



Report finale del progetto di ricerca

“MEccanizzazione dell’ORticoltura Biologica e COnservativa”
Acronimo “MEORBICO”

finanziato dal MiPAAF con Decreto del 19 dicembre 2019

Periodo: Gennaio 2020 - Luglio 2022

UO partecipanti:

- 1** - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a) dell’Università di Pisa Responsabile: Prof. Andrea Peruzzi
- 2** - Centro di Ricerche Agro-Ambientali “E.Avanzi” (CiRAA) dell’Università di Pisa. Responsabile: Prof. Marco Mazzoncini
- 3** - Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa (SSSA) Responsabile: Prof. Paolo Barberi

Coordinatore nazionale:
Prof. Andrea Peruzzi
DiSAAA-a Università di Pisa

1 - ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO MEORBICO

Questo progetto ha previsto la realizzazione di una ricerca finalizzata a valutare l'effetto sinergico di agricoltura biologica (AB) e conservativa (AC) nell'ambito di sistemi orticoli, mediante l'impiego di cover crop in grado di contrastare lo sviluppo della flora infestante e di migliorare la disponibilità di nutrienti. Le priorità del progetto sono state quelle di verificare la possibilità di applicare on-farm le strategie conservative su pomodoro da industria, evidenziandone i punti di forza e di debolezza dal punto di vista meccanico e operativo, tecnico-economico, agronomico e agro-ecologico. Le strategie di coltivazione sono state definite con approccio partecipativo tra i partner e l'Azienda agricola Pasquini di Suvereto (LI) che ha ospitato la ricerca che ha previsto il confronto sperimentale tra le seguenti modalità di gestione: 1) lavorazione profonda convenzionale (con o senza inversione degli strati) e trapianto su bio-telo; 2) utilizzo di cover crop e trapianto dopo un loro parziale interrimento mediante minima lavorazione; 3) lavorazione convenzionale e trapianto senza utilizzo di biotelo; 4) trapianto della coltura su biotelo con terreno precedentemente preparato mediante utilizzo di cover crop seguito da parziale interrimento mediante minima lavorazione. La descrizione dettagliata della ricerca "on farm", inclusa la metodologia adottata, i rilevamenti effettuati, le modalità applicative e gestionali e la sua articolazione nel biennio sono riportate dettagliatamente nel paragrafo 2.

La prova parcellare on-station, funzionale ad approfondire maggiormente le conoscenze sull'adozione di sistemi orticoli biologici e conservativi è iniziata nel 2020 presso il Centro di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa ed è stata ripetuta durante il secondo anno del progetto confrontando un sistema conservativo "standard" (lavorazione superficiale e utilizzo delle colture di copertura come sovesci) con un sistema più "estremo", che ha previsto il trapianto su terreno sodo in presenza di dead mulch prodotto da diverse colture di copertura. Le attività di ricerca hanno avuto inizio nel mese di novembre del 2020 con la lavorazione del terreno (intervento con coltivatore combinato a 10-20 cm di profondità, seguito da affinamento del terreno e semina delle cover crop con erpice rotante combinato con seminatrice a righe). Le tipologie di copertura sono state identiche nel biennio (controllo privo di coltura di copertura, segale in purezza, trifoglio squaroso in purezza, miscuglio tra trifoglio e segale). La semina è avvenuta a spaglio (utilizzando una seminatrice a righe priva di assolcatori) in entrambi gli anni nel mese di novembre, alle dosi, rispettivamente, di 180 e 50 kg seme ha⁻¹ per segale e trifoglio nelle tesi in purezza, mentre nel miscuglio si è adottata per ciascuna componente una dose pari al 50% della dose in purezza. Il protocollo sperimentale è stato lo stesso in entrambi gli anni e ha previsto nella primavera successiva il confronto tra la gestione conservativa standard come sovescio (trinciatura con trinciastocchi, seguita da incorporazione al terreno mediante zappatrice rotativa) e la gestione conservativa con non lavorazione, attuata mediante il trapianto su sodo con operatrice innovativa realizzata presso l'Università di Pisa dopo la devitalizzazione della coltura da copertura (trasformata in tal modo in dead mulch) mediante un primo passaggio con rullo a lame (modello Clemens Eco-roll®) e un secondo passaggio con operatrice per il pirodiserbo appositamente realizzata dalla ditta MAITO sulla base delle specifiche tecniche dei prototipi precedentemente progettati e costruiti presso l'Università di Pisa. La metodologia adottata, i rilevamenti effettuati, le modalità applicative e gestionali e l'articolazione della ricerca "on station" sono state le medesime nel biennio (come già descritto dettagliatamente nei report annuali del 2020 e del 2021) e sono riportate sinteticamente nel paragrafo 3.

L'obiettivo principale, alla fine del biennio di sperimentazione, è stato quello di quantificare le ricadute agronomiche delle strategie innovative, i servizi agro-eco-sistemici chiave e l'effetto sulla flora infestante.

La gestione sperimentale nel biennio 2020-2021, ha previsto l'effettuazione di rilievi volti alla determinazione delle prestazioni operative dei cantieri di lavoro, degli impieghi complessivi di manodopera, e della qualità del lavoro svolto al fine di poter confrontare i diversi sistemi di gestione adottati in termini tecnico-economici e di performance complessive delle singole macchine. Sempre per poter confrontare i diversi sistemi sono stati effettuati rilievi specifici sulla tipologia, sullo stadio di sviluppo e sul livello di copertura della flora spontanea prima e dopo tutti gli interventi volti al suo controllo, riportati nei paragrafi 2 e 3. Inoltre, è stata determinata la biomassa e la composizione floristica delle cover crop utilizzate nei due diversi contesti di prova prima di procedere alla loro devitalizzazione. In fase di raccolta del pomodoro sono stati effettuati rilievi sulle rese e sulla biomassa delle infestanti che consentiranno di poter confrontare i sistemi adottati nella prova "on farm" e in quella "on station" in termini di prestazioni agronomiche ed economiche complessive. Tutti i risultati ottenuti sia

nel primo che nel secondo anno di attività di ricerca sono stati inseriti e adeguatamente commentati in questo report scientifico finale, che sarà inviato al Ministero nel mese di dicembre del 2022 insieme alla rendicontazione.

2 - PROVA ON-FARM.

2.1 - FASE ISTRUTTORIA E COINVOLGIMENTO DELL' AGRICOLTORE.

Dopo aver incontrato più volte l'agricoltore, Alessandro Pasquini, la decisione comune è stata quella di strutturare la sperimentazione come già descritto nei report relativi al primo anno di prove, considerando le convinzioni dell'agricoltore, che adotta da sempre una gestione biologica "di sostituzione" basata su lavorazioni profonde, largo impiego di fertilizzanti e gestione della flora spontanea con biotelo. Gli itinerari tecnici impostati per il sistema conservativo sono stati da lui accettati di buon grado, mostrando interesse per una gestione basata sull'utilizzo delle colture da copertura e dei sovesci, sull'impiego di lavorazioni ridotte e sull'utilizzo delle macchine innovative per il controllo fisico delle infestanti progettate e realizzate presso l'Università di Pisa (erpice a dischi attivi, operatrice per il pirodiserbo e sarchiatrice di precisione).

2.2 - DESCRIZIONE DEL LAYOUT SPERIMENTALE E DEI TRATTAMENTI

Nel biennio le prove sperimentali sono state attuate su due appezzamenti limitrofi aventi caratterizzati da una tipologia del terreno identica. Sia nel 2020 che nel 2021 tali appezzamenti sono stati suddivisi in due parti in base alle due differenti tipologie di gestione del terreno (Fig.1). La tesi innovativa (in fucsia) ha occupato in entrambi gli anni una porzione dell'appezzamento pari a 15 metri di larghezza per l'intera lunghezza del campo (circa 4000 m²), mentre la tesi aziendale (in giallo) ha occupato il resto del campo (circa 4000 m²). Tra le due tesi a confronto non vi è stata alcuna separazione.

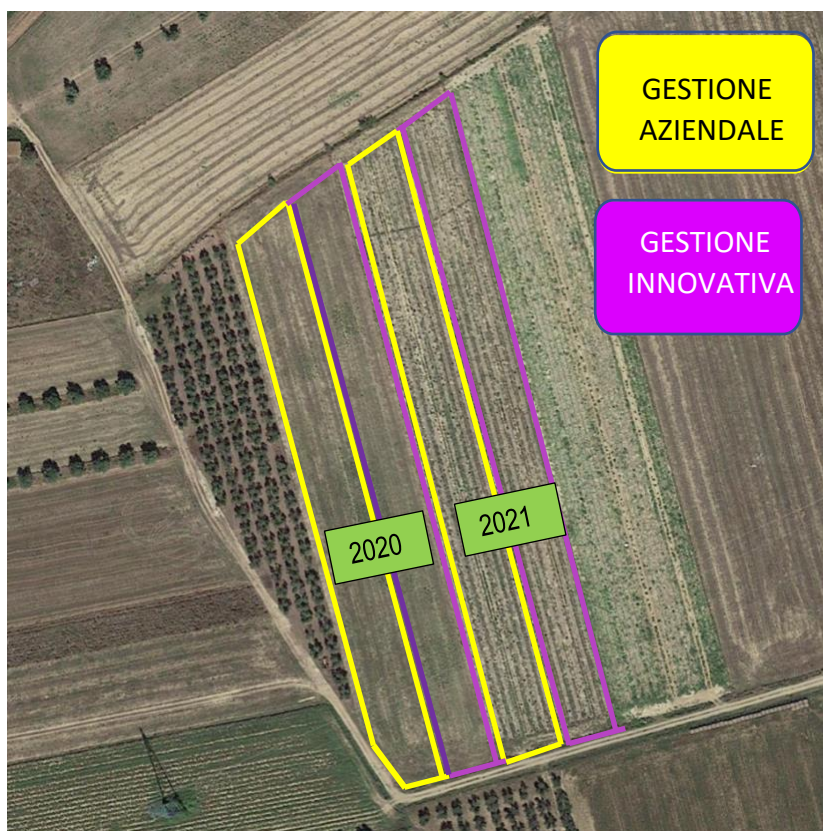


Fig.1 – Veduta della superficie occupata dalla prova sperimentale on farm nel biennio 2020-2021 presso l'azienda Pasquini di Suvereto (LI).

Fonte: Google.

Prima di descrivere nel dettaglio le tesi che sono state confrontate, appare opportuno evidenziare che il terreno che ha ospitato la prova sperimentale, risulta agronomicamente non ottimale per la coltura del pomodoro: la forte presenza di limo (45% in media) e di sabbia (36% in media) (Tabella 1) e la fragile struttura degli aggregati che ne consegue, determina un forte rischio che si formino spesse croste superficiali anche in seguito a eventi piovosi di media intensità, fatto che ha condizionato fortemente l'affrancamento e il corretto sviluppo del pomodoro da industria nel biennio e specialmente nel 2020 (Fig.2 e Fig.3). L'osservazione del grafico riportato nella Figura 2 evidenzia inoltre come, rispetto al 2020, nel 2021 la piovosità sia stata pressoché nulla nei mesi di accrescimento del pomodoro (giugno, luglio e agosto), condizionando le performance agronomiche della coltura.

pH	CE	N tot	SOM	P Olsen	K scamb	Calcarea Totale	Calcarea attivo	CSC	Sabbia	Limo	Argilla
	μS	‰	%	ppm	ppm	‰	%	m.eq 100 g	%	%	%
8,2	51,9	1,12	2,09	4,6	127	103	1,3	10,7	38,2	44,0	17,8

Tab.1 - Caratteristiche del terreno sul quale è in fase di realizzazione la prova sperimentale presso l'Azienda Pasquini di Suvereto (LI).

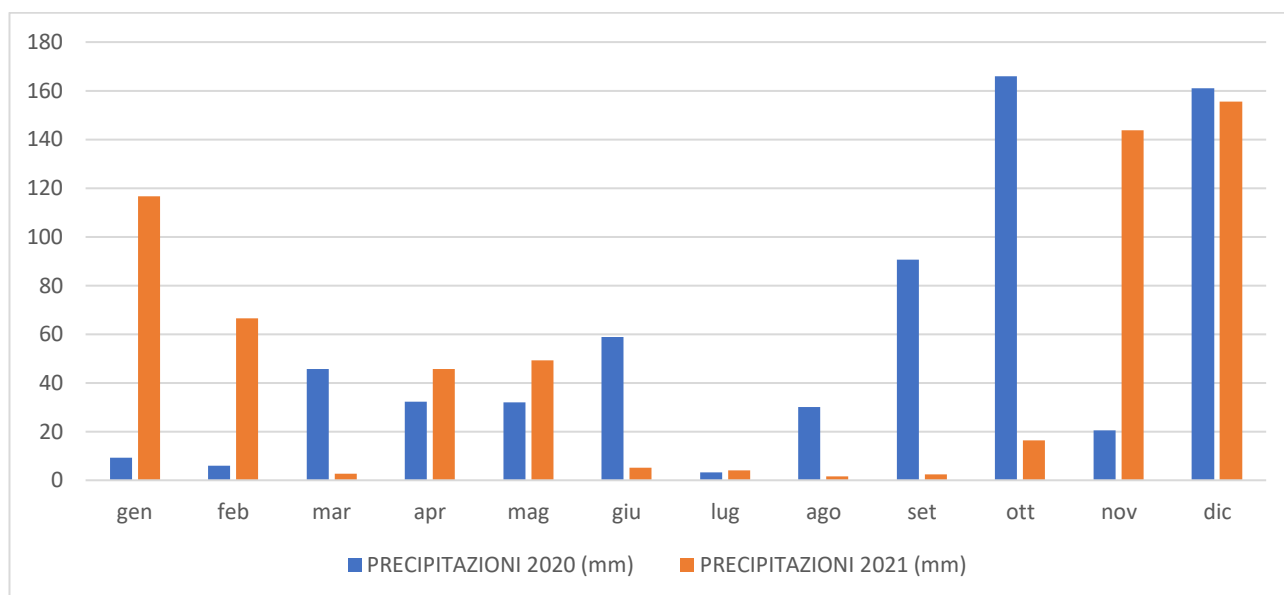


Fig.2 – Grafico delle precipitazioni nel comune di Suvereto (<http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>).

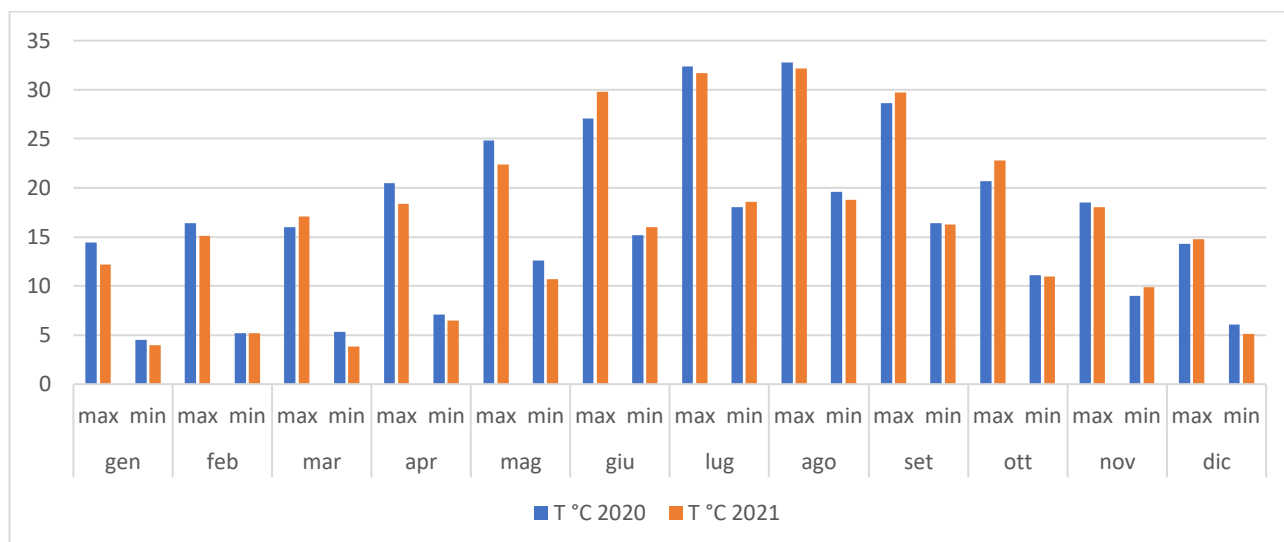


Fig.3 – Grafico delle temperature nel comune di Suvereto (<http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>).

In entrambi gli anni di prove, il layout sperimentale ha previsto il confronto tra 5 diverse tesi:

1 - gestione convenzionale aziendale, che ha previsto l'effettuazione di lavorazioni molto profonde con subsoiler e coltivatore pesante tipo chisel, l'impiego di biotelo per il controllo delle infestanti e l'assenza di colture di copertura;

2 – la gestione “innovativa 1” che ha previsto l'impianto e il successivo interrimento di una cover crop realizzata mediante l'esecuzione di una lavorazione superficiale con un coltivatore combinato e il controllo delle infestanti del pomodoro mediante interventi meccanici con erpice a dischi attivi in pre-trapianto (falsa semina) e con sarchiatrice di precisione equipaggiata con torsion weeders in post-trapianto;

3 - la gestione “innovativa 2” identica alla precedente, eccezion fatta per l'impiego del pirodiserbo in combinazione con la sarchiatura di precisione per il controllo della flora spontanea in post-trapianto sulla fila mediante “side flaming”;

4 – la gestione “mista 1” realizzata attuando la lavorazione profonda come nel sistema aziendale e il controllo delle infestanti del pomodoro mediante interventi meccanici come nella gestione innovativa;

5 – la gestione “mista 2” che ha invece previsto il sovescio della cover crop e la lavorazione ridotta e l'utilizzo di biotelo per il controllo delle avventizie.

