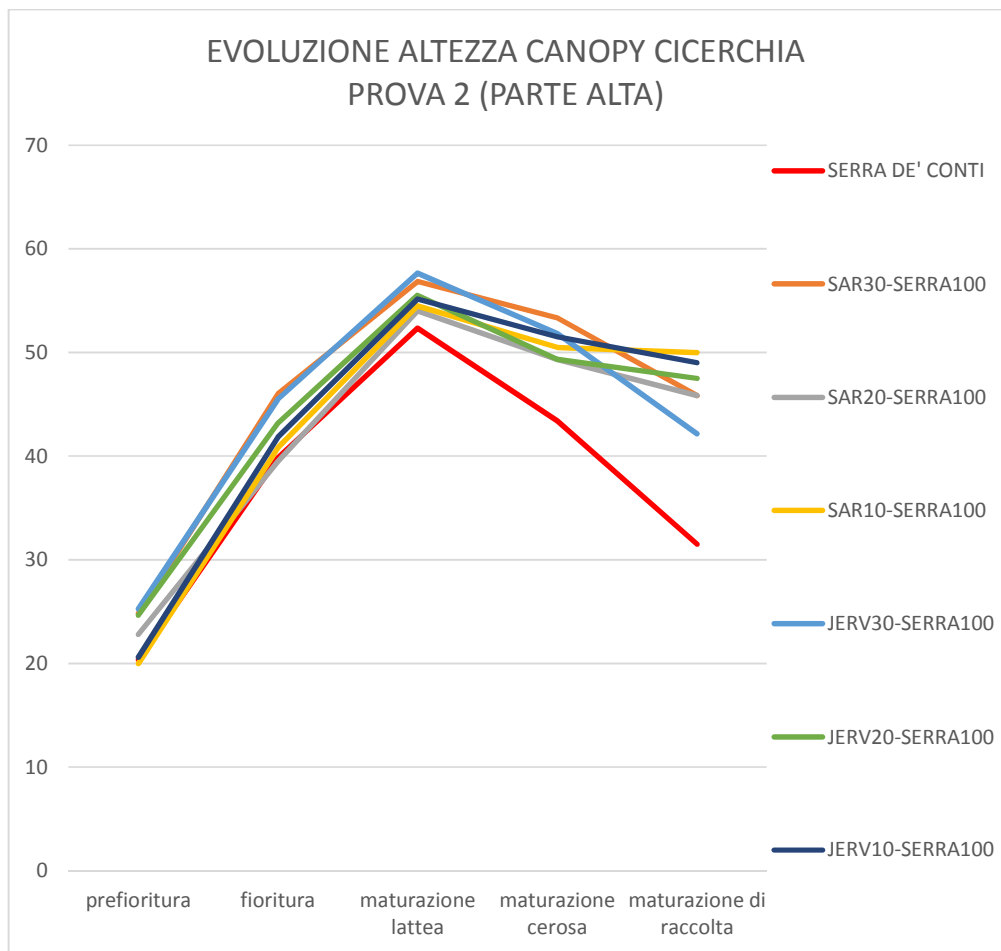


Figura 3-12: evoluzione dell'altezza della canopy della cicerchia all'interno della prova 2 durante il ciclo colturale

Indice di Allettamento (IA) della cicerchia.

L'Analisi della Varianza relativa all'Indice di Allettamento (I.A.) della cicerchia ha messo in evidenza come statisticamente significativa la fonte di variazione Colture (Tabella 25).

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|-----------------------|------|----------|----------|-------|---------|
| PROVA | 1 | 80,33 | 80,33 | 1,53 | 0,28 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 208,9 | 52,22 | 1,12 | 0,36 |
| COLTURE | 6 | 4163,46 | 693,91 | 14,99 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 6 | 551,3 | 91,88 | 1,98 | 0,1 |
| ERRORE | 24 | 1110,47 | 46,27 | | |