I cinque itinerari tecnici si sono diversificati per aspetti della tecnica colturale che riguardano la gestione del suolo e il controllo delle infestanti, come evidenziato in Tab.2. Per quanto riguarda gli altri aspetti della tecnica colturale (sesto di impianto, fertilizzazione, difesa fitosanitaria, irrigazione) la gestione è stata la medesima in tutti i sistemi a confronto, in modo da evidenziare gli eventuali effetti dovuti all'impiego di un approccio conservativo del suolo.

	AZIENDALE	INNOVATIVO 1	INNOVATIVO 2	MISTO 1	MISTO 2
Lavorazione del terreno	Interventi: subsoiler (p≥50cm) coltivatore (p=30cm) erpice rotante (p=15cm)	Interventi: coltivatore combinato (p≤20cm) seminatrice a righe combinata con erpice rotante (p=15cm)	Identiche a Innovativo 1	Identiche ad Aziendale	Identiche a Innovativo
Cover crop	-	Trinciatura e interrimento con coltivatore combinato (p≤20 cm)	Identiche a Innovativo 1	-	Identiche a Innovativo
Controllo delle infestanti	Biotelo e sarchiatura interbina; scerbatura manuale	Falsa semina; Sarchiature sulla bina e interbina; scerbatura manuale	Identico a Innovativo 1 con aggiunta di pirodiserbo (side flaming) sulla fila	Identico a Innovativo 1	Identico ad Aziendale

Tab.2 – Tabella riassuntiva della gestione della prova on farm durante il biennio di prove presso l'Azienda Pasquini di Suvereto (LI).

Sia nel 2020 che nel 2021 la fertilizzazione è stata attuata con gli stessi formulati e le medesime dosi ed è stata frazionata in più interventi:

- fertilizzazione di fondo pre-trapianto a spaglio con “Guanito” di Italtopolina (6-15-0) alla dose di 1,5 Mg ha⁻¹;
- fertilizzazione localizzata al trapianto con “Top N” della Cifo (13-0-0) alla dose di 150 kg ha⁻¹ e “Umoplast bios” di Sipcam Italia (7-5-0) alla dose di 100 kg ha⁻¹;
- fertirrigazione con 20 L di “Azomin” di Cifo (5-0-0) per ogni turno di irrigazione.

La difesa fitosanitaria è stata rivolta principalmente al contenimento del lepidottero *Tuta absoluta*, fortemente presente nell’areale in cui è stata impostata la prova, e alla prevenzione dell’insorgenza di malattie fungine. I trattamenti hanno avuto luogo prevalentemente nel periodo compreso tra giugno e luglio sia nel 2020 che 2021 e hanno previsto l’impiego di ossicloruro di rame (2 kg ha⁻¹) di *Bacillus thuringiensis* (1 kg ha⁻¹) e di Spinosad (1 kg ha⁻¹) distribuiti con irroratrice meccanica portata larga 12 m ed equipaggiata con ugelli antideriva.

I numerosi interventi e prodotti commerciali utilizzati per la gestione della fertilizzazione e della difesa fitosanitaria sono testimoni di un approccio di “sostituzione” da parte dell’agricoltore nei confronti della gestione biologica.

Itinerario tecnico aziendale (Figura 4)

Questo itinerario tecnico è quello comunemente adottato in azienda. La tecnica colturale ha previsto l’esecuzione dei seguenti interventi:

- Discissura del terreno con subsoiler a tre ancore dotate di ogiva terminale a una profondità di 50 cm;
- Passaggio con coltivatore pesante equipaggiato con sette ancore ricurve a una profondità di 30 cm;
- Intervento per l’affinamento del terreno effettuato alla profondità di 15 cm con un erpice rotante equipaggiato dotato di rullo packer;
- Secondo intervento con erpice rotante resosi necessario per rompere la crosta superficiale che si era venuta a creare a causa di un’intensa precipitazione pochi giorni prima del trapianto della coltura;
- Trapianto con stesura di telo pacciamante biodegradabile (Mater-Bi) effettuato alla fine di maggio in entrambi gli anni;
- Due interventi di sarchiatura della zona di terreno non pacciamata tra le bine, effettuata con una sarchiatrice “artigianale” realizzata in azienda, equipaggiata con 2 coppie di 4 ancore elastiche;
- Un intervento di scerbatura manuale effettuato con 5 operatori.



Fig.4 - Parcelle dell’itinerario tecnico aziendale a circa 20 giorni dal trapianto del pomodoro.

Itinerario tecnico “innovativo” 1 (Figura 5)

L’itinerario tecnico innovativo 1, progettato dai partner scientifici del progetto e concordato con l’imprenditore agricolo, ha previsto l’inserimento di una coltura di copertura (miscuglio di orzo -*Hordeum vulgare* L.- alla dose di 120 kg ha⁻¹ e di veccia comune -*Vicia sativa* L.- alla dose di 100 kg ha⁻¹) da sovesciare prima del trapianto della coltura da reddito. Le alte dosi delle componenti del miscuglio sono motivate dall’epoca di semina molto tardiva. Al fine di massimizzare la produzione di biomassa della coltura di copertura e, quindi, l’erogazione di

specifici servizi agroecologici, si è deciso di aumentare la dose di semina di entrambe le componenti, adottando una sorta di disegno iper-additivo. La scelta delle due specie è stata effettuata di concerto con l'agricoltore partendo dall'obiettivo di ottenere un adeguato apporto di azoto (derivante dalla veccia) e una buona copertura del suolo da parte dell'orzo polistico adatto a semine primaverili e caratterizzato da un elevato indice di accostimento.

Nello specifico le operazioni effettuate sono state:

- Lavorazione con coltivatore combinato alla profondità di 20 cm;
- Affinamento del terreno effettuato con erpice rotante equipaggiato con rullo packer a una profondità di 15 cm e contemporanea semina della coltura di copertura con seminatrice a righe meccanica associata;
- Trinciatura della coltura di copertura e interrimento del sovescio mediante coltivatore combinato alla profondità di circa 20 cm;
- Due passaggi con erpice a dischi attivi per affinare il terreno e controllare le infestanti emerse (falsa semina);
- Trapianto su terreno nudo;
- Due interventi di sarchiatura di precisione;



Fig.5 - Parcelle dell'itinerario tecnico innovativo 1 e 2 a circa 20 giorni dal trapianto del pomodoro.

Itinerario tecnico "innovativo" 2

L'itinerario tecnico innovativo 2 differisce dal sistema innovativo 1 solamente per l'utilizzo di pirodiserbo a fiamma libera per la gestione della flora infestante sulla fila della coltura. In questo caso, infatti, sono stati effettuati due interventi di "side flaming", subito dopo le sarchiature.

Itinerario tecnico "misto" 1

Per valutare con più efficacia e accuratezza gli effetti delle diverse tecniche utilizzate nell'itinerario innovativo e in quello aziendale sono stati progettati e realizzati due itinerari tecnici "misti", caratterizzati da tecniche colturali intermedie tra i due sistemi principali. Nell'itinerario tecnico "misto" 1, il trapianto è stato effettuato senza pacciamatura (come nel sistema innovativo), ma su terreno lavorato convenzionalmente e senza l'utilizzo di cover crop (come nel sistema aziendale). L'unica differenza con gli itinerari innovativi ha riguardato la modalità di gestione del suolo nella fase di pre-impianto, tutte le altre operazioni sono state effettuate analogamente ai sistemi innovativi. L'itinerario è stato progettato per poter evidenziare e valutare l'effetto che la presenza della pacciamatura poteva avere sulla produttività e sulla presenza di infestanti, in regime di lavorazioni convenzionali, su un terreno con forte presenza di limo come quello interessato dalla prova.

Itinerario tecnico "misto" 2

Oltre al sistema sopra descritto è stato realizzato anche un ulteriore itinerario che ha previsto una tecnica colturale ibrida tra i due sistemi innovativo e aziendale. Nel sistema "misto 2" il pomodoro è stato trapiantato su film pacciamante in mater-bi (come nel sistema aziendale) e su terreno gestito con la minima lavorazione e

l'utilizzo della cover crop (come nel sistema innovativo). L'unica differenza rispetto al sistema innovativo è stata la presenza di pacciamatura e, quindi, la mancata esecuzione dei due interventi di sarchiatura.

In occasione di tutti gli interventi meccanici effettuati nelle tesi sono state rilevate le prestazioni operative dei cantieri ed è stata valutata la qualità del lavoro svolto. In occasione del trapianto sono stati effettuati anche rilievi specifici sulla regolarità di deposizione e sul corretto interrimento delle piantine di pomodoro.

Sono stati inoltre rilevati gli impieghi complessivi di manodopera relativi non solo a queste operazioni, ma anche a tutte le altre effettuate sulla coltura. I dati sono stati elaborati e saranno presentati e discussi successivamente.

Descrizione delle macchine operatrici

Per la descrizione delle macchine operatrici e del loro impiego nelle varie fasi del progetto si rimanda ai report annuali relativi sia al 2020 che al 2021, già inviati al MiPAAF.

2.3 - RILIEVI SPERIMENTALI E METODOLOGIA STATISTICA

I rilievi sperimentali hanno preso in considerazione gli aspetti relativi alle prestazioni delle macchine operatrici e dei cantieri di lavoro, i parametri agronomici e quelli economici. I dati relativi alla biomassa secca delle infestanti e delle bacche fresche sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) con l'utilizzo del software SPSS (IBM SPSS Statistics for Mac, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.). I diversi itinerari tecnici sono stati considerati come fattori fissi; la biomassa delle bacche fresche e il peso secco delle infestanti sono state considerate variabili dipendenti. Prima di essere sottoposti ad ANOVA, sono stati verificati gli assunti dell'ANOVA mediante test di Kolmogorov-Smirnov per la normalità e test Breusch-Pagan per l'eteroschedasticità. Per i fattori di interesse che sono risultati statisticamente significativi, è stata eseguita la separazione delle medie con il test "post-hoc" di Bonferroni adottando un livello di significatività del 5% ($P < 0,05$). I dati relativi alle prestazioni operative non sono stati sottoposti, come previsto, ad alcuna analisi statistica. Gli indici di diversità di Shannon (H) e di uniformità di Pielou (J) sono stati calcolati per la comunità di specie in ciascun margine utilizzando i dati di copertura delle infestanti (Oksanen et al., 2005). Un'analisi della varianza è stata quindi eseguita per testare l'effetto della posizione del margine e del tempo di campionamento sulla diversità del margine. Quindi, un grafico basato su una matrice di dissimilarità è stato prodotto utilizzando "Non-metric multidimensional Scaling" (NMDS) per esplorare la relazione tra la posizione del margine di campo e la variabile di risposta relativa all'abbondanza del gruppo di insetti.

I danni alla coltura e l'abbondanza di gruppi di insetti sono stati poi analizzati utilizzando modelli lineari misti. Le tesi non sono state considerate fattori fissi, ma sono state invece utilizzate come repliche per aumentare la robustezza del modello e sono state quindi incluse nella parte casuale dei modelli. L'abbondanza di insetti e il danno da puntura al frutto sono stati analizzati con una distribuzione binomiale negativa utilizzando la funzione dpois , in cui la parte fissa del modello è stata derivata utilizzando un approccio di costruzione ascendente del modello, i.e. aggiungendo i fattori fissi uno alla volta e confrontando il nuovo modello con il precedente per ottenere il modello più adatto. Modelli lineari misti sono poi stati utilizzati per analizzare i mm² di gallerie (Bates et al., 2015). Anche la resa del pomodoro e la biomassa delle infestanti sono state analizzate con modelli lineari ad effetto misto con la tesi inserita come fattore fisso e distanza dal margine e l'anno come effetti casuali. Tutti i modelli sono stati seguiti da un'analisi della varianza (Fox & Weisberg Sanford, 2019). Tutti i modelli sono stati convalidati con il test Kolmogorov-Smirnov per rilevare deviazioni significative e valori anomali (Hartig, 2021). Quando un fattore risultava significativo veniva eseguito un test post-hoc di Tukey con la p.adjust (Lenth, 2021). La biomassa delle specie di infestanti al momento della raccolta è stata utilizzata per analizzare le relazioni tra le diverse strategie di diserbo e i tratti funzionali delle specie utilizzando un'analisi RLQ. L'analisi RLQ richiede tre tabelle di dati. La matrice R è una tabella in cui i siti sono righe e le colonne sono i descrittori ambientali (nel nostro caso: tesi, anno e blocco). La matrice L è una tabella dove le righe sono siti e le colonne sono l'abbondanza/copertura/biomassa delle specie in ciascun sito. La matrice Q è una tabella di tratti x specie, dove le righe sono specie e le colonne sono i tratti funzionali. Queste matrici vengono poi combinate e analizzate mediante una variante di una PCA (Dray & Dufour, 2007). L'analisi RLQ è stata combinata con l'analisi "Fourth Corner", che fornisce significatività statistica alle relazioni tra la matrice ambientale e la matrice dei tratti producendo una matrice di correlazione di Pearson non ponderata. Per ottenere un errore di tipo 1 corretto, è stata applicata una correzione "fdr" (False Discovery Rate) ai valori di p poiché si tratta di confronti multipli. Il

pacchetto "TR8" (Bocci, 2015) è stato utilizzato per recuperare i tratti funzionali delle specie. TR8 recupera informazioni da una varietà di banche dati ecologiche; quelle utilizzate in questo caso sono state: "Bioflor" (Klotz et al., 2002), "Pignatti" (Pignatti et al., 2005), "Ecoflora" (Fitter & Peat, 1994) e "LEDA" (Kleyer et al., 2008). Eventuali tratti mancanti sono stati integrati dal dataset sviluppato da Bàrberi et al. (2018). I tratti selezionati rappresentano il tipo di fiore, il vettore del polline, la forma di crescita, la strategia della specie, il ciclo di vita e l'affinità alle condizioni nutritive del suolo (SNC). Questi sono comunemente usati negli studi di tratti funzionali (Cappellari et al., 2022; Maas et al., 2021; Navas & Violle, 2009) e sono disponibili per molte delle specie presenti nei terreni agricoli europei, garantendo così un'elevata probabilità di associare un valore a ogni specie trovata durante il campionamento sul campo.

Tutte le analisi statistiche effettuate dall'U.O.3 sono state eseguite utilizzando R (v. 4.1.0; R Core Team, 2021).

Rilievi agronomici

Per quanto riguarda gli aspetti agronomici sono stati rilevati la biomassa delle cover crop e delle infestanti prima della devitalizzazione delle cover crop, la biomassa secca delle infestanti a raccolta, e la biomassa fresca delle bacche di pomodoro.

Il campionamento della biomassa epigea delle cover crop e delle infestanti prima della trinciatura è stato effettuato a metà del mese di maggio sia nel 2020 che nel 2021 su tre aree di saggio di 0,5 m² ciascuna. I rilievi relativi alla biomassa delle infestanti e delle bacche di pomodoro sono stati effettuati su aree di saggio di 50 x 50 cm (Figura 6), posizionate in modo da contenere una pianta di pomodoro nel centro e il limite al centro della bina, in maniera accoppiata per ogni area di saggio, ossia su due piante limitrofe per bina (destra e sinistra), così da monitorare l'intera bina. Per ogni tesi, sono state campionate 12 piante (6 aree di saggio accoppiate), equidistanti tra loro 25 m e localizzate sulla stessa bina. Data la presenza di cinque itinerari tecnici diversi, i rilievi sono stati effettuati su cinque bine, una per ogni itinerario. In totale sono state monitorate 30 aree di saggio, per un totale di 60 piante. I rilievi sono stati effettuati nella prima e nella seconda settimana di settembre in modo da raccogliere tutte le bacche che hanno raggiunto la maturazione commerciale. Le aree sono state scelte in modo che fossero rappresentative della situazione generale di ogni tesi.

I campioni raccolti di cover crop, flora infestante e bacche sono stati esaminati e processati presso il laboratorio del UU.OO. 2. Sia le infestanti che le cover crop sono state separate per specie ed essiccate a 60° C, fino a raggiungimento di un peso costante. I campioni di bacche raccolti sono stati esaminati, processati, pesati e classificati per grado di maturazione presso il laboratorio dell'UU.OO. 2



Fig.6 – Rilievo di densità con quadrato 50 x 50 cm sulle tesi innovative. Si possono notare le due piante accoppiate segnate con nastro bianco e rosso.

Rilievi entomo-faunistici (2021)

Al fine di completare la valutazione della biodiversità utile dall'U.O.3 è stato effettuato una serie di rilievi relativi agli artropodi presenti nell'agroecosistema. Per le osservazioni di artropodi, abbiamo scelto di posizionare le trappole per insetti in tre delle cinque tesi: 1) Innovativo 1 2) Misto2 3) Misto1. Gli insetti sono stati catturati con trappole adesive posizionate a 2m, 5m e 10m da ciascun bordo del campo e a sei punti uniformemente

distanziati all'interno del campo (circa 25 m di distanza) (vedere figura 1). Considerando le distanze che sono capaci di coprire impollinatori e numerosi altri artropodi, le tre tesi sono state considerate come repliche per i campionamenti di insetti e danni. Le trappole erano posizionate appena sopra l'altezza del pomodoro ed erano tutte orientate a sud. Il campionamento è stato effettuato una volta a pomodori verde (13 luglio 2021) e una volta a frutto maturo, circa dieci giorni prima della raccolta (17 agosto 2021). Nello stesso punto in cui sono state collocate le trappole adesive, sono stati registrati anche i danni ai frutti e alle foglie contando la quantità di gallerie di insetti minatori e le punture causate da altri fitofagi su due piante per un totale di 5 minuti (2,5 minuti per pianta). Gli insetti sono stati recuperati pochi giorni dopo il posizionamento delle trappole e classificati per gruppo funzionale: impollinatori, predatori, fitofagi e neutri.

Rilievi tecnico-operativi

I rilievi effettuati durante la prova hanno preso in considerazione anche gli aspetti relativi alle prestazioni delle macchine operatrici e dei cantieri di lavoro. Per la determinazione delle performance dei diversi cantieri di lavoro sono stati rilevati i principali parametri operativi: velocità di avanzamento, tempi effettivi (TE), di voltata (TAV), per il rifornimento (TAS) e tempi morti (TM), nonché la larghezza e la profondità di lavoro. Per il calcolo delle velocità di avanzamento nei diversi cantieri di lavoro sono stati rilevati, con cronometro, i tempi di percorrenza di un tratto rettilineo di 30 m posto all'incirca al centro del dell'area sperimentale e compreso tra quattro paline collocate "in squadra" ai bordi dell'appezzamento. Tali rilievi sono stati effettuati nei giorni previsti per l'effettuazione dei diversi interventi, nel pieno rispetto delle normative imposte per la pandemia da COVID 19. I dati raccolti e le informazioni relative alle caratteristiche delle trattrici e delle macchine operative sono stati elaborati utilizzando la metodologia per la valutazione della qualità del lavoro svolto dalle macchine per la lavorazione del terreno riconosciuta a livello internazionale. I dati elementari raccolti in campo sono stati elaborati per poter valutare le performance operative dei diversi cantieri di lavoro. In ognuno degli itinerari tecnici sono stati calcolati la capacità di lavoro reale (CL_R), il tempo operativo (TO) e il consumo di combustibile per unità di superficie (C_{ha}) per ogni operazione effettuata.

2.4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI NEL BIENNIO NELLA PROVA ON-FARM

Biomassa delle cover crop

Nel 2020 il miscuglio di cover crop ha prodotto 5,75 Mg ha⁻¹ in termini di sostanza secca. A causa della semina tardiva e delle condizioni non ideali per il suo sviluppo, il miscuglio di cover è risultato costituito da una biomassa composta quasi esclusivamente dalla graminacea (orzo) che ha prodotto 4,92 Mg ha⁻¹, pari a circa l'85 % della biomassa totale, con presenza decisamente esigua della leguminosa (veccia) che ha prodotto soltanto 0,83 Mg ha⁻¹ in conseguenza della limitata lunghezza del ciclo di crescita.

In questo caso l'effetto stimolante in termini di apporto di azoto, che doveva essere fornito dalla presenza della veccia, non è stato riscontrato e ciò ha avuto evidenti ricadute sulle performance della coltura. Le cover crop hanno comunque fornito altri vantaggi come sarà descritto più avanti.

Nel 2021 il miscuglio di cover crop ha prodotto complessivamente 8,15 Mg ha⁻¹ in termini di sostanza secca totale. A differenza dell'anno precedente, la semina è stata tempestiva e ha permesso sia alla leguminosa che alla graminacea di avere un buon sviluppo. Nello specifico, la veccia ha prodotto 4,48 Mg ha⁻¹, pari a circa il 55 % della biomassa totale, mentre l'orzo ha prodotto 3,67 Mg ha⁻¹. A differenza dell'anno precedente, la maggiore percentuale di veccia ha permesso di ottenere un maggiore apporto in termini di nutrienti per il pomodoro, come dimostrato dall'andamento delle rese che, pur in presenza di alcune "conferme", è risultato diverso rispetto a quello ottenuto nel 2020. Inoltre, anche la copertura del terreno data dai residui delle cover è stata più marcata rispetto all'anno precedente. Infine, bisogna anche considerare che l'adozione della gestione conservativa (lavorazioni ridotte e utilizzo di cover crop) non sempre porta a ottenere benefici apprezzabili nel breve periodo rispetto all'utilizzo della gestione convenzionale, sebbene già nel 2020 sia stato possibile osservare come, in presenza di pacciamatura con biotelo, le performance del pomodoro non siano risultate influenzate negativamente dalla consistente riduzione della profondità di lavoro.

Biomassa delle infestanti alla raccolta del pomodoro

Relativamente alla biomassa secca delle infestanti a raccolta, tutti i sistemi sono risultati statisticamente uguali tra loro in entrambi gli anni di prova. Questo significa che i diversi sistemi di controllo delle infestanti hanno avuto effetti analoghi sulla flora spontanea, come è possibile osservare nella Figura 7, in cui sono riportati i valori registrati nel biennio espressi in g m^{-2} . In media la biomassa delle infestanti a raccolta è risultata pari a poco più di 40 g m^{-2} corrispondenti a $0,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, evidenziando una elevata efficienza di tutti i sistemi di controllo delle avventizie adottati.

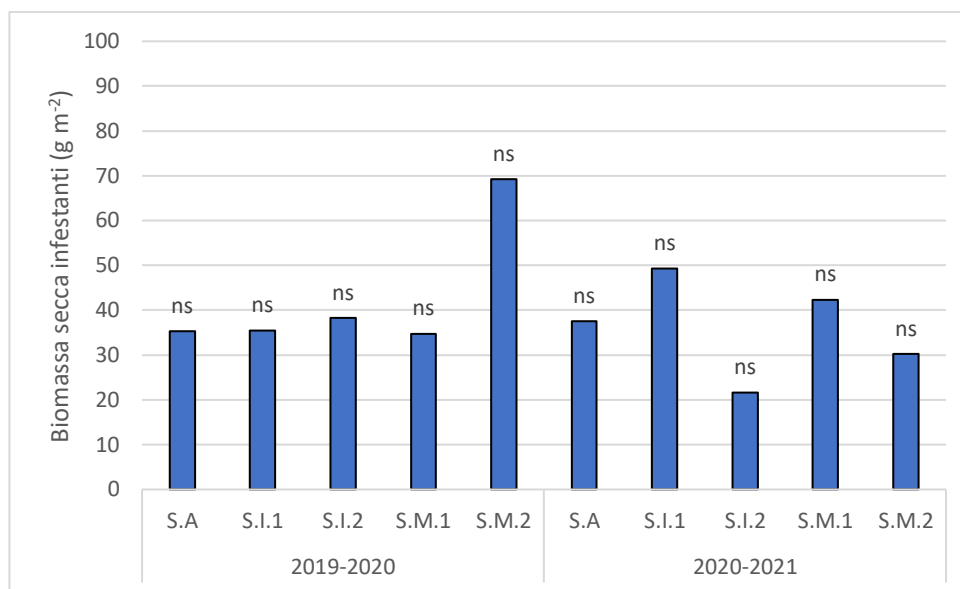


Fig.7 – Biomassa secca delle infestanti presenti in fase di raccolta del pomodoro nei vari sistemi culturali nel biennio di prova.

Nei sistemi in cui è stato utilizzato il film pacciamante, oltre al controllo delle infestanti tra le bine con sarchiatura, è stata necessaria anche una scerbatura manuale nello spazio inter-bina per l'elevata presenza di avventizie. Le strategie di controllo meccanico hanno fornito risultati molto buoni nonostante le difficili condizioni operative durante le operazioni di sarchiatura: la presenza della crosta ha impedito infatti ai torsion weeders di operare correttamente il controllo delle malerbe sulla fila. Inoltre, in entrambi gli anni era presente una forte infestazione di *Cirsium arvense* da rizoma e, conseguentemente, il controllo fisico tramite sarchiatura ha incontrato difficoltà per l'elevata profondità e resistenza meccanica delle radici di questa specie spontanea. Nel complesso, i risultati ottenuti possono essere considerati decisamente positivi anche in considerazione della scarsa efficacia della falsa semina. Il sistema in cui è stato utilizzato il pirodiserbo apparentemente non ha determinato risultati diversi dagli altri sistemi in termini di controllo complessivo delle infestanti, ma con differenze apprezzabili tra i valori relativi al primo e al secondo anno di prova. Nel 2021 infatti la biomassa delle malerbe è risultata pari a circa il 50% rispetto al valore medio ottenuto negli altri itinerari tecnici e questo potrebbe aver permesso di ottenere valori delle rese al pomodoro superiori rispetto a quelle relative al sistema innovativo senza utilizzo della fiamma libera. Tutto ciò potrebbe trovare spiegazione nel maggiore e soprattutto più tempestivo controllo delle plantule spontanee sulla fila della coltura. Tuttavia, il trattamento termico, come era presupponibile, è stato inefficace nel controllo delle piante già sviluppate di *C. arvense* che, presentando una suberificazione del colletto più o meno avanzata hanno mostrato di possedere scarsa sensibilità allo shock termico determinato dall'esposizione a elevate temperature per pochi decimi di secondo.

Per quanto riguarda gli itinerari in cui è stata utilizzata la pacciamatura (S.A. e S.M.2), la presenza delle infestanti è imputabile alla capacità di alcune piante spontanee di forare il telo (i.e. *Cirsium arvense* e alcune graminacee) e/o di sfruttare le nicchie ecologiche lasciate libere dal foro praticato sul telo durante le operazioni di trapianto, come è possibile realizzare nelle immagini riportate nella Figura 8.

Tali osservazioni sono suffragate anche dalle analisi statistiche relative alla composizione floristica realizzate sia sui rilievi di densità che su quelli di biomassa. Per quanto concerne la densità della flora infestante la tesi aziendale fa rilevare dati significativamente più bassi ($p < 0.01$) rispetto alle tesi innovative, mostrando una tendenza simile per quanto concerne gli indici di diversità (Figura 9), che risultano significativamente più alti

nelle tesi innovative. Per quanto concerne l'analisi della composizione floristica (PERMANOVA) basata sull'indice di diversità di Bray-Curtis, si può affermare che sia il momento del rilievo che la posizione dello stesso, così come le tesi testate risultano influenzare in maniera significativa le specie selezionate. In particolare le tesi Aziendali favoriscono la presenza di *Cirsium arvense* e impediscono a specie monocotiledoni di insediarsi, invece per quanto concerne le tesi innovative testate, la tesi con utilizzo di pirodiserbo appare selezionare specie graminoidi e stress tolleranti, mentre le tesi innovative che non prevedono uso di pirodiserbo appaiono favorire l'emergenza di *Cinodon dactylon* nel 2020. Alla raccolta la tesi aziendale sembra favorire oltre *C. arvense* anche *Solanum nigrum*, mentre le tesi innovative confermano di favorire specie graminoidi come *C. dactylon* (Figura 10).



Fig.8 – Infestanti graminacee e amarantacee che hanno superato la barriera della pacciamatura.

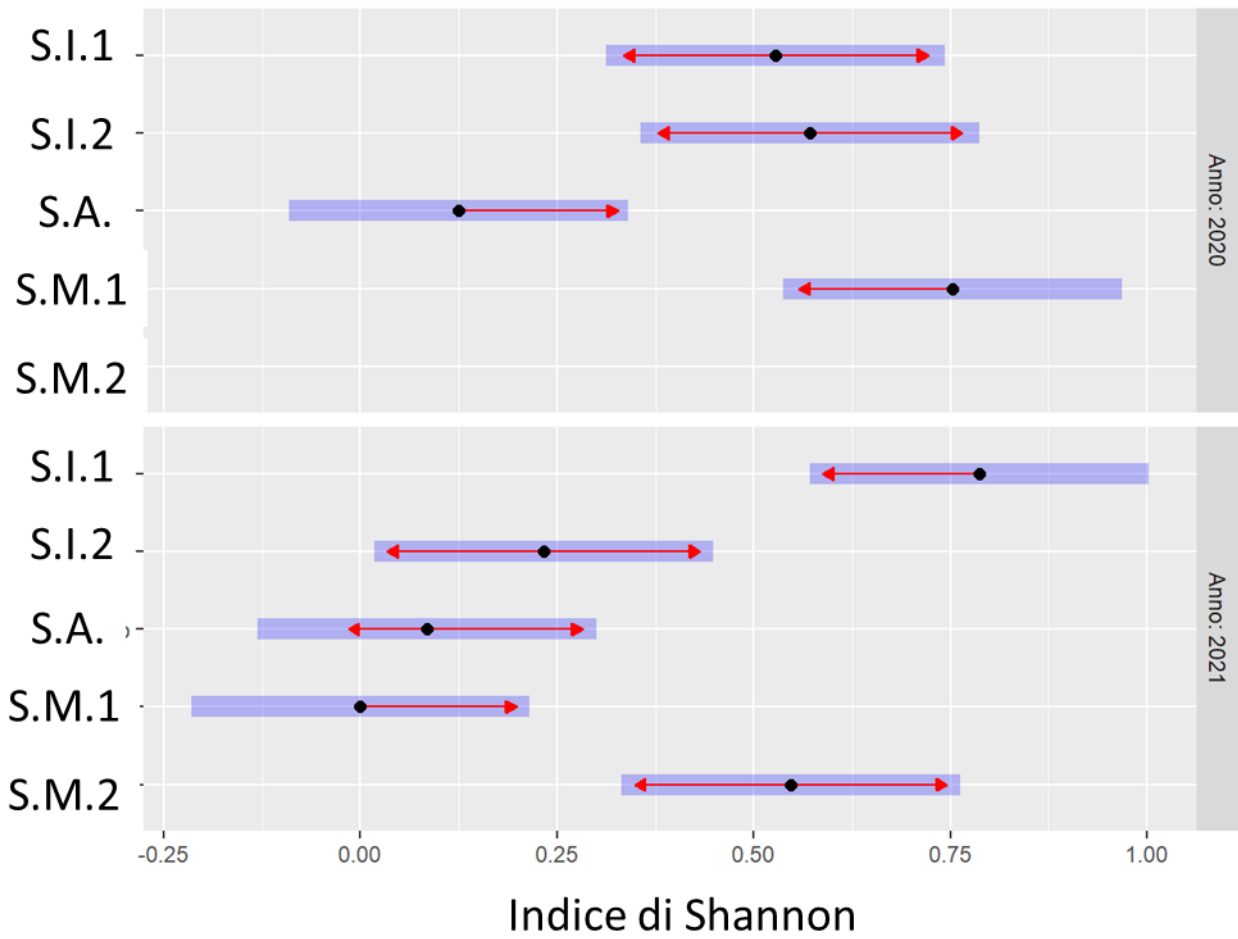


Fig.9 – Valori dell'indice di diversità di Shannon calcolato sulla biomassa delle singole specie, alla raccolta della coltura di pomodoro (2020, 2021) nell'azienda Pasquini.