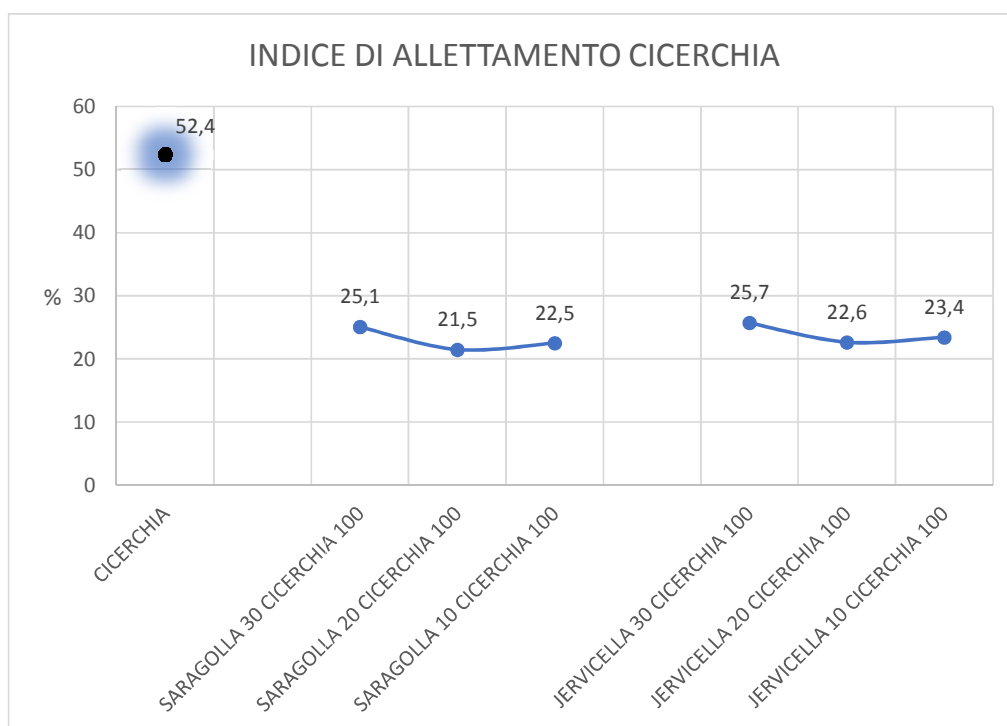
Tabella 25: analisi della varianza riguardante l'Indice di Allettamento della cicerchia
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)

In Tabella 26 sono riportati i confronti multipli tra le medie dell'Indice di Allettamento di *Lathyrus sativus* L. che hanno mostrato chiaramente che la cicerchia coltivata in consociazione ha mostrato indici di allettamento inferiori rispetto alla leguminosa coltivata in purezza. Dal punto di vista pratico è stato riscontrato un dimezzamento del livello di allettamento della cicerchia in coltura consociata, passando da un valore dell'indice di allettamento del 51,5% della leguminosa in coltura pura a valori compresi tra il 21 ed il 26% per la cicerchia consociata al cereale. Tale risultato è da attribuire alla funzione di sostegno che i culmi dei frumenti hanno svolto all'interno della consociazione. Ciò ha consentito di eseguire la raccolta meccanica in unico passaggio e di limitare la raccolta indesiderata di terra assieme alla massa vegetale da trebbiare. In campo si è notato che le parcelle in consociazione hanno permesso un passaggio della mietitrebbia parcellare più veloce e meno problematico di quello avvenuto per la cicerchia in purezza, nonostante tali parcelle siano state preventivamente falciate e andanate a mano. Sarebbe interessante valutare su più ampia scala, ovvero su superfici più estese, l'effetto della consociazione sull'efficienza della raccolta e valutarne anche gli effetti sui costi di produzione.

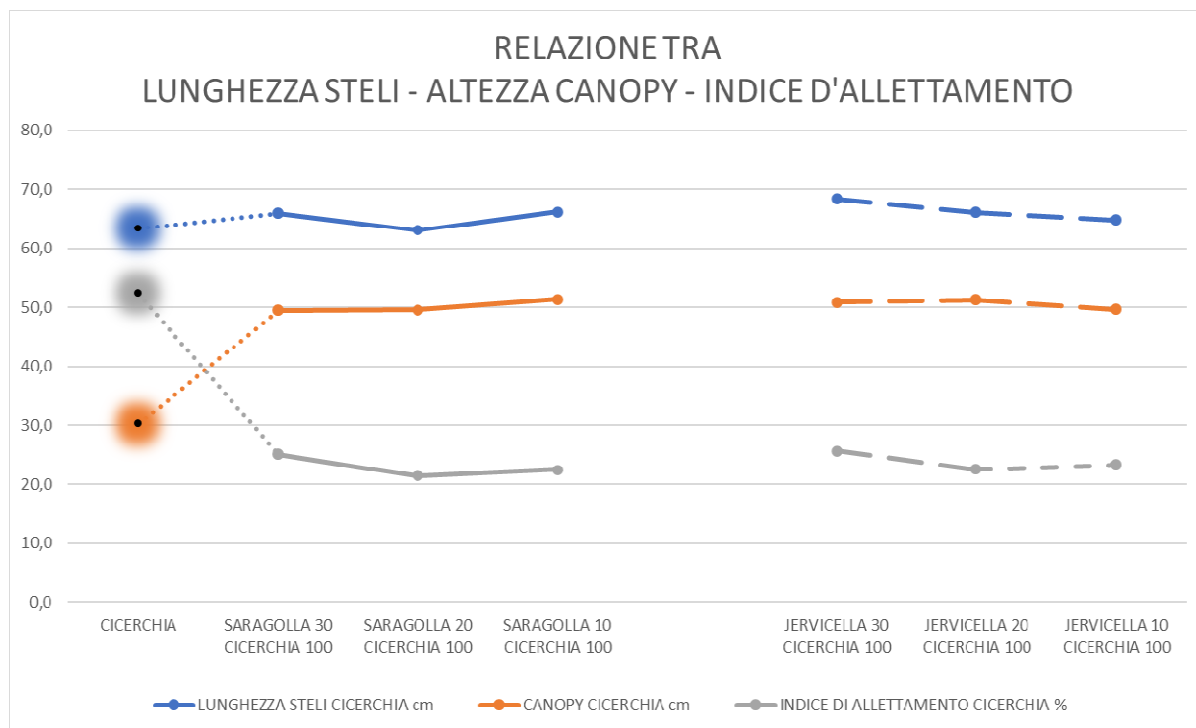
I risultati complessivamente ottenuti, relativamente all'Indice di Allettamento, sono riportati in forma grafica in Figura 3-13, da cui si evidenzia la differenza tra coltura pura e consociata, e l'uniformità nell'indice tra colture consociate.