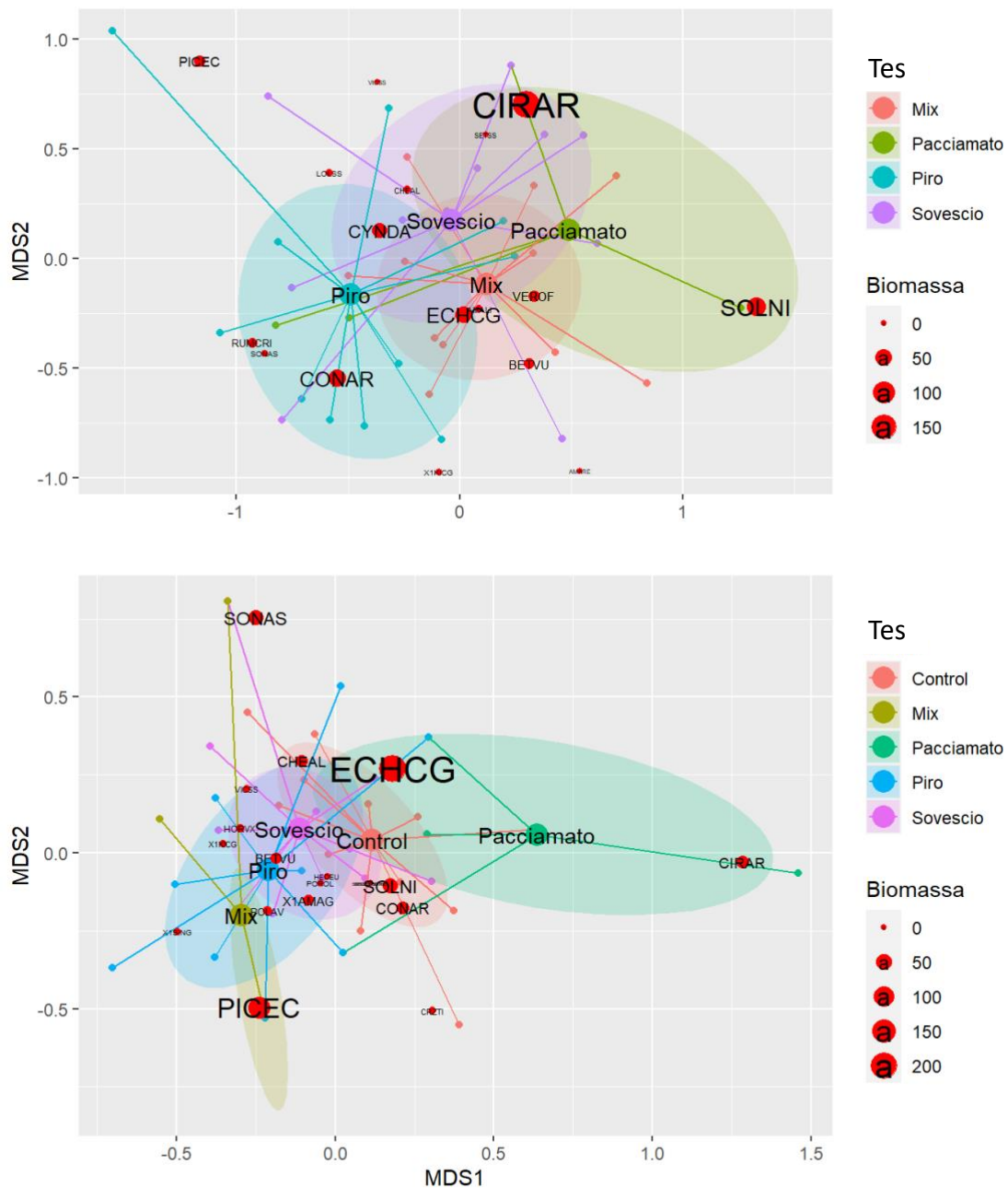


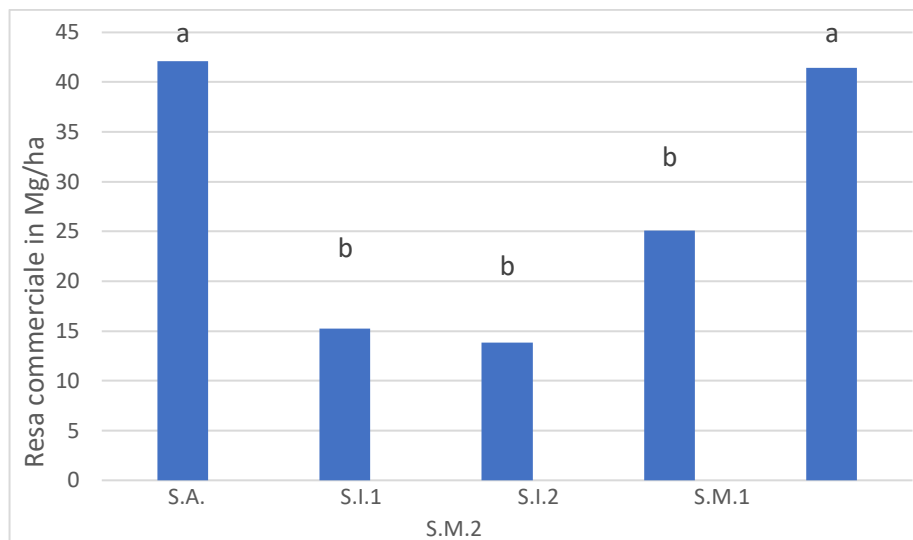
Fig.10 NMDS basata sulla matrice di diversità costruita attraverso il calcolo dell'indice di BrayCurtis delle specie infestanti rilevate alla raccolta. In alto le composizioni rilevate nel 2020 e in basso le rilevazioni del 2021. In legenda le tesi testate: Control, S.M.1; Mix, S.M.2; Pacciamato, S.A.; Piro, S.I.2; Sovescio, S.I.1. La flora infestante è riportata con codice EPPO, in rosso il diametro del baricentro delle infestanti è in scala con la biomassa totale rilevata. Nel 2020 risultano significativamente differenti per $p>0.05$ S.I.2 e S.A. mentre nel 2021 S.M. 2 risulta significativamente differente da tutte le altre tesi e anche la S.I. 1 da S.A.

Risultati produttivi

La resa commerciale è stata calcolata a partire dal peso delle bacche fresche e riportata in $Mg\ ha^{-1}$. La resa commerciale è stata calcolata a partire dal peso delle bacche fresche e riportata in $Mg\ ha^{-1}$. Nel 2020, i due sistemi che hanno prodotto i risultati più elevati in termini di resa commerciale sono quello aziendale e quello misto 2, (con valori rispettivamente pari a 42,14 e a 41,47 $Mg\ ha^{-1}$). Le rese ottenute con questi due sistemi non sono risultate statisticamente diverse fra loro. Gli altri tre sistemi, caratterizzati dalla mancanza della pacciamatura in mater-bi, hanno prodotto dei risultati sensibilmente inferiori rispetto agli altri due con assenza

di differenze significative tra loro. Il sistema connesso con l'ottenimento della resa più bassa è l'innovativo 2, in cui sono stati effettuati i trattamenti con pirodiserbo ($13,81 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguito dal sistema innovativo 1 ($15,25 \text{ Mg ha}^{-1}$) e dal sistema misto 1 ($25,12 \text{ Mg ha}^{-1}$). Nel 2021 i due sistemi che hanno prodotto i risultati più elevati delle rese commerciali in valore assoluto sono quello aziendale e quello misto 2, (con valori di poco superiori in entrambi i casi a 30 Mg ha^{-1}) confermando in parte i risultati ottenuti nel primo anno di prova. In questo caso però, le rese ottenute con questi due sistemi non sono risultate statisticamente diverse da quelle ottenute con i sistemi innovativo 2 e misto 1 che sono state rispettivamente pari a poco meno di 25 e 29 Mg ha^{-1} di bacche fresche. Solo le rese ottenute con il sistema innovativo 1 sono risultate significativamente inferiori rispetto a quelle conseguite con gli altri quattro sistemi colturali e pari a circa 16 Mg ha^{-1} (Fig. 11a e 11b).

(a) 2020



(b) 2021

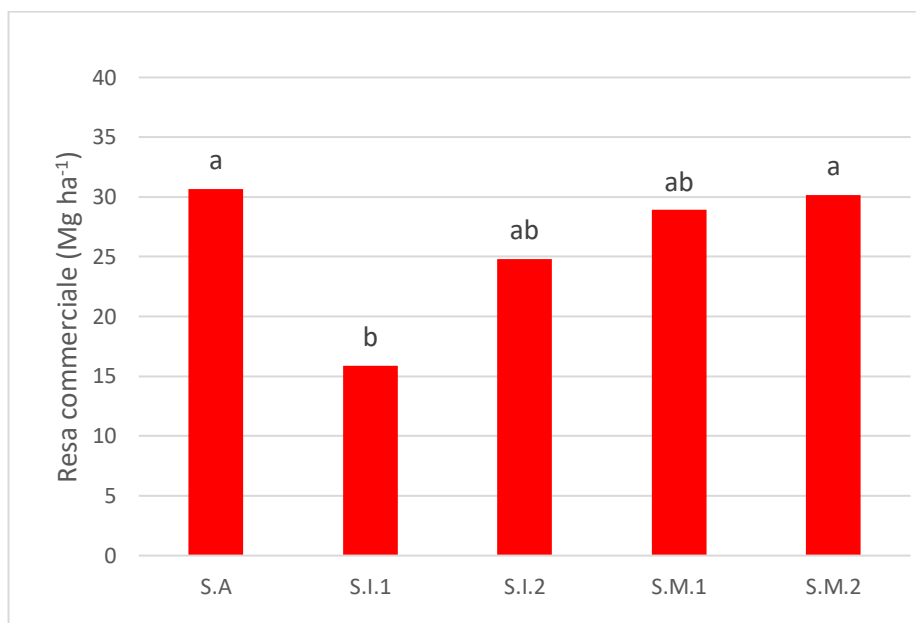


Fig.11 – Grafici relativi ai valori delle rese produttive ottenute nel 2020 (a) e nel 2021 (b) espresse in Mg ha^{-1} per ogni itinerario tecnico. Lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa (Bonferroni $P < 0,05$).

Nel 2021, così come era già stato osservato nel 2000, è apparsa di nuovo determinante la presenza di una copertura stabile del terreno garantita dalla presenza del biotelo, ma i risultati produttivi ottenuti nel sistema innovativo e nel sistema misto 2 hanno evidenziato da una parte il ruolo dell'apporto di nutrienti garantito dal sovescio delle colture di copertura (sistema innovativo 2) e l'efficacia della sarchiatura su terreno nudo non solo in termini di controllo delle infestanti, ma anche e soprattutto negli effetti benefici determinati in termini di riduzione dell'evaporazione e quindi di aumento dell'acqua disponibile per la coltura, cosa particolarmente importante in una stagione molto seccata e caratterizzata da temperature molto elevate (sistema misto 1). Un aspetto ancora più importante osservato in entrambi gli anni ha riguardato la mancanza di differenze significative tra le rese ottenute adottando lavorazioni profonde (sistema aziendale e misto 1) e lavorazioni ridotte (sistema innovativo 2 e misto 2), rendendo comunque ancora una volta evidente il ruolo decisivo della presenza della copertura del terreno (anche di quella parziale garantita dai residui delle cover crop) sulle performance produttive del pomodoro per far fronte alle difficoltà create dalle difficili condizioni pedo-climatiche dell'ambiente di coltivazione. La riduzione rilevante della profondità di lavoro non ha quindi influenzato le rese in presenza di pacciamatura stabile o anche parziale e questo è senza dubbio un risultato importante per un progressivo abbandono di tecniche di lavorazione molto profonde, che, oltre a risultare onerose da un punto di vista economico, determinano una spinta mineralizzazione della sostanza organica e un'elevata emissione di GHG, rispetto a interventi più superficiali. I grafici relativi all'andamento delle rese, in considerazione del fatto che l'effetto "anno" non è risultato significativo, sono stati riportati separatamente in due grafici (Fig.11).

Risultati meccanici e operativi

In termini di tempi operativi e di consumi di combustibile in entrambi gli anni di prova i sistemi più onerosi sono risultati quello aziendale (S.A) e quello misto 2 (S.M.2) con valori mediamente pari a poco più di 300 h ha⁻¹, superiori di circa il 30 % rispetto a quelli relativi agli itinerari tecnici innovativo 1 (S.I.1), innovativo 2 (S.I.2) e misto 1 (S.M.1) (Figura 12a e 12b).

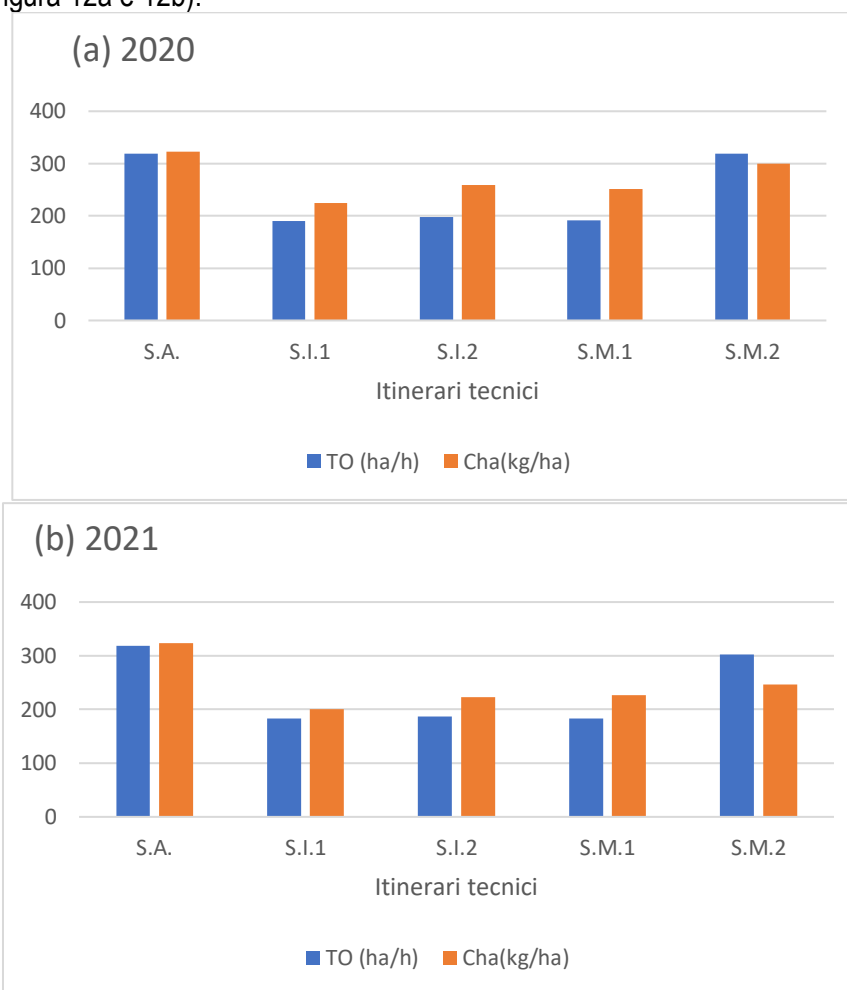


Fig.12 - Risultati dei parametri operativi dei vari cantieri di lavoro in ciascun itinerario tecnico.

I valori più elevati che caratterizzano S.A. e S.M.2 sono dovuti principalmente ai più elevati tempi operativi e consumi di combustibile delle operazioni di trapianto su biotelo rispetto a quelli rilevati per il trapianto effettuato su terreno nudo. Nell'impianto su biotelo sono stati necessari 8 operatori di cui 5 hanno provveduto a ovviare alla non ottimale deposizione delle piantine e a controllare che la stesura del biotelo fosse adeguata, determinando una bassa capacità di lavoro reale del cantiere. Nel trapianto su terreno nudo sono stati sufficienti 4 operatori e sono risultati ridotti anche i tempi morti (TM) dovuti al controllo e all'ottimizzazione della deposizione delle piantine. Tutto questo si traduce in un rendimento operativo del trapianto su terreno nudo più che doppio rispetto a quello relativo al trapianto su biotelo. Al riguardo, infatti, il TO del trapianto risulta pari a 200 h ha⁻¹, con l'utilizzo di mater-bi, e a 40 h ha⁻¹ su terreno nudo e quindi ben cinque volte superiore.

Il consumo di gasolio è più elevato nel trapianto su mater-bi rispetto a quanto osservato nel caso di trapianto su terreno nudo. Queste importanti differenze nella tecnica di trapianto hanno avuto conseguenze rilevanti sul totale dei consumi e dei tempi operativi. Per quanto riguarda gli altri tre sistemi, i consumi di combustibile totali e la somma dei tempi operativi di ogni singola operazione sono risultati simili tra loro, nonostante le differenze nelle operazioni colturali previste. L'utilizzo del pirodiserbo ha determinato un aumento molto contenuto dei consumi e dei tempi operativi rispetto ai sistemi in cui il controllo delle infestanti è stato effettuato soltanto con la sarchiatura. Il sistema di gestione del suolo ha influenzato soprattutto i consumi, mentre i tempi operativi totali sono risultati simili. Il sistema aziendale e il sistema misto 2 sono diversi soltanto per la gestione del suolo e, come risulta evidente dall'osservazione del grafico riportato in Figura 12, le leggere differenze tra i due sistemi riguardano il consumo di combustibile. Appare ovvio che una riduzione della profondità di lavorazione del terreno, oltre ai benefici precedentemente descritti, abbia anche un effetto positivo (seppure limitato e pari in media al 10% nel biennio) sulla riduzione dell'uso di combustibile per le lavorazioni.

Risultati economici

Produzione lorda vendibile

Per quanto riguarda la valutazione delle performance economiche delle diverse tesi sono state calcolate la PLV (data dal prodotto delle rese per il prezzo di mercato del pomodoro da industria biologico pari a 1.120 € t⁻¹, riportato sul sito di ISMEA - <http://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1881>), i costi variabili totali (CV totali), calcolati sommando i costi imputabili alle diverse operazioni, ai consumi di gasolio, alla manodopera e ai mezzi tecnici, e il reddito lordo, ottenuto dalla differenza tra PLV e CV totali.