| COLTURE | INDICE DI ALLETTAMENTO (%) |
|-----------------|----------------------------|
| Serra de' Conti | 51,5 a |
| Jer-SdC 30:100 | 26,1 b |
| Sar-SdC 30:100 | 25 b |
| Jer-SdC 10:100 | 22,9 b |
| Jer-SdC 20:100 | 22,6 b |
| Sar-SdC 10:100 | 22,2 b |
| Sar-SdC 20:100 | 21,3 b |

Tabella 26: confronti multipli tra colture (Test di Tukey)



**Figura 3-13: Indice di Allettamento della cicerchia:
confronto tra coltura pura e consociata**



**Figura 3-14: relazione tra lunghezza degli steli, altezza della canopy e indice di allettamento della cicerchia alla raccolta in coltura pura e consociata.
Media dei valori delle due prove 2021**

In Figura 3-14 vengono riportati in forma grafica i risultati relativi ai tre parametri fisiomorfolo- gici valutati.

Integrando i risultati riguardanti la lunghezza degli steli e l'altezza della canopy con quelli dell'Indice di Allettamento si può comprendere il comportamento della cicerchia in consociazione e il motivo per cui la raccolta meccanica risulti facilitata. Sebbene non ci siano differenze tra la coltura pura e consociazione riguardo la lunghezza degli steli, in tutte le consociazioni testate la cicerchia presenta un'altezza della canopy assolutamente maggiore rispetto alla coltura pura. Ciò si riflette nell'Indice di Allettamento (I.A.) in quanto esso valuta il delta che si crea tra la lunghezza degli steli e l'altezza della canopy nel momento in cui la coltura pura tende ad allettarsi. Un minor I.A. indica che le piante sono più sollevate da terra al momento della raccolta migliorando così le operazioni raccolta in termini di velocità, semplicità e pulizia del prodotto raccolto. La Figura 3-15 riassume in maniera piuttosto chiara quanto precedentemente descritto.



Figura 3-15: parcella di cicerchia in coltura pura (al centro) affiancata da parcelle di coltura consociata. Si noti l'evidente differenza di allettamento tra i due metodi di coltivazione

Altezza dei frumenti a maturazione di raccolta

L'ANOVA relativa all'altezza dei frumenti alla raccolta (Tabella 27) ha identificato come statisticamente significative le fonti di variazione Prova, Colture e l'interazione Colture x Prova.

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|---------|-------------------|
| PROVA | 1 | 385,05 | 385,05 | 10,3754 | 0,0322 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 148,447 | 37,1117 | 1,6739 | 0,1840 |
| COLTURE | 7 | 2472,87 | 353,267 | 15,9342 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 7 | 438,725 | 62,6749 | 2,8270 | 0,0232 |
| ERRORE | 28 | 620,7717 | 22,170 | | |

**Tabella 27: analisi della varianza riguardante l'altezza dei frumenti alla raccolta
(g.l = gradi di libertà; p = livello di significatività)**

La Tabella 28 mostra i risultati del Test t di Student da cui risulta una differenza significativa tra le due prove: i frumenti della prova 1 sono risultati mediamente 5,7 cm più alti di quelli della prova 2. Su questo risultato ha probabilmente influito il diverso livello di fertilità e di disponibilità d'acqua tra i due punti dell'appezzamento che hanno ospitato la due prove.

| PROVA | ALTEZZA FRUMENTI (cm) |
|-----------------------|----------------------------------|
| Prova 1 (parte bassa) | 111,9 a |
| Prova 2 (parte alta) | 106,2 b |

Tabella 28: confronto tra le due prove (Test t di Student)

In Tabella 29 si riportano i risultati del Test di Tukey riguardante la differenza tra Colture nell'altezza dei frumenti alla raccolta. I risultati ottenuti hanno mostrato che le colture pure di entrambe le varietà di frumento hanno presentato un'altezza significativamente più elevata delle rispettive colture consociate. Questo risultato indica come la riduzione della densità e la consociazione abbiano influito significativamente sullo sviluppo delle due varietà di frumento. Inoltre, tra colture consociate di ciascuna varietà di frumento non sono state riscontrate differenze significative. Quindi, complessivamente, differenze significative sono state identificate tra colture pure e consociazioni, mentre una elevata uniformità ha caratterizzato le varie consociazioni sia della varietà Jervicella che di Saragolla.

| COLTURE | ALTEZZA FRUMENTI (cm) |
|-----------------------|----------------------------------|
| Jervicella | 121,3 a |
| Saragolla | 114 ab |
| Jer:SdC 30:100 | 113,7 abc |
| Jer:SdC 20:100 | 112,3 bc |
| Jer:SdC 10:100 | 106,9 bcd |
| Sar-SdC 30:100 | 105,1 cd |
| Sar-SdC 20:100 | 99,5 d |
| Sar-SdC 10:100 | 99,4 d |

Tabella 29: confronti multipli tra colture (Test di Tukey)

L'ultima fonte di variazione che è risultata significativa dall'ANOVA condotta sull'altezza dei frumenti è l'interazione Colture x Prova e la Tabella 30 mostra i risultati del Test di Tukey relativi al confronto tra le medie. Il test ha messo in evidenza una differenza significativa tra Jervicella in purezza della prova 1 (130,7 cm) e Jervicella in purezza della prova 2 (112 cm). Inoltre, relativamente alla prova 1, è stata riscontrata una differenza significativa tra Jervicella in purezza e tutte le colture comprendenti il Saragolla. Una differenza significativa è stata anche ottenuta tra consociazioni di Jervicella al 20 e al 30% della prova 1 e le consociazioni con Saragolla al 10 e al 20% di entrambe le prove oltre che con la combinazione Saragolla 30 Cicerchia 100 della prova 2. Infine, è stata osservata una

differenza significativa tra il Saragolla in coltura pura della prova 1 e le consociazioni aventi Saragolla al 10% di entrambe le prove con la combinazione Saragolla 20 Cicerchia 100 della prova 2.

| COLTURE | PROVA | ALTEZZA FRUMENTI (cm) |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Jervicella | Prova 1 (parte bassa) | 130,7 a |
| Jer:SdC 20:100 | Prova 1 (parte bassa) | 117,4 ab |
| Jer:SdC 30:100 | Prova 1 (parte bassa) | 117,2 ab |
| Saragolla | Prova 1 (parte bassa) | 114,5 bc |
| Saragolla | Prova 2 (parte alta) | 113,5 bcd |
| Jervicella | Prova 2 (parte alta) | 112 bcde |
| Jer:SdC 30:100 | Prova 2 (parte alta) | 110,3 bcde |
| Sar-SdC 30:100 | Prova 1 (parte bassa) | 108 bcde |
| Jer:SdC 20:100 | Prova 2 (parte alta) | 107,2 bcde |
| Jer:SdC 10:100 | Prova 2 (parte alta) | 107,2 bcde |
| Jer:SdC 10:100 | Prova 1 (parte bassa) | 106,6 bcde |
| Sar-SdC 30:100 | Prova 2 (parte alta) | 102,1 cde |
| Sar-SdC 20:100 | Prova 1 (parte bassa) | 101,4 cde |
| Sar-SdC 10:100 | Prova 2 (parte alta) | 99,7 de |
| Sar-SdC 10:100 | Prova 1 (parte bassa) | 99,2 de |
| Sar-SdC 20:100 | Prova 2 (parte alta) | 97,6 e |

Tabella 30: confronti multipli tra le interazioni Coltura x Prova (Test di Tukey)