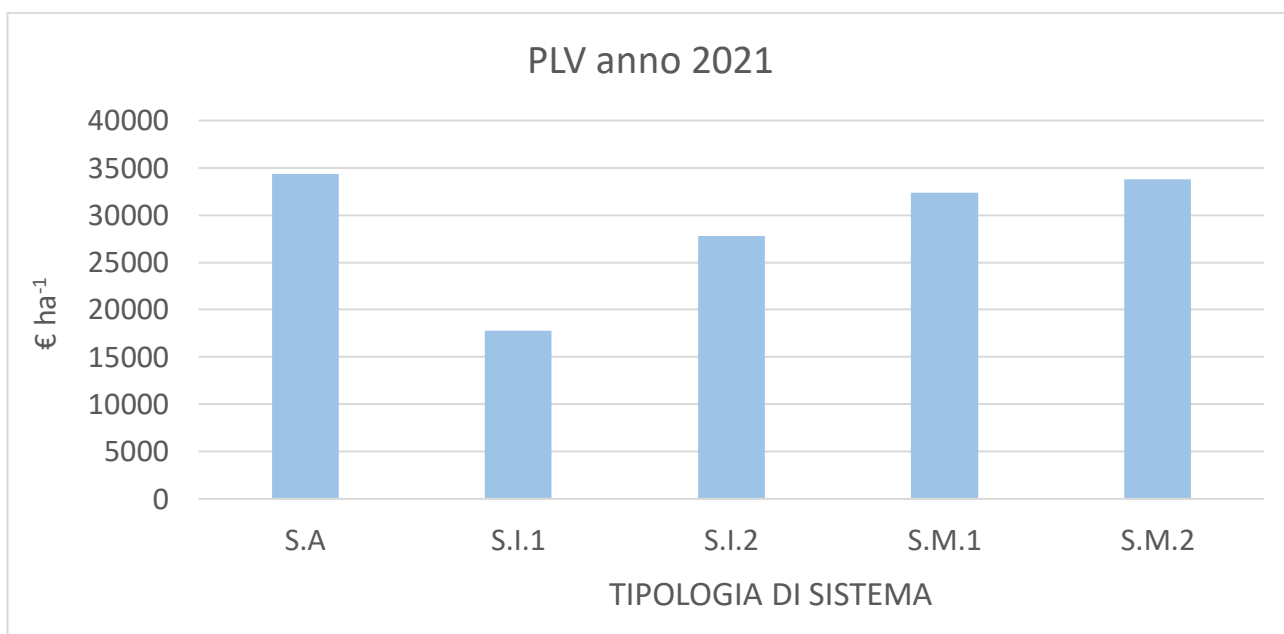
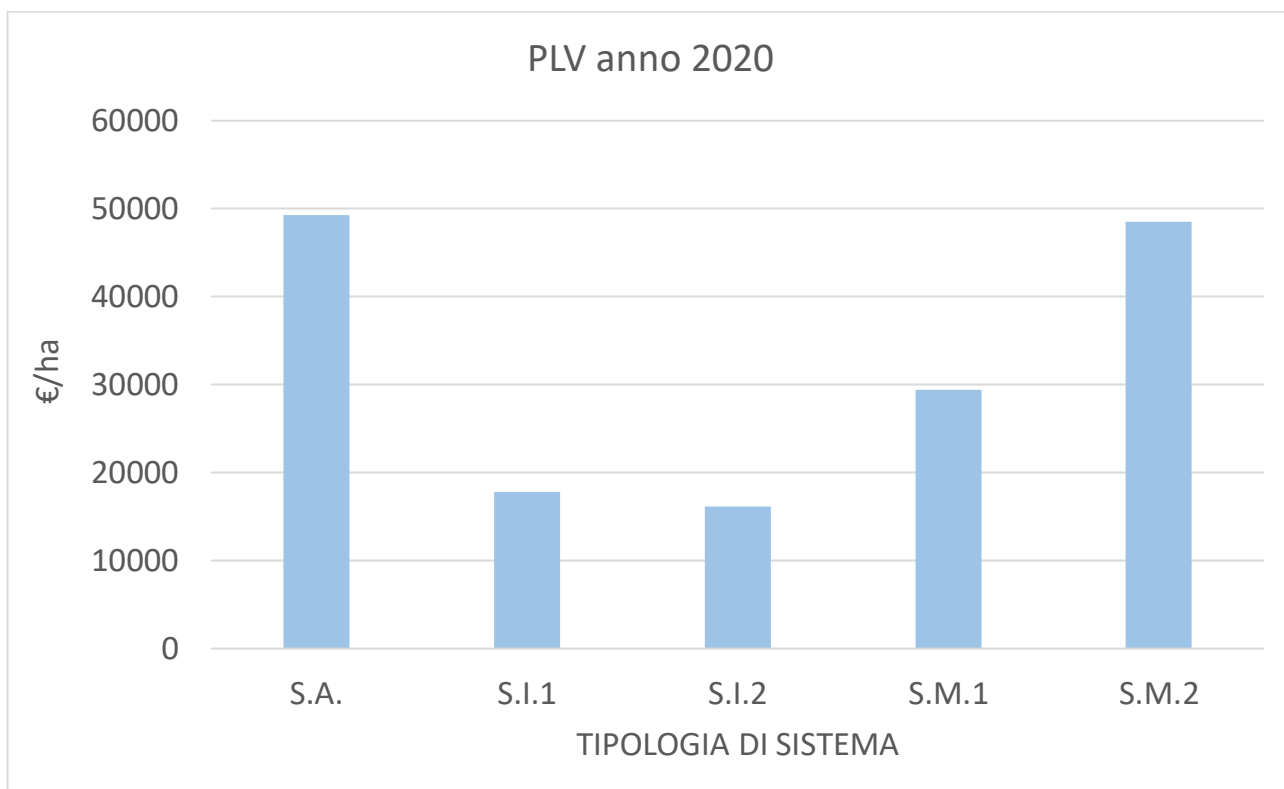


Fig.13 – Valori di PLV calcolati per ogni itinerario tecnico in base ai risultati ottenuti nel primo e nel secondo anno di prova.

I valori della produzione lorda vendibile per ogni itinerario tecnico sono riportati nel grafico riportato in Figura 13. L'osservazione dei grafici relativi al 2020 e al 2021 permette di evidenziare come gli andamenti siano stati decisamente diversi nei due anni di prova e sono stati influenzati dall'andamento delle rese in assenza di differenze rilevanti in termini di costi variabili totali tra i diversi sistemi in entrambi gli anni di prova. Nel 2020, i due sistemi che hanno prodotto i risultati più elevati in termini di PLV sono quello aziendale e quello misto 2 (con valori mediamente pari a poco meno di 49 k€ ha⁻¹) sempre ricalcando l'andamento delle rese. Gli altri tre sistemi, caratterizzati dalla mancanza della pacciamatura in mater-bi, hanno prodotto dei risultati sensibilmente inferiori rispetto agli altri due e pari in media a 21 k€ ha⁻¹ con una riduzione del 57% circa. Nel 2021 i due sistemi che hanno prodotto i risultati più elevati della PLV in valore assoluto sono ancora quello aziendale e quello misto 2,

(con valori pari a circa 34 k€ ha⁻¹ in media), confermando in parte i risultati ottenuti nel primo anno di prova. In questo caso però, le PLV ottenute con questi due sistemi non sono risultate molto superiori rispetto a quelle conseguite con i sistemi innovativo 2 e misto 1 che sono state rispettivamente pari a circa 29 e 32 k€ ha⁻¹. Solo la PLV ottenuta con il sistema innovativo 1 sono risultate, come nel 2020, decisamente inferiori rispetto a quelle conseguite con gli altri quattro sistemi colturali e pari a circa 18 k€ ha⁻¹ (Fig. 13). Anche in questo caso la netta inferiorità della PLV calcolata per il sistema innovativo 1 rispetto agli altri quattro itinerari tecnici è dovuta alla minore produttività di questo sistema rispetto agli altri, già discussa nel paragrafo relativo ai risultati produttivi.

Costi variabili totali

Le voci di costo considerate nel biennio sono state classificate in costi per la manodopera, il combustibile, le operazioni colturali e i mezzi tecnici. Per la manodopera è stato utilizzato un costo orario pari a 20 € h⁻¹. Per ogni operazione colturale è stato calcolato il costo della manodopera, conoscendo il TO e il numero di operatori impiegati. In entrambi gli anni tali costi sono stati maggiori nel caso del sistema aziendale e di quello misto 2, a causa dell'impiego della pacciamatura su biotelo che è risultata molto più onerosa rispetto a quella su terreno nudo.

Per i costi relativi al consumo di combustibile è stato utilizzato un prezzo medio di mercato del gasolio agricolo pari a 0,88 €/kg. Il costo del combustibile è risultato in entrambi gli anni più elevato nel sistema aziendale, evidenziando come le lavorazioni profonde abbiano inciso maggiormente sui consumi.

I costi unitari per le operazioni colturali sono stati calcolati come somma dei costi variabili dovuti all'impiego delle motrici e delle operatrici di ciascun cantiere di lavoro. In tutti i casi sono stati presi in considerazione sia i costi fissi (quote di ammortamento, di interesse e per le spese varie, rapportate alla vita utile delle macchine espressa in ore), che quelli variabili di manutenzione e di riparazione. I costi sono risultati sia nel 2020 che nel 2021 del medesimo ordine di grandezza con un valore complessivo leggermente più alto per il sistema innovativo 2, in considerazione dell'utilizzo dell'operatrice per il pirodiserbo. La tecnica di gestione del terreno non ha influito molto sul costo finale delle operazioni. Gli ultimi costi valutati per la prova sperimentale sono quelli relativi all'acquisto dei mezzi tecnici. Considerando che in entrambi gli anni alcuni di questi sono stati comuni a tutti gli itinerari tecnici (prodotti fitosanitari, irrigazione, fertilizzanti), la maggiore differenza tra i vari sistemi studiati è legata ai costi del mater-bi, dei semi delle cover crop e del GPL utilizzato per effettuare il pirodiserbo. Ne consegue che il sistema misto 2, che ha previsto l'impiego sia della cover crop che del biotelo, abbia riportato i costi maggiori rispetto alle soluzioni adottate negli altri sistemi; il secondo costo più alto è quello relativo al sistema aziendale, che ha previsto il solo utilizzo di biotelo; il sistema misto 1 ha riportato i costi più bassi, in quanto in questo caso non è stato impiegato nessun mezzo tecnico in più rispetto a quelli utilizzati in egual modo in tutti gli altri sistemi. In ogni caso, l'acquisto dei mezzi tecnici ha rappresentato la voce di costo che ha influito maggiormente sul totale per tutti gli itinerari.

I costi variabili totali registrati nel biennio sono riportati nei grafici riportati nella Figura 14, in cui è anche evidenziata l'incidenza delle diverse voci sul totale per ogni sistema e consente di realizzare come le differenze nella tecnica colturale e nelle operazioni svolte abbia determinato una diversa ripartizione dei costi praticamente identica sia nel 2020 che nel 2021. I costi variabili totali nel secondo anno sono risultati leggermente più contenuti rispetto a quelli registrati nel primo, ma con differenze non rilevanti. Nel biennio le voci di costo che hanno mostrato una maggiore incidenza sono quelle relative alla manodopera, ai mezzi tecnici e alle operazioni, mentre i costi di combustibile hanno avuto un'incidenza molto bassa e quasi trascurabile sul totale. In ogni caso nel biennio i sistemi più "costosi" sono stati quello aziendale e quello misto 2 a causa dell'utilizzo del trapianto su biotelo che ha influito sia sulla manodopera che sulle operazioni, mentre gli altri sistemi sono apparsi quasi identici tra loro sia nel 2020 che nel 2021.

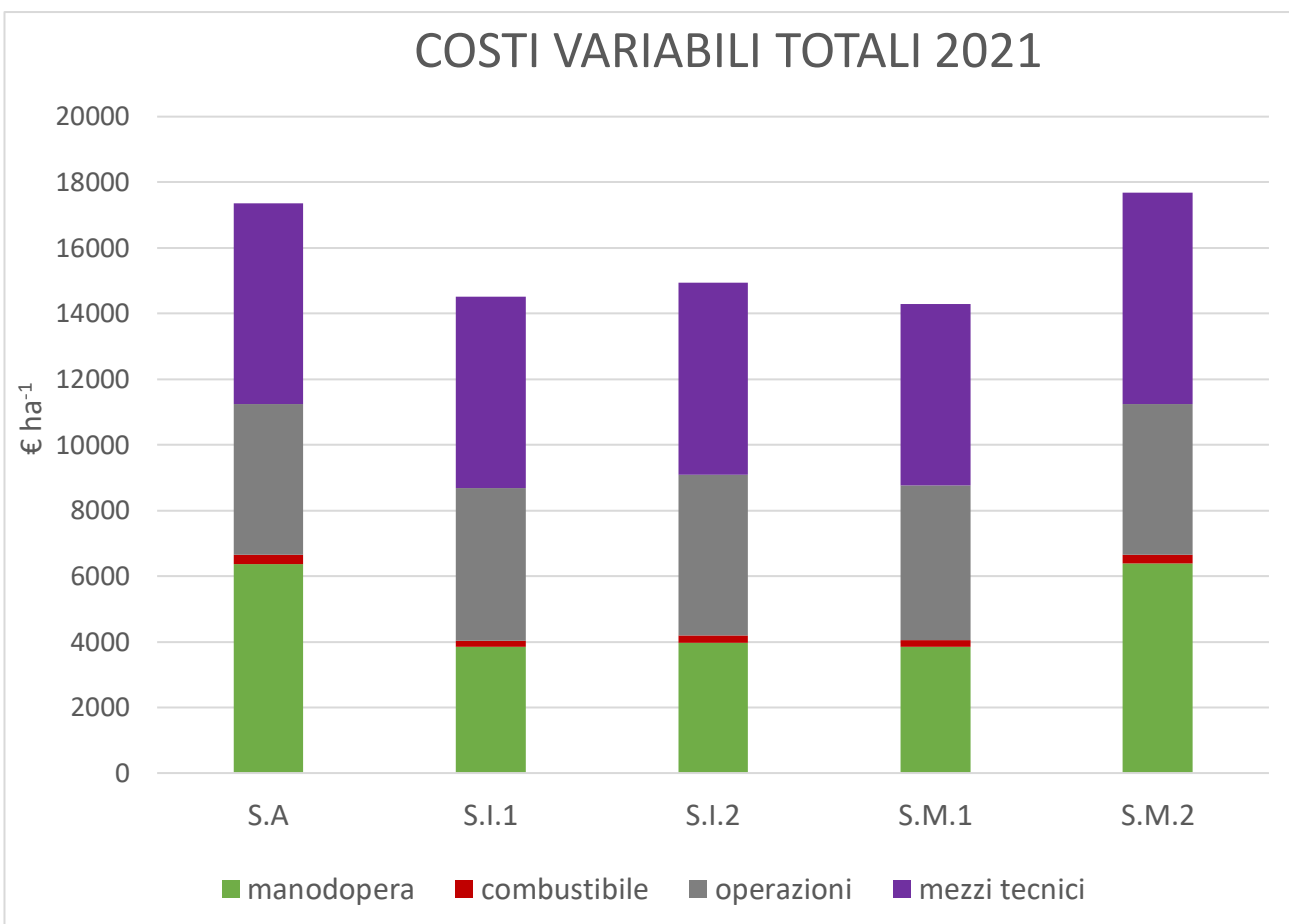
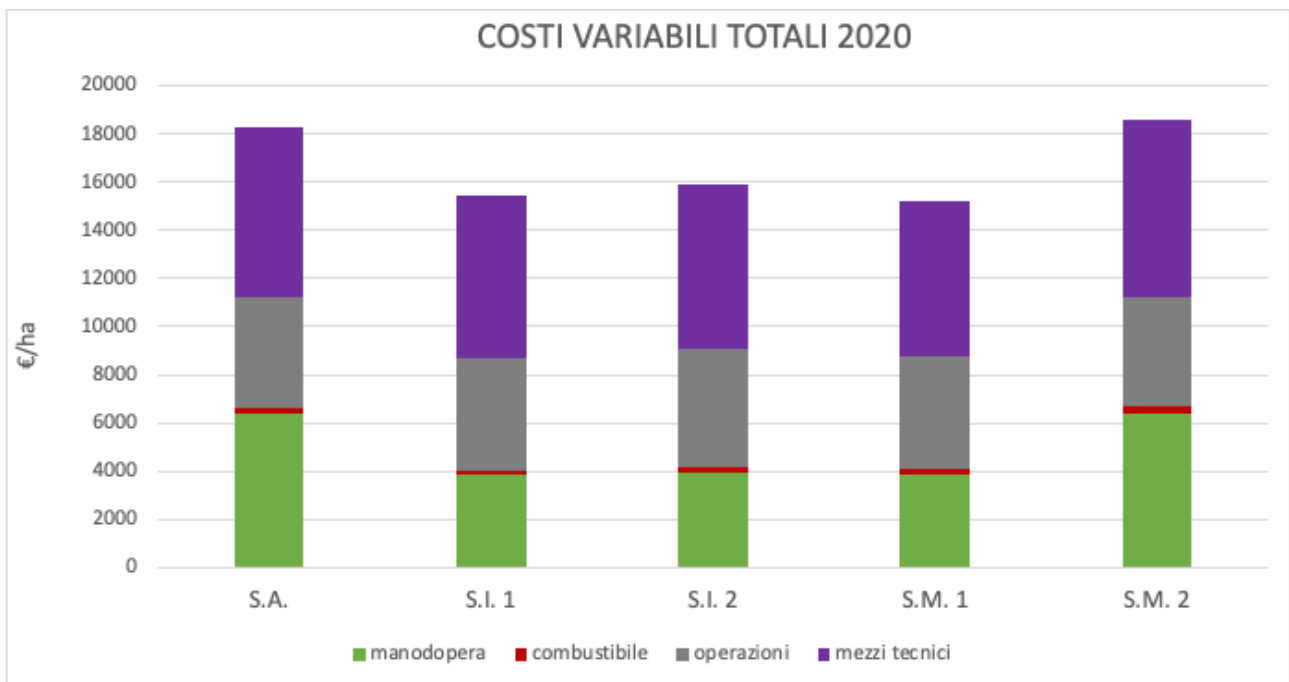


Fig.14 – Rappresentazione grafica dei costi variabili totali e della incidenza delle varie voci sul totale per ogni sistema adottato nel biennio 2020-2021.

Reddito lordo

Per concludere la parte dei risultati economici, nella Figura 15 sono riportati graficamente i valori del reddito lordo, ottenuto per tutti i sistemi a confronto, come differenza tra la PLV e i costi variabili totali ed espresso ovviamente in € ha⁻¹.



Fig.15 – Reddito lordo ottenuto da ciascun itinerario tecnico, espresso in € ha⁻¹.