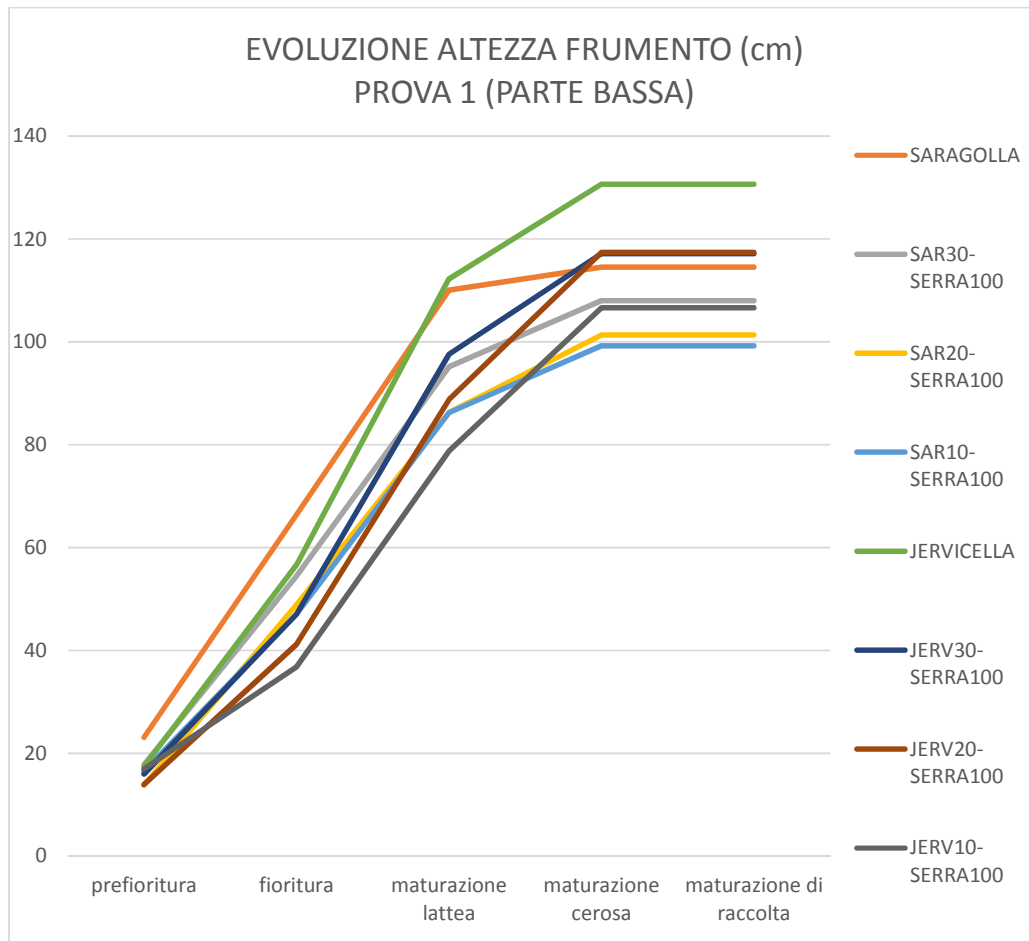


Figura 3-16: evoluzione dell'altezza dei frumenti all'interno della prova 1 durante il ciclo colturale

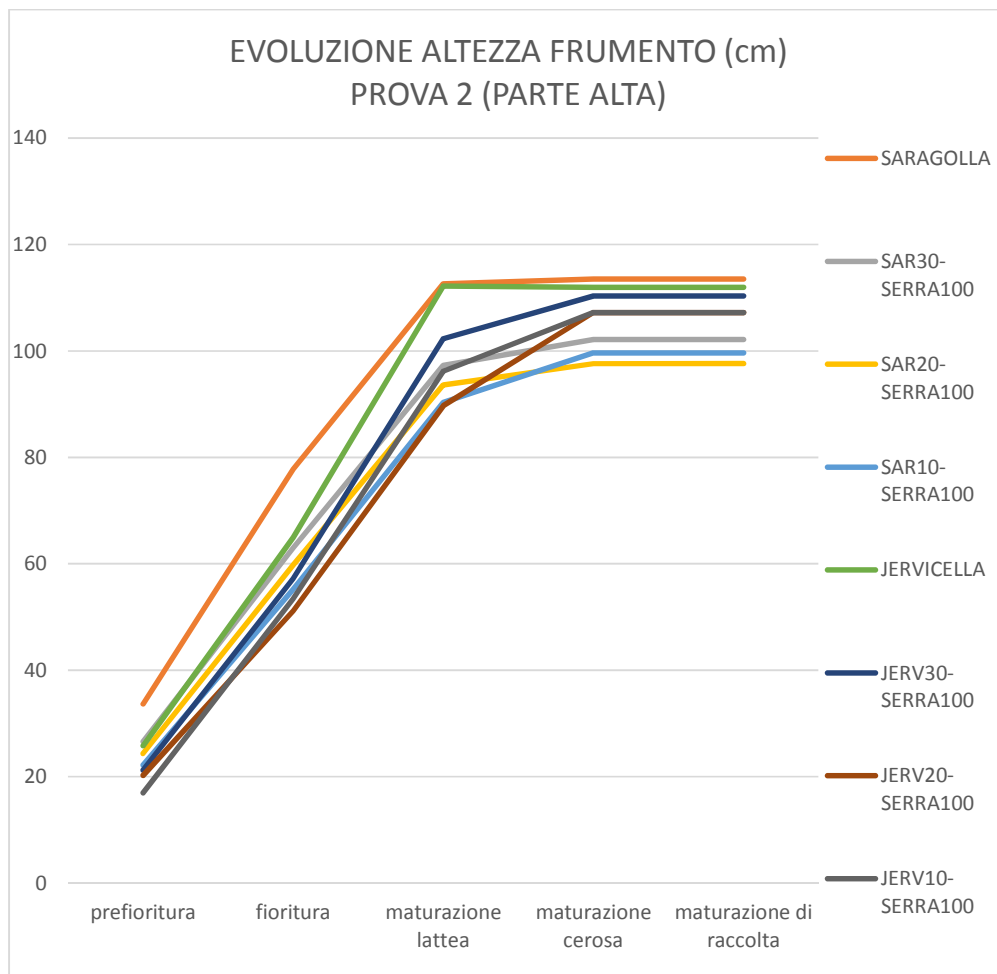


Figura 3-17: evoluzione dell'altezza dei frumenti all'interno della prova 2 durante il ciclo colturale

Indice SPAD dei frumenti

L'Analisi della Varianza relativa all'indice SPAD ha messo in evidenza come statisticamente significative le fonti di variazione Prova e Coltura (Tabella 31).

| Fonti di variazione | g.l. | DEVIANZA | VARIANZA | F | p |
|------------------------------|------|----------|----------|-------|-------------------|
| PROVA | 1 | 17,82 | 17,82 | 11,33 | 0,02 |
| BLOCCHI (entro prova) | 4 | 6,28 | 1,57 | 0,38 | 0,81 |
| COLTURE | 7 | 238,34 | 34,04 | 8,38 | <0,0001 |
| COLTURE X PROVA | 7 | 60,39 | 8,62 | 1,12 | 0,073 |
| ERRORE | 28 | 113,65 | 4,059 | | |

Tabella 31: indice SPAD. Risultati dell'ANOVA.

(g.l.= gradi di libertà; p= livello di significatività)

Il Test t di Student (Tabella 32) ha indicato che la prova 2, ossia quella caratterizzata dall'essere in leggera pendenza e con terreni più sabbiosi, ha mostrato un valore medio dell'indice SPAD significativamente maggiore rispetto alla prova ubicata nella zona più pianeggiante e con terreno a granulometria più fine.

| PROVA | SPAD |
|-----------------------|-------------|
| Prova 2 (parte alta) | 51,40 a |
| Prova 1 (parte bassa) | 50,18 b |

Tabella 32: confronto tra le due prove (Test t di Student)

In Tabella 33 sono riportati i risultati dei confronti multipli tra le medie dell'indice SPAD (Test di Tukey) delle colture, i quali delineano una netta differenza significativa tra lo Jervicella in purezza e il resto delle colture testate. Tale frumento tenero antico ha presentato un indice SPAD significativamente minore rispetto a quello del Saragolla in coltura pura e allo SPAD di tutte le altre consociazioni. Quindi, relativamente allo Jervicella, la riduzione della densità delle piante nelle colture consociate ha determinato un significativo incremento

del contenuto in clorofilla nelle foglie rispetto alla coltura pura. Tale differenza non è stata osservata per il frumento duro Saragolla.

| COLTURE | SPAD |
|----------------|--------|
| Sar:SdC 10:100 | 53,4 a |
| Sar:SdC 20:100 | 52,6 a |
| Saragolla | 52 a |
| Sar:SdC 30:100 | 51,9 a |
| Jer-SdC 20:100 | 50,8 a |
| Jer-SdC 10:100 | 50,2 a |
| Jer-SdC 30:100 | 49,7 a |
| Jervicella | 45,7 b |

Tabella 33: indice SPAD. Confronti multipli tra colture (Test di Tukey)

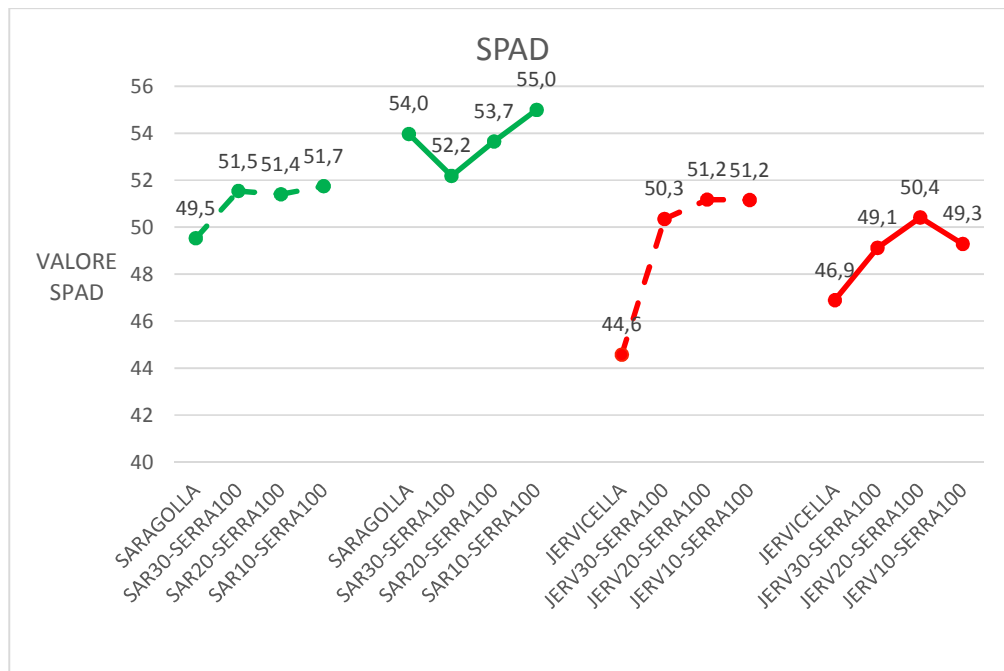


Figura 3-18: valori SPAD dei due frumenti in coltura pura e consociata nelle due prove:

in tratteggiato la prova 1 (parte bassa), in linea continua la prova 2 (parte alta), in verde il Saragolla e in rosso lo Jervicella.