Dal confronto dei valori riportati nei grafici del reddito lordo, rispettivamente riferiti ai risultati ottenuti nel primo (Fig.15a) e nel secondo (Fig.15b) anno di prova, con quelli della PLV e delle rese, è possibile osservare un andamento analogo, a testimonianza del fatto che il reddito lordo è stato prevalentemente influenzato dalla resa e dalla PLV e non dai costi sostenuti. L'osservazione dei due grafici rende inoltre evidente come, pur in presenza di differenze rilevanti in termini di valore assoluto, i sistemi connessi con i maggiori valori del reddito lordo risultano essere, in entrambi gli anni di prova, quello aziendale e quello misto 2. Il fatto che il reddito lordo maggiore sia stato prodotto proprio dai due sistemi in cui è stata utilizzata la pacciamatura conferma che sia stato influenzato dai valori delle PLV e delle rese che, come già evidenziato in precedenza, sono risultate decisamente più elevate in presenza del mater-bi.

Le differenze presenti tra il primo e il secondo anno trovano spiegazione nel diverso andamento delle performance agronomiche del pomodoro da industria, già discusse e commentate dettagliatamente nel paragrafo relativo ai risultati produttivi.

Per quanto riguarda il confronto tra i diversi sistemi utilizzati nel biennio in termini di performance economiche, è possibile infine osservare come, rispetto al primo anno di prova, nel secondo sia stata registrata una riduzione del reddito lordo pari a circa il 40 % in media per il sistema aziendale e per il sistema misto 2, mentre i valori dei sistemi innovativo 1 e misto 1 sono stati pressoché identici e quello del sistema innovativo 2 decisamente molto più elevato (pari a circa il 54 volte superiore).

Composizione e diversità dei margini

Durante la stagione di campionamento sono state trovate 48 specie di piante nei margini di campo nord e sud (Tabella 3). La ricchezza di specie nei margini di campo è diminuita progressivamente con l'avanzamento della stagione (Figura 16) passando da un totale di 34 specie al momento del trapianto di pomodoro a 17 al momento della raccolta. La ricchezza delle specie è stata influenzata solo dal tempo di campionamento ($p = 0,03$) e non dalla posizione del margine. Comunque sia, in termini di composizione delle specie, il margine settentrionale era dominato da *Hedysarum coronarium* (Sulla, che è andata in senescenza in corrispondenza della fioritura del pomodoro), mentre le specie più comuni nel margine meridionale erano perenni prostrate (es, *Galium mollugo* L., *Potentilla reptans* L.). L'analisi della varianza non ha mostrato alcun effetto significativo della posizione del margine sulla composizione delle specie; quindi, i due margini sono stati considerati come repliche per le analisi successive.

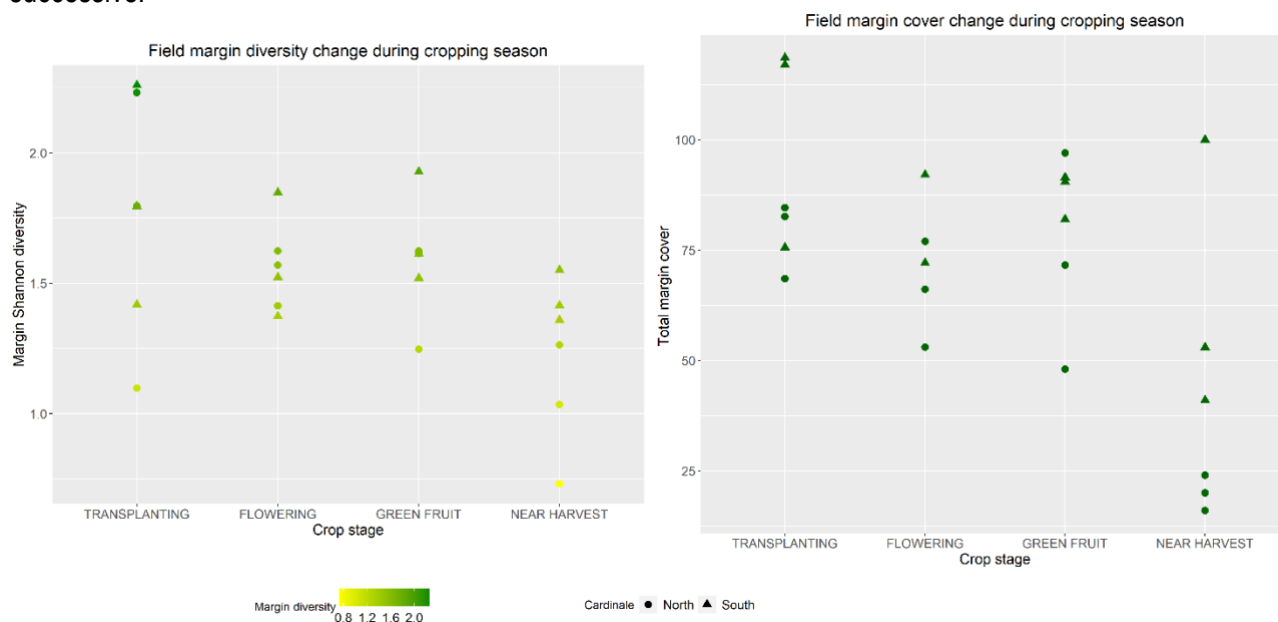


Fig. 16 - Diversità di Shannon nei margini (sx) e copertura totale delle specie (dx) a ogni momento fenologico della coltura. I dati riguardano campionamenti del 2021.

Trapianto pomodoro		
Nord	Condivise	Sud
<i>Allium cepa</i> ; <i>Anagallis arvensis</i> ; <i>Bidens tripartita</i> ; <i>Crepis spp.</i> ; <i>Gladiolus italicus</i> ; <i>Hedysarum coronarium</i> ; <i>Lotus ornithopodioides</i> ; <i>Phalaris minor</i> ; <i>Spartium spp.</i> ; <i>Torilis arvensis</i> ; <i>Trifolium campestre</i> ; <i>Trifolium</i>	<i>Avena spp.</i> ; <i>Bromus sterilis</i> ; <i>Equisetum spp.</i> ; <i>Galium mollugo</i> ; <i>Geranium dissectum</i> ; <i>Lolium perenne</i> ; <i>Picris echioides</i> ; <i>Rubus ulmifolius</i> ; <i>Rumex crispus</i>	<i>Alopecurus myosuroides</i> ; <i>Brachypodium pinnatum</i> ; <i>Cirsium arvensis</i> ; <i>Daucus carota</i> ; <i>Fallopia convolvulus</i> ; <i>Festuca spp.</i> ; <i>Galium aparine</i> ; <i>Hordeum spp.</i> ; <i>Lolium multiflorum</i> ; <i>Potentilla reptans</i> ; <i>Veronica persica</i>

<i>resupinatum; Ulmus minor; Vicia sepium</i>		
Fioritura pomodoro		
Nord	Condivise	Sud
<i>Chrozophora tinctoria; Centaurium erythraea; Cynodon dactylon; Hedysarum coronarium; Phalaris minor; Picris echioides; Torilis arvensis; Trifolium resupinatum</i>	<i>Avena spp.; Bromus sterilis; Equisetum spp.; Galium mollugo; Lolium perenne; Rubus ulmifolius</i>	<i>Elymus repens; Beta vulgaris; Cirsium arvensis; Convolvulus arvensis; Potentilla reptans; Sorghum halepense; Vicia sepium</i>
Frutto verde		
Nord	Condivise	Sud
<i>Hedysarium coronarium; Medicago sativa; Phalaris minor; Phragmites australis; Picris echioides; Sinapis arvensis; Trifolium resupinatum; Ulmus minor; Vicia sepium</i>	<i>Avena spp.; Convolvulus arvensis; Elymus repens; Daucus carota; Equisetum spp.; Lolium perenne; Rubus ulmifolius</i>	<i>Bromus sterilis; Cirsium arvensis; Foeniculum vulgare; Galium mollugo; Potentilla reptans; Rumex crispus; Sorghum halepense</i>
Frutto maturo		
Nord	Condivise	Sud
<i>Medicago sativa; Phragmites australis; Picris echioides; Ulmus minor</i>	<i>Convolvulus arvensis; Equisetum spp.; Galium mollugo; Rubus ulmifolius</i>	<i>Avena spp.; Beta vulgaris; Cirsium arvensis; Cynodon dactylon; Daucus carota; Foeniculum vulgare; Kickxia elatine; Potentilla reptans; Sorghum halepense</i>

Tab. 3 - Diversità di Shannon nei margini (sx) e copertura totale delle specie (dx) a ogni momento fenologico della coltura. I dati riguardano campionamenti del 2021.

Influenza della diversità nei margini su abbondanze di insetti e danni sul pomodoro in campo.

Il NMDS esplorativo ha mostrato una sovrapposizione tra i due margini e nessun effetto della distanza sui diversi gruppi di insetti (Figura 17). La Permanova ha mostrato un effetto significativo della diversità di margine ($p = 0.01$) sull'abbondanza di artropodi, anche se specifica quale gruppo di artropodi. I modelli lineari ad effetto misto hanno mostrato che solo l'abbondanza di fitofagi è stata influenzata positivamente dalla diversità di margine ($p = 0.04$), mentre l'abbondanza di impollinatori è stata influenzata in modo significativo dal tempo ($p = 0.0003$) con una maggiore abbondanza a frutto verde. Il tempo di campionamento è stato l'unico fattore significativo nello spiegare i danni alla coltura (Tabella 4).

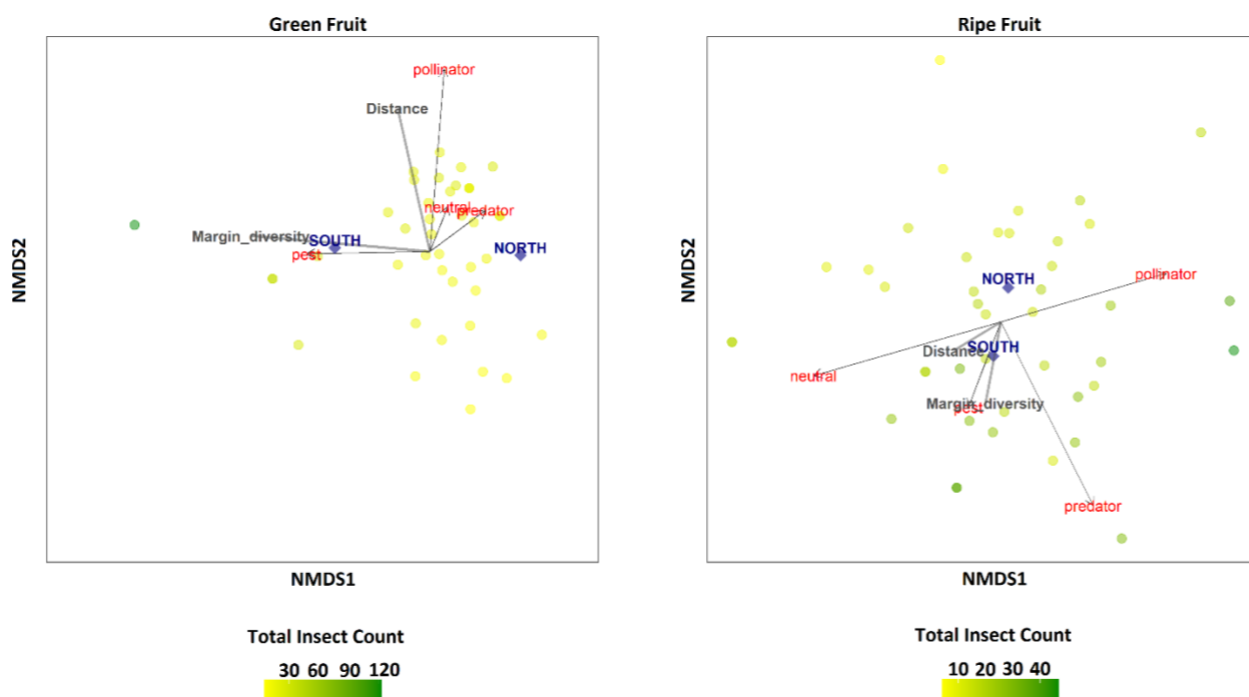


Figura 17 - Relazione tra posizione del margine, indice di Shannon e distanza dal margine con le abbondanze dei diversi gruppi di insetti in campo a frutto verde (sx) e maturo (dx). Dati del 2021.

Variabile di risposta	Diversità del margine (Indice di Shannon)	Tempo	Abbondanza di predatori
Danno fogliare (gallerie mm ²)	71.69 n.s.	370.64 ***	-
Danno frutto (punture)	0.13 n.s.	2.89 ***	-
Abbondanza predatori	-1.81 n.s.	-3.09 n.s.	-
Abbondanza fitofagi	1.68 *	-	-0.07 n.s.
Abbondanza impollinatori	-	-0.49 ***	-

Tabella 4 - Effetto della diversità di Shannon dei margini sulle variabili di risposta riguardanti danni sul pomodoro e sulle abbondanze di insetti utilizzando modelli lineari e non lineari misti (*** $p < 0.0001$; ** $0.001 < p < 0.01$; * $0.01 < p < 0.05$; § $0.05 < p < 0.1$; n.s.= non significativo; "-"= non incluso nel modello finale). I Parametri per i fattori (tempo) si riferiscono al livello del fattore incluso nell' output del modello.

Riguardo ai tratti funzionali studiati sulla biomassa delle infestanti alla raccolta del pomodoro, i dati sono stati analizzati per anno visto che sono stati utilizzati due campi diversi nel 2020 e nel 2021, in linea con la rotazione colturale dell'azienda. I grafici RQL (Fig. 18) mostrano una certa associazione tra i tratti delle infestanti e le diverse strategie di lotta integrata nei due anni. La "Fourth Corner" analisi ha evidenziato un effetto significativo dell'interazione tra distanza dal margine e anno ($p=0.01$) (Fig. 19). Tuttavia, applicando l'appropriata correzione dei p-value, non è stata trovata alcuna correlazione.

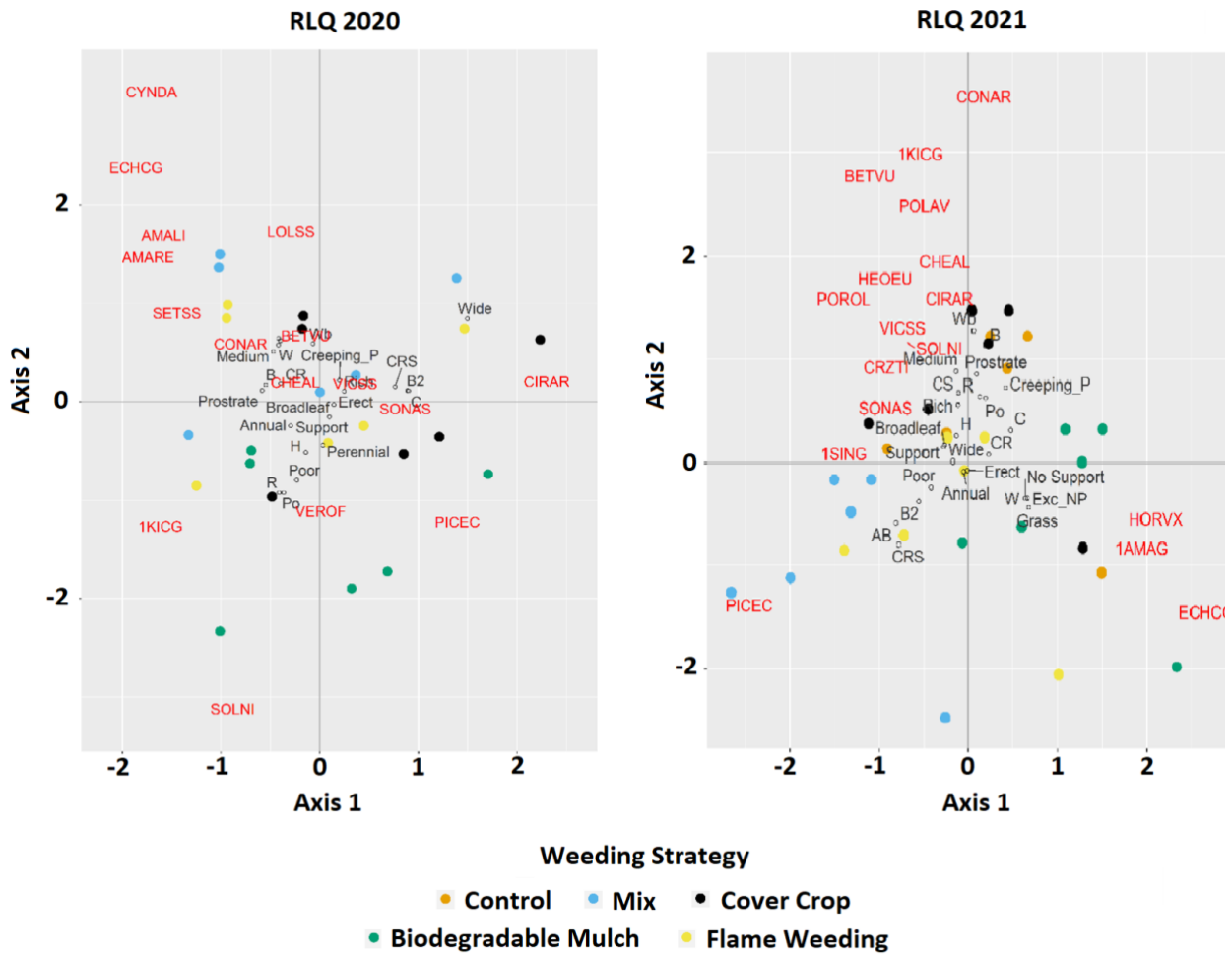


Figura 18 - Grafici RLQ sull'effetto delle diverse tesi di lotta integrate sui tratti funzionali della comunità di infestanti nel 2020 (sx) e 2021 (dx). Le specie, in rosso, sono identificate con il codice EPPO.