CONCLUSIONI

Il biennio di sperimentazione sulla consociazione frumenti antichi-cicerchia discusso in questa tesi di laurea ha consentito di comprendere aspetti più o meno cruciali per la soddisfacente coltivazione di questo tipo di associazione vegetale.

Innanzitutto, i due andamenti meteorologici decisamente diversi fra loro hanno reso evidente il potenziale produttivo e l'adattabilità della cicerchia di Serra de' Conti, specialmente in condizioni siccitose. Parimenti, anche i frumenti antichi Saragolla e Jervicella hanno dimostrato di riuscire a produrre un considerevole quantitativo di granella anche in condizioni di scarsa disponibilità idrica e con ciclo primaverile piuttosto breve, pur mostrando performance migliori in condizioni di maggior disponibilità idrica e con ciclo di coltivazione più lungo.

La sperimentazione qui riportata ha poi condotto ad una prima ottimizzazione della consociazione dal punto di vista delle densità di semina da utilizzare per entrambe le specie: densità di semina pari alla coltura pura per la leguminosa tradizionale e densità di semina pari al 20-30% della densità di semina usata in coltura pura per i frumenti antichi.

Un'adeguata densità di semina porta ad avere raccolti in cui le due granelle sono più equamente divise tra loro e, non di meno, consente di ottimizzare l'efficienza d'uso del suolo e delle risorse ambientali.

Di grande interesse è stata l'analisi dell'Indice di Allettamento (Loïc et al., 2018) che ha permesso di dimostrare come la consociazione frumenti antichi-cicerchia possa essere direttamente raccolta mediante mieti-trebbiatura piuttosto che essere falciata, andanata e trebbiata in passaggi successivi come prevede la raccolta tradizionale della coltura pura.

Le prove qui illustrate hanno, inoltre, portato a comprendere le differenze produttive e fisiomorfologiche oltre che l'adattabilità dei due genotipi di frumento antico nei confronti della coltura consociata.

Sarebbe certamente interessante ripetere le prove condotte nel 2021 anche negli anni a venire a causa dell'anomalo andamento meteo che ha caratterizzato il secondo anno di prova.

Utile sarebbe testare le consociazioni a bassa presenza di cereali su scala maggiore per avere responsi più vicini a quella che è la pratica di campo applicabile dalle aziende agricole del territorio marchigiano. Sarebbe altrettanto interessante valutare l'impatto economico della consociazione sul conto culturale della cicerchia.

Concludendo, si può affermare che in virtù dei ridottissimi input utilizzati per l'espletamento della coltivazione (riconducibili alle sole operazioni agro-meccaniche), a fronte di produzioni considerevoli e grazie all'ottimizzata efficienza d'uso del suolo coltivato (come testimoniato dai LER maggiori di 1), si ritiene che la consociazione frumenti antichi-cicerchia possa pienamente essere definita un sistema di coltivazione valido per sistemi di agricoltura sostenibile.

BIBLIOGRAFIA

- Agegnehu et al., 2006; Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*. 25, 202-207
- Andersen, M.K. et al., 2005. Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. *Plant Soil*. 266, 273-287
- Aslam, M., et al., 2003. Contributions of chickpea nitrogen fixation to increased wheat production and soil organic fertility in rainfed cropping. *Biology and Fertility of Soils*. 38, 59-64.
- ASSAM, 2019. La biodiversità agraria delle Marche. *ASSAM*, pp. 188 e 220
- Atis, I. e Acikalin, S.; 2020. Yield, quality and competition properties of grass pea and wheat grown as pure and binary mixture in different plant densities. *Turkish Journal of Field Crops*.
- Awal et al., 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agric. For. Meteorol.* 139, 74-83
- Banik et al., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*. 24, 325-332
- Banik et al., 2009. Yield and resource utilization efficiency in baby corn-legume intercropping system in the eastern plateau of India. *Journal of Sustainable Agriculture*. 33, 379-395
- Barillot et al., 2014. Assessing the effects of architectural variations on light partitioning within virtual wheat-pea mixtures. *Ann. Bot.*, mcu099
- Bedoussac, L. e Justes, E., 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interaction and intercrop efficiency: application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Research*. 124, 25-36

- Bedoussac, L. et al. 2014. Ecological principles underlying the increase the productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*.
- De Vita, P. et al., 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Research*. 119, 68-77.
- DFID, 2003. Improving the yield potential and quality of grasspea (*Lathyrus sativus L.*) a dependable source of dietary protein for subsistence farmer in Ethiopia. <http://www.dfid.gov.uk/r4d/SearchResearchDatabase.asp?ProjectID=2165>
- Dixit, G.P. et al., 2016. Achievements and prospects of grass pea (*Lathyrus sativus L.*) improvement for sustainable food production. *The Crop Journal*. 4, 407-416.
- FAO, 2017. The future of food and agriculture: trends and challenges. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome
- Getahun, H. et al., 1999. Epidemic of neurolathyrism in Ethiopia. *Lancet*. 354, 306-306.
- Ghaley, B.B. et al., 2005. Intercropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization. *Nutrient Cycle Agroecosystem*. 73, 201-212
- Giannoni, M., 2017. Allevamento biologico del suino. *Edagricole*, pp.132
- Granati, E. et al., 2003. Characterization of Italian and exotic *Lathyrus* germplasm for quality traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 50, 273-280.
- Hauggaard-Nielsen, H. et al., 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*. 113, 64-71
- Hillocks, R. e Maruthi M. N. G., 2012. Grass pea (*Lathyrus sativus L.*): Is there a case of further improvement? *Euphytica*. 186, 647-654.
- Hocking, P.J., 2001. Organic acid exuded from roots in phosphorous uptake and aluminium tolerance of plant in acids soils. *Advances in Agronomy*. 74, 63-97.
- Jensen, E.S., 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant Soil*. 182, 25-38
- Jensen, E.S. and Hauggaard-Nielsen, H., 2003. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit di environment? *Plant and Soils*. 252, 177-186.

- Kachout, S.S. et al., 2019. Effect of Water Deficit during Germination and Flowering period of Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*. 13, 12-18.
- Katyayan, A., 2005. Fundamentals of agriculture. *Kushal Publication and Distributors*. pp 10-11
- Kirkegaard, J. et al., 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*. 107, 185-195.
- Kislev, M.E. 1989. Origin of the cultivation of *Lathyrus sativus* and *L. cicera* (Fabaceae). *Econ. Bot.*43, 262-270.
- Kumar, S. et al., 2011. Genetic improvement in grass pea for low neurotoxin (β -ODAP) content. *Food and Chemical Toxicology*. 49, 589-600.
- Lambein, F. et al., 2019. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.): orphan crop, nutraceutical or just plain food? *Planta*.
- Loic, V. et al., 2018. Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agronomy for Sustainable Development*. 38
- Lupwayi, N.Z. and Kennedy, A.C., 2007. Grain legumes in Northern Great Plains: Impact on selected biological soil processes. *Agronomy Journal*. 99, 1700-1709.
- Mead, R. and Willey, R.W., 1980. the concept of land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*. 16, 217-228
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. *Island Press*, Washington, D.C.
- Mousavi, S. R. e Eskandari, H., 2011. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental Biology Science*. 1, 482-486
- Nuruzzaman, M. et al., 2005. Phosphorous benefit of different legumes crops to subsequent wheat grown in different soils of Western Australia. *Plant and Soils*. 271, 175-187.
- Ouma, G. e Jeruto, P., 2010. Sustainable horticultural crop production through intercropping: the case of fruit and vegetable crops: a review. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1, 1098-1105

- Peoples, M.B., et al., 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*. 48, 1-17.
- Polignano, G. et al., 2005. Morpho-agronomic diversity in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Plant Genetic Resources*. 3, 29-34.
- Rochester, I.J., et al., 2001. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. *Field Crops Research*. 70, 27-41.
- Saia, S. et al., 2015. Focus sui grani antichi e la crescente disinformazione sulle varietà moderne. *Agriscilia*.
- Salvagiotti, F., et al., 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*. 108, 1-13.
- Sekamatte, B. M. et al., 2003; Effects of maize-legume intercrops on termite damage to maize, activity of predatory ants and maize yields in Uganda. *Crop Protection*. 22, 87-93
- Shah, Z., et al., 2003. Crop residues and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Research*. 83, 1-11.
- Stevenson, F.C. e van Kessel, C., 1997. Nitrogen contributions of pea residues in a hummocky terrain. *Soil Science Society of America Journal*. 61, 494-503.
- Sullivan, P., 2003. Intercropping principles and production practices. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). Fayetteville, Arkansas. *Agronomy Systems Guide*, pp 1-12
- Tavoletti, S. et al., 2010. Agronomic, qualitative (β -ODAP) and molecular variability in grass pea population of the Marche region (central Italy). *Food and Chemical Toxicology*. 49, 601-606
- Tesgaye, D. et al., 2005. Performance of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) somaclones at Adef, northwest Ethiopia. *Lath Lath Newsletter*. 4, 5-6.
- Tsubo, M. et al., 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*. 71, 17-29
- TUIK, 2019. Crop production statistics; forage crops. http://ww.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id= 1001
- Van Kessel, C. e Hartely, C., 2000. agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research*. 65, 165-181.

- Walley, F.L. et al., 2007. Nitrogen economy of pulse crop production in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 99, 1710-1718.
- Weigelt, A. e Jolliffe, P., 2003. Indices of plant competition. *Journal of Ecology*. 91, 707-720
- Yildirim, E. e Guvence, I., 2005. intercropping based on cauliflower: more productivity, profitable and highly sustainable. *European Journal of Agronomy*. 22, 11-18
- Zhang, L. et al., 2007. Growth yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research*. 103, 178-188