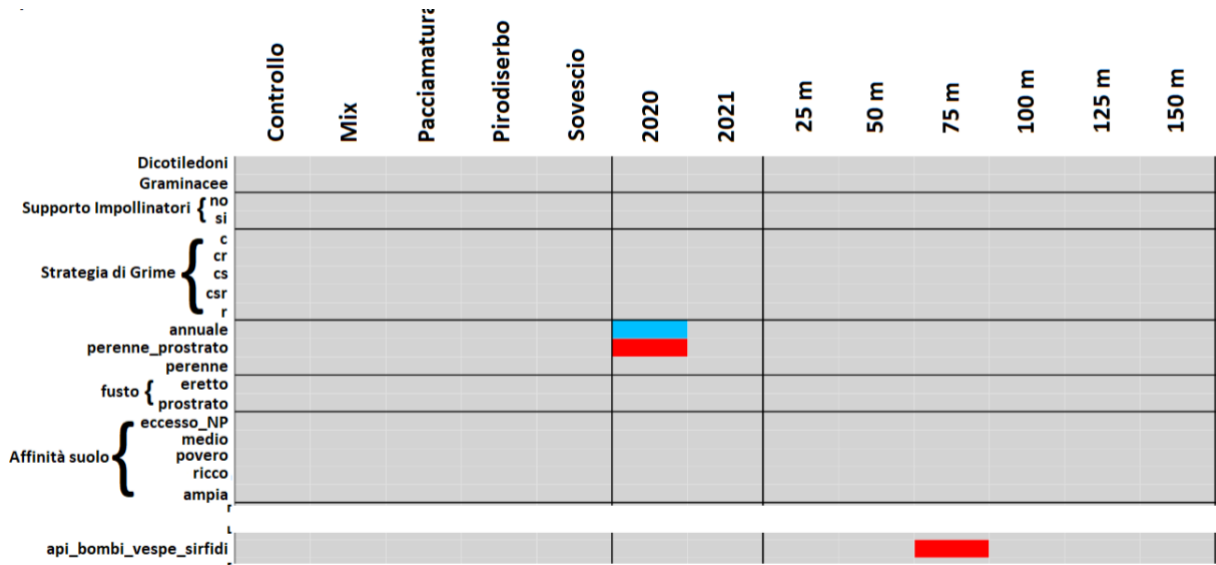


Figura 19 - Correlazioni ottenute con la analisi "Fourth Corner" senza correzione fdr. Correlazioni significative ($p < 0.05$) in blu sono negative e in rosso positive. Alcune voci nella colonna dei tratti funzionali sono state omesse per snellire la figura. I tratti omessi si riferiscono alla classificazione di Mueller per discernere i tipi di impollinatori che visitano i fiori.

3 PROVA ON-STATION: CONFRONTO TRA DIVERSE COLTURE DI COPERTURA E TECNICHE DI IMPIANTO DEL POMODORO DA INDUSTRIA

3.1 DESCRIZIONE DEL LAYOUT SPERIMENTALE E DEI TRATTAMENTI

La prova on-station è stata realizzata nel biennio 2019-2021 presso il Centro di Ricerche Agro-Ambientali “Enrico Avanzi” dell’Università di Pisa (U.O.2) confrontando un sistema conservativo standard (che ha previsto il sovescio delle colture di copertura, la lavorazione ridotta del terreno e in controllo della flora spontanea mediante interventi di sarchiatura di precisione, come nel caso della prova on farm) con un sistema conservativo innovativo (che ha previsto la terminazione delle colture di copertura mediante rullatura e pirodiserbo, successivo trapianto su terreno sodo in presenza di dead mulch e controllo delle infestanti demandato all’azione allelopatica e fisica del dead mulch stesso e al più integrato da un intervento di scerbatura manuale).

Il terreno oggetto della prova, che ha avuto luogo in due appezzamenti limitrofi nel biennio, ha caratteristiche pedologiche molto adatte alle coltivazioni orticole. Come si può evincere osservando i valori riportati nella Tabella 5, la tessitura è di tipo franco-sabbioso e la reazione è subacida. Il contenuto di sostanza organica, considerata anche l’elevata presenza di sabbia, è molto buono.

Caratteristiche	pH	CE	CSC	Ntot	Pass	SOM	Argilla	Limo	Sabbia
u.d.m.		µS/cm	m.eq/100 g	‰	ppm	%	%	%	%
Valori	8,27	54,45	3,56	0,91	9,07	1,45	14,80	32,59	52,61

Tab.5 – Caratteristiche fisico-chimiche del suolo oggetto della Prova On-Station.

Nei grafici rappresentati nella Figura 20 i dati meteorologici del primo e del secondo anno di sperimentazione della Prova On-Station (2019-2021), posti a confronto con i valori medi del poliennio 1993-2021. Le temperature medie mensili massime e minime nel biennio 2019/2021 sono risultate, in generale, in linea con quelle del poliennio 1993-2021. Le precipitazioni medie mensili dell’anno 2021 si sono discostate molto da quelle dell’anno precedente e dalle medie del poliennio 1993-2021. Nello specifico, nel periodo primaverile estivo le precipitazioni sono risultate sensibilmente minori nel 2021, rispetto a quelle registrate nel 2020 e a quelle medie del poliennio. Le lavorazioni del terreno in entrambi gli anni di sperimentazione sono state realizzate a fine ottobre/inizio novembre. L’appezzamento della Prova On-Station è stato lavorato con un coltivatore combinato a 10-15 cm di profondità (attrezzo del tutto analogo a quello utilizzato nella Prova On-Farm), per poi essere affinato con un erpice rotante combinato con una seminatrice a righe privata degli assolcatori per l’impianto delle cover crops. Successivamente è stato suddiviso in 24 parcelle di 60 m² ciascuna (6 m di larghezza x 10 metri di lunghezza) all’interno delle quali sono state seminate a spaglio nella seconda decade di novembre le seguenti colture di copertura:

- Segale (*Secale cereale* L.), dose di semina di 180 kg ha⁻¹;
- Trifoglio squarroso (*Trifolium squarrosum* L.), dose di semina di 50 kg ha⁻¹;
- Miscuglio di Segale e Trifoglio squarroso, dose di semina di (90:25) kg ha⁻¹;
- Controllo inerbito.

Per i dettagli e le motivazioni relative alla scelta delle cover crops e delle modalità di gestione attuate si rimanda ai precedenti report inviati al MiPAAF.

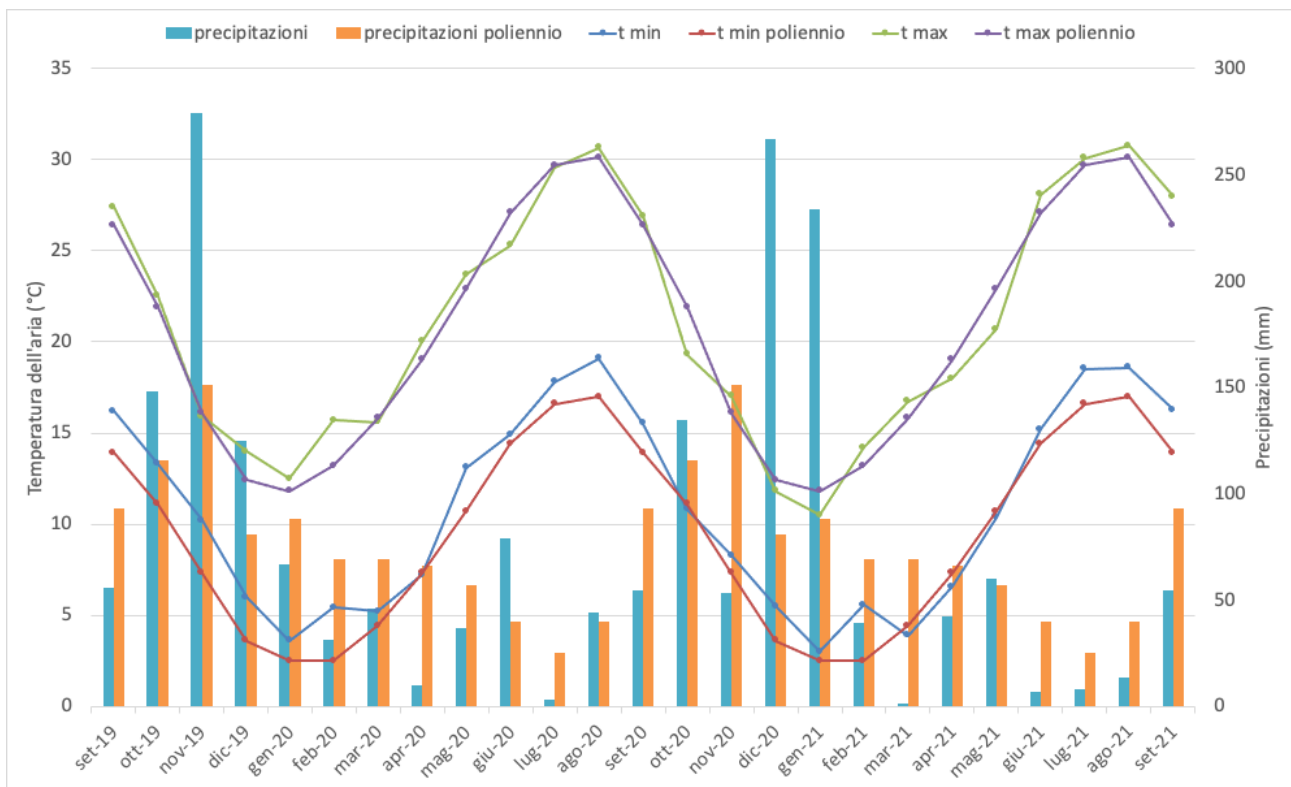


Fig.20 – Dati climatici relativi alle temperature medie mensili massime e minime e alle precipitazioni medie mensili del sito sperimentale (CiRAA E. Avanzi) registrate negli anni sperimentali 2019/2020 e 2020/2021, confrontate con le medie poliennali 1993-2021.

Nel secondo anno della Prova On-Station, così come per il primo, sono stati posti a confronti due diversi itinerari tecnici:

1) Sistema standard

Questo sistema ha previsto il sovescio delle cover crops (realizzato tramite una trinciatura effettuata con un comune trinciastocchi (Figura 21) e successivo passaggio con zappatrice rotativa per interrare la biomassa vegetale) seguito dal trapianto del pomodoro su terreno lavorato e infine il controllo delle infestanti tramite sarchiature e interventi di scerbatura manuale.



Fig.21 – Trinciatura del miscuglio di Segale e Trifoglio.

Per il “Sistema standard” sono state eseguite le seguenti operazioni colturali:

- Lavorazione superficiale del terreno;
- Affinamento del terreno e semina a spaglio delle cover crop;
- Trinciatura delle cover crop e della copertura spontanea presente sul testimone inerbito;
- Zappatura del terreno;
- Trapianto del pomodoro su terreno lavorato;
- Sarchiatura tra le file;
- Scerbatura manuale sulle file;
- Raccolta manuale effettuata in due interventi attuati a fine agosto/inizio settembre.

2) *Sistema conservativo*

Questo sistema ha previsto la devitalizzazione delle cover crop e il loro utilizzo come dead mulch, realizzato tramite un passaggio di roller crimper (Clemens Eco-Roll®) (Figure 22 e 23) seguito da un passaggio di pirodiserbo (Figura 24). Il trapianto del pomodoro su terreno sodo e infine il controllo delle infestanti tramite trinciature e interventi di scerbatura manuale.



Fig.22 – Rullatura della cover crop di Trifoglio squaroso.



Fig.23 – Cover crop di Segale dopo il passaggio del rullo.



Fig.24 – Pirodiserbo su miscuglio di Segale e Trifoglio.

Per il “Sistema conservativo” sono state eseguite le seguenti operazioni colturali:

- Lavorazione superficiale del terreno;
- Affinamento del terreno e semina a spaglio delle cover crop;
- Rullatura delle cover crop e del testimone inerbito;
- Pirodiserbo su cover crop e testimone inerbito;
- Trapianto del pomodoro su terreno sodo in presenza di dead mulch;
- Trinciatura tra le file;
- Scerbatura manuale sulle file;
- Raccolta manuale effettuata in due interventi attuati a fine agosto/inizio settembre.

Il disegno sperimentale adottato nel biennio è stato quello del Randomized Complete Block (RCB) a tre replicazioni.

La gestione della fertilizzazione, dell'irrigazione e della difesa fitosanitaria è stata la stessa per entrambi i sistemi a confronto nel rispetto del Disciplinare (ex Reg. CE 2007/834 e 2008/889) per l'Agricoltura Biologica. La fertilizzazione ha riguardato l'apporto di azoto, di potassio e di calcio tramite sei interventi di fertirrigazione: tre con Nutrigreen (8-0-0) (AD Green Italia), tre con Vit-Org (3-6-0) (GrennHas Group). Inoltre, sono stati effettuati due interventi di concimazione fogliare con NewCal (16,8 % CaO) (GrennHas Group). La difesa fitosanitaria ha interessato principalmente: la lotta alla Peronospora del pomodoro (*Phytophthora infestans*) attraverso trattamenti preventivi di copertura con prodotti rameici (cinque trattamenti fogliari con poltiglia bordolese Disperss Blu (UPL Italia)), la lotta agli Afidi e alle Cimici del Pomodoro (*Myzus persicae* e *Nezara viridula*) tramite trattamenti curativi con azadiractina (quattro trattamenti OIKOS (Sipcam Italia) e infine la lotta alla Tignola e alla

Nottua gialla del Pomodoro (*Tuta absoluta* e *Helicoverpa armigera*) attraverso trattamenti curativi con *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (sei trattamenti con DELFIN (Corteva Agriscience Italia).

Per quanto riguarda la distribuzione degli agrofarmaci e dei fertilizzanti fogliari, è stata utilizzata una irroratrice meccanica larga 6 m e dotata di comuni ugelli a ventaglio e a turbolenza, oltre che di ugelli antideriva.

3) Descrizione delle macchine operatrici

Per la descrizione delle macchine operatrici impiegate nella prova on station si rimanda al report annuale relativo al primo anno di prova (2020), già inviato al Ministero nel febbraio 2021.

3.2 RILIEVI SPERIMENTALI E METODOLOGIA STATISTICA

3.2.1 RILIEVI BIOMETRICI SULLE COVER CROPS

All'epoca della devitalizzazione delle colture di copertura (rispettivamente in data 28/05/2020 e 07/06/2021) è stato effettuato un prelievo di biomassa vegetale dalle parcelle sperimentali al fine di caratterizzare la produzione e il contenuto in nutrienti di ciascuna specie di cover crop e la presenza, incidenza e tipologia della flora infestante. Il campionamento è avvenuto su 2 aree da 0.5 m² a parcella, procedendo quindi alla determinazione del peso fresco totale della biomassa vegetale e alla separazione delle sue due componenti principali (coltura di copertura e infestanti). Un'aliquota della biomassa complessiva di ciascuna componente è stata successivamente posta in stufa a 60°C fino a peso costante al fine di determinarne il peso secco. I campioni sono stati quindi macinati con filtro di 1 mm e portati in laboratorio chimico per la determinazione del contenuto in N totale (metodo Kjeldahl) e P assimilabile (metodo Olsen).

3.2.2 RILIEVI FLORISTICI SULLE COVER CROPS

Sulle medesime aree dove si è campionato la biomassa delle colture di copertura, è stata altresì determinata la copertura visiva percentuale delle cover crop e di ciascuna delle specie spontanee presenti.

3.2.3 RILIEVI BIOMETRICI SULLA COLTURA DI POMODORO

Sulla coltura di pomodoro sono stati effettuati i seguenti rilievi biometrici:

- Altezza delle piante: al fine di stimare lo sviluppo vegetativo della coltura, si è misurata l'altezza delle piante (in centimetri) mediante 3 rilievi distinti (10/07/2020, 30/07/2020, 27/08/2020 nel primo anno; 19/06/2021, 22/07/2021 e 06/08/2021 nel secondo anno) considerando ogni volta 2 aree a parcella e 3 piante di pomodoro per ciascuna area; i 3 rilievi distinti sono stati effettuati sulle medesime aree e quindi sulle stesse piante;
- Indice Spad: per valutare lo stato nutrizionale della coltura, si è misurato l'Indice Spad (concentrazione di clorofilla) tramite 3 rilievi (10/07/2020, 30/07/2020, 27/08/2020 nel primo anno; 19/06/2021, 22/07/2021 e 06/08/2021 nel secondo anno) considerando ogni volta 2 aree a parcella, 3 piante di pomodoro per ciascuna area ed una foglia omogenea per sviluppo e posizione per ogni singola pianta; i 3 rilievi distinti sono stati effettuati sulle medesime aree e quindi sulle stesse piante;
- Peso Bacche: al fine di determinare la produzione della coltura, si è proceduto a due raccolte (07/09/2020 e 16/09/2020 nel primo anno; 26/08/2021 e 19/09/2021 nel secondo anno) delle bacche di pomodoro "commerciabili"; i campionamenti sono stati effettuati su 2 aree a parcella e su 3 piante di pomodoro per ciascuna area; le 2 raccolte distinte sono state effettuate sulle medesime aree e quindi sulle stesse piante; i campioni sono stati pesati subito dopo la raccolta per stabilirne il peso fresco e, successivamente, un'aliquota della biomassa è stata posta in stufa a 60°C per stimarne il peso secco. I campioni sono stati quindi macinati con filtro pari a 1 mm e portati in laboratorio chimico per la determinazione del loro contenuto in N Kjeldahl e in P Olsen;
- Peso Piante e Infestanti: per valutare la biomassa totale della coltura alla raccolta e la presenza delle malerbe, si è proceduto al campionamento delle piante di pomodoro e delle infestanti in occasione dell'ultima

raccolta scalare (rispettivamente 16/09/2020 e 19/09/2021 per il primo e per il secondo anno); per le piante di pomodoro i campionamenti sono stati eseguiti su 2 aree a parcella, considerando 3 piante di pomodoro per ciascuna area; per le infestanti i campionamenti sono stati eseguiti su 2 aree a parcella di 1,5 m² ciascuna (le medesime aree su cui si è svolto il campionamento delle relative piante); i campioni sono stati pesati subito dopo la raccolta per stabilirne il peso fresco e, successivamente, un'aliquota della biomassa è stata posta in stufa a 60°C per stimarne il peso secco. I campioni sono stati quindi macinati con filtro pari a 1 mm e portati in laboratorio chimico per la loro caratterizzazione.

3.2.4 RILIEVI FLORISTICI SULLA COLTURA DI POMODORO

A 4 settimane circa dal trapianto del pomodoro è stato effettuato il primo rilievo della copertura viva percentuale della coltura, di ciascuna specie infestante e del dead mulch. I rilievi si sono svolti su 2 aree da 0.5 m² a parcella. Qualche giorno prima del campionamento alla raccolta delle piante di pomodoro e delle infestanti, in data 10/09/2021, sulle medesime aree di cui sopra sono stati ripetuti gli stessi rilievi floristici.

3.2.5 RILIEVI TECNICO OPERATIVI ED ECONOMICI

I rilievi effettuati durante la prova hanno preso in considerazione, sia aspetti relativi alle prestazioni delle macchine operatrici e dei cantieri di lavoro, sia parametri economici. Per la parte relativa alla determinazione delle performance dei diversi cantieri di lavoro sono stati rilevati i principali parametri operativi: velocità di avanzamento, tempi effettivi (TE), di voltata (TAV), per il rifornimento (TAS) e tempi morti (TM), nonché la larghezza e la profondità di lavoro. Per il calcolo delle velocità di avanzamento nei diversi cantieri di lavoro sono stati rilevati, con cronometro, i tempi di percorrenza di un tratto rettilineo di 30 m compreso tra due paline poste ai bordi dell'appezzamento. I dati raccolti e le informazioni relative alle caratteristiche delle trattrici e delle macchine operative sono stati elaborati utilizzando la metodologia riconosciuta a livello internazionale. Sono stati inoltre determinati i parametri relativi alle prestazioni dei cantieri di lavoro: rendimento operativo e capacità di lavoro reale e consumi di combustibile sia orari che per unità di superficie.

3.2.6 ANALISI STATISTICA

I dati relativi alle prestazioni operative non sono stati sottoposti, come previsto, ad alcuna analisi statistica. I dati relativi alle prestazioni operative non sono stati sottoposti, come previsto, ad alcuna analisi statistica. Al contrario, i dati inerenti alla biomassa delle cover crop e delle infestanti e quelli relativi alle rese (peso fresco delle bacche) sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) con l'utilizzo del software SPSS (IBM SPSS Statistics for Mac, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.). La lavorazione del suolo, le diverse specie di cover crops testate e la combinazione di questi due fattori sono state considerate come fattori fissi; la biomassa fresca delle bacche e quella secca delle infestanti sono state considerate variabili dipendenti. Prima di essere sottoposti ad ANOVA, sono stati verificati gli assunti dell'ANOVA mediante test di Kolmogorov-Smirnov per la normalità e test Breusch-Pagan per l'eteroschedasticità. Per i fattori di interesse che sono risultati statisticamente significativi ($P < 0,05$), è stata eseguita la separazione delle medie con il test "post-hoc" di Bonferroni adottando un livello di significatività del 5% ($P < 0,05$). Per quanto riguarda la valutazione delle performances economiche delle diverse tesi sono state calcolate la PLV, data dal prodotto delle rese per il prezzo di mercato del pomodoro da industria biologico, riportato sul sito di ISMEA (<http://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1881>), i costi variabili totali (CV totali), calcolati sommando i costi imputabili alle diverse operazioni, ai consumi di gasolio, alla manodopera e ai mezzi tecnici, e il reddito lordo, ottenuto dalla differenza tra PLV e CV totali.

3.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.3.1 *Aspetti meccanici e operativi*

Sulla base dei rilievi effettuati nel biennio sono state calcolate le performance operative dei diversi cantieri di lavoro. In particolare i tempi operativi e i consumi di combustibile totali relativi alle 4 tesi a confronto sono riportati nella Tabella 5.

Anno	Sistema standard no cover crop		Sistema standard cover crop		Sistema conservativo no cover crop		Sistema conservativo cover crop	
	TO (h/ha)	C (kg/ha)	TO (h/ha)	C (kg/ha)	TO (h/ha)	C (kg/ha)	TO (h/ha)	C (kg/ha)
2020	136,2	57,5	146,3	202,8	109,1	34,7	111,3	40,6
2021	137,3	54,5	139,4	84,9	110,25	49,36	112,39	55,26

Tabella 5 - risultati dei parametri operativi, calcolati nel biennio di prova per i vari cantieri di lavoro in ciascun itinerario tecnico. (TO: Tempo operativo; C: Consumo di combustibile).

Come è possibile realizzare i sistemi con lavorazione del terreno sono risultati connessi con valori dei tempi operativi più elevati rispetto quelli relativi ai sistemi con trapianto su sodo. Le operazioni che hanno determinato tali differenze sono state quelle relative alla gestione delle cover crop e al controllo delle infestanti. In particolare, il sistema legato ai valori più alti dei tempi operativi e dei consumi di combustibile è il sistema standard – cover crop, a causa della combinazione delle operazioni per il sovescio e della sarchiatura. Al contrario, i sistemi meno onerosi in termini di tempi operativi e di consumi di combustibile sono risultati essere quelli conservativi con consumi mediamente pari a poco meno di 38 kg/ha di gasolio (riduzione del 75% circa rispetto all'itinerario standard - cover crop).

3.3.2 Aspetti agronomici

3.3.2.1 Biomassa cover crops e infestanti alla devitalizzazione

Anno	Cover crop	Biomassa secca delle cover crop alla devitalizzazione (Mg ha ⁻¹)
2020	Mix	8,22 a
	Segale	8,87 a
	Trifoglio	6,09 b
2021	Mix	8,15 a
	Segale	8,07 a
	Trifoglio	6,08 b

Tabella 6 – – Estimated marginal means /Emmeans) di biomassa secca delle cover crop all'epoca della devitalizzazione (Mg ha⁻¹). Lettere diverse, all'interno dello stesso anno, indicano differenze significative (Bonferroni P<0,05).

L'osservazione dei dati riportati nella tabella 6 consente di realizzare come, nonostante la differenza tra la biomassa del trifoglio con quella del mix e della segale, dovuta principalmente al diverso habitus vegetativo delle specie, per tutte e tre le tipologie di cover testate la biomassa secca al momento della devitalizzazione fosse molto elevata e in linea con i valori di riferimento. La biomassa secca delle infestanti al momento della devitalizzazione delle diverse tipologie cover crop è riportata nella tabella 7.

L'osservazione della tabella 7 consente di realizzare come nel biennio i valori più bassi si siano registrati nella segale e nel mix, molto probabilmente per il maggior controllo esercitato dalla graminacea per l'azione degli essudati allelopatici, decisamente meno "efficaci" nel caso del trifoglio. I valori su terreno nudo sono apparsi, come era del resto prevedibile, significativamente più elevati rispetto a quelli registrati sulle cover crop.

Anno	Cover crop	Biomassa secca delle infestanti alla devitalizzazione (Mg ha⁻¹)
2020	Controllo	3,64 a
	Mix	0,06 c
	Segale	0,07 c
	Trifoglio	0,86 b
2021	Controllo	4,85 a
	Mix	0,25 c
	Segale	0,17 c
	Trifoglio	1,09 b

Tabella 7 – Estimated marginal means /Emmeans) di biomassa secca delle infestanti all'interno delle cover crop all'epoca della devitalizzazione (Mg ha⁻¹). Lettere diverse, all'interno dello stesso anno, indicano differenze significative (Bonferroni P<0,05).

3.3.2.2 Asportazioni NP delle cover crop

Anno	Cover crop	Nconc (g 100 g⁻¹)	Nasp (kg ha⁻¹)
2020	Mix	1,23 b	100,26 a
	Segale	0,72 c	63,86 b
	Trifoglio	1,93 a	117,37 a
2021	Mix	1,33 b	108,40 b
	Segale	0,96 c	79,86 c
	Trifoglio	2,22 a	134,47 a

Tabella 8 – – Estimated marginal means /Emmeans) di concentrazione (NConc) e asportazioni (Nasp) in N totale delle cover crop all'epoca della devitalizzazione. Lettere diverse, all'interno dello stesso anno, indicano differenze significative (Bonferroni P<0,05).

Come si nota in tabella 8, in entrambi gli anni si è osservato un trend crescente della concentrazione di azoto nei tessuti passando da segale a trifoglio, con il mix a mostrare i valori intermedi. Questo comportamento è motivato, ovviamente, dalla diversa concentrazione di N nei tessuti delle graminacee e delle leguminose. L'interazione tra la concentrazione in termini percentuali e la biomassa prodotta dalle diverse cover crop ha invece portato a tendenze differenti tra i due anni sperimentali, seppur con limitate differenze in termini assoluti. Come atteso, i valori inferiori di contenuto di N delle cover crop è stato mostrato dalla catch crop di segale, che in entrambi gli anni ha mostrato valori statisticamente inferiori. Mix e trifoglio sono risultati invece differenti tra loro solo nel secondo anno.

Anno	Cover crop	Pconc (g 100 g⁻¹)	Pasp (kg ha⁻¹)
2020	Mix	0,29 a	23,57 a
	Segale	0,26 a	23,22 ab
	Trifoglio	0,28 a	16,96 b
2021	Mix	0,11 ab	8,78 a
	Segale	0,08 b	6,52 ab
	Trifoglio	0,13 a	7,72 b

Tabella 9 – – Estimated marginal means /Emmeans) di concentrazione (PConc) e asportazioni (Pasp) in P assimilabile delle cover crop all'epoca della devitalizzazione. Lettere diverse, all'interno dello stesso anno, indicano differenze significative (Bonferroni P<0,05).

Per quanto riguarda il fosforo, in entrambi gli anni si è osservato un trend analogo tra i trattamenti in termini di asportazioni (Tab. 9), con i valori maggiori mostrati dal Mix rispetto al trifoglio, rivelando un chiaro effetto principale da parte della biomassa più che delle concentrazioni in P, risultata poco influenzata dalla specie di cover crop.

3.3.2.3 Rese del pomodoro da industria

I valori delle rese ottenute nel biennio con le diverse tipologie di copertura e i diversi itinerari tecnici per la gestione del suolo, sono riportati nella tabella 10.

Anno	Lavorazione	Cover crop	Resa in bacche (Mg ha ⁻¹)
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	5,867 b
		Segale	13,588 ab
		Mix	16,179 ab
		Trifoglio	23,262 a
	SI (standard)	Controllo	3,071 b
		Segale	8,134 b
		Mix	20,028 a
		Trifoglio	27,957 a
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	20,454 b
		Segale	25,636 ab
		Mix	28,108 ab
		Trifoglio	41,921 a
	SI (standard)	Controllo	49,791 b
		Segale	54,021 b
		Mix	62,784 ab
		Trifoglio	74,111 a

Tabella 10 - Estimated marginal means /Emmeans) delle rese in bacche fresche in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno dello stesso anno e alla stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

Le rese, in generale, sono risultate più basse di circa il 50% rispetto a quelle ottenute nella prova on farm nel 2020, probabilmente a causa all'investimento inferiore di piante ad ettaro della prova on station. Infatti la densità di impianto è stata di circa 4 piante/m² nella prova on farm e di poco più di 2 piante/m² nella prova on station. Viceversa, le rese sono state leggermente maggiori in media nel 2021, probabilmente a causa dei diversi andamenti climatici registrati nei siti sperimentali e la migliore efficienza dei trattamenti fitoiatrici nella gestione della prova on station nel secondo anno. In entrambi gli anni i sistemi che hanno prodotto i risultati produttivi più bassi sono stati quelli in cui, con o senza lavorazione, non è stata utilizzata nessuna coltura di copertura, o è stata impiegata la cover crop di segale. Le rese ottenute adottando questi itinerari tecnici risultano essere sempre statisticamente uguali tra loro. Le performance molto più elevate dei sistemi in cui è stata utilizzata una leguminosa (da sola o in mix) come coltura di copertura può essere spiegata con la capacità di tali specie di fissare azoto atmosferico nel terreno e con l'elevata percentuale di azoto presente nei loro residui e prontamente mineralizzabile a vantaggio della coltura successiva. Nel secondo anno in media sono state ottenute rese in termini di bacca fresca più elevate rispetto al primo (il fattore anno incluso nel modello additivo lineare dell'anova è risultato influenzare in modo statisticamente significativo la variabile dipendente resa in termini di bacche fresche). Ciò potrebbe essere imputabile alle già citate differenti condizioni meteorologiche e al fatto che nei due anni le coltivazioni di pomodoro sono state effettuate in due appezzamenti differenti, sebbene limitrofi, per poter effettuare le opportune rotazioni.

3.3.2.4 - Biomassa delle infestanti alla raccolta del pomodoro

L'analisi statistica dei dati condotta nel biennio, ha evidenziato come il fattore anno e l'interazione dei fattori tipologia di lavorazione e tipologia di cover abbia influenzato ad un livello statisticamente significativo ($P < 0,05$)

la variabile dipendente biomassa delle infestanti alla raccolta. Nel 2020 in media la biomassa secca delle infestanti si è attestata su valori di 4,43 Mg ha⁻¹ risultando statisticamente superiore al valore medio di Mg ha⁻¹ riscontrato nel 2021. Ancora una volta, ciò potrebbe essere giustificato dalle differenti condizioni metereologiche e dalla diversa composizione quali-quantitativa della seed bank dei due diversi appezzamenti che hanno ospitato la prova nell'arco del biennio dell'attività di ricerca.

Osservando i dati riportati nella tabella 11, in cui sono mostrati i valori di biomassa secca delle infestanti alla raccolta per tutti gli itinerari tecnici posti a confronto nel biennio di prova sperimentale, è possibile osservare come in entrambi gli anni nelle parcelle sottoposte a gestione conservativa, l'utilizzo della segale (in purezza o in miscuglio) nella cover crop utilizzata come dead mulch, abbia consentito di ottenere valori statisticamente inferiori a quelli ottenuti nelle parcelle sodive in cui le cover crop non erano presenti. Nel sistema standard nel 2020 i valori della biomassa delle infestanti sono risultati più elevati rispetto a quelli registrati su terreno sodo, mentre nel 2021 la lavorazione ridotta del terreno e il successivo impiego di mezzi meccanici e termici per il controllo delle malerbe hanno prodotto un effetto mediamente molto inferiore, indipendentemente dalla tipologia di copertura, rispetto a quello relativa all'impianto del pomodoro su terreno sodo coperto da dead mulch, probabilmente a causa di una minore efficienza del controllo esercitato dalla pacciamatura morta.

Anno	Lavorazione	Cover crop	Biomassa secca infestanti a raccolta (Mg ha ⁻¹)
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	5,29 a
		Trifoglio	4,28 ab
		Segale	3,52 b
		Mix	3,24 b
	SI (standard)	Trifoglio	5,79 a
		Segale	5,57 a
		Mix	3,89 b
		Controllo	3,83 b
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	4,35 a
		Mix	1,79 b
		Trifoglio	1,64 b
		Segale	1,23 b
	SI (standard)	Mix	2,32 a
		Controllo	2,21 a
		Segale	1,65 a
		Trifoglio	1,36 a

Tabella 11 – – Estimated marginal means /Emmeans) della biomassa secca delle infestanti a raccolta in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno dello stesso anno e alla stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per p<0.05).

3.3.2.5 - Biomassa dei residui del pomodoro a raccolta

Dall'analisi statistica è emerso che per il peso secco delle piante di pomodoro, così come per il peso secco totale, sono risultate significative le specie di cover crop coltivate ma non la loro combinazione col tipo di gestione del terreno. In generale si può affermare che le medie dei pesi secchi sono risultate maggiori nelle parcelle in cui era stato coltivato il trifoglio squaroso e il miscuglio trifoglio-segale; precisamente, nel primo anno il peso secco delle piante di pomodoro nelle relative parcelle è risultato maggiore almeno dell'80% in questi trattamenti rispetto alle parcelle di segale. Nel secondo anno il peso secco delle piante di pomodoro e del totale nelle parcelle con precessione a trifoglio è stato circa del 50% superiore rispetto a quello riscontrato nelle altre parcelle (Tabella 12).

Anno	Lavorazione	Cover crop	Biomassa secca piante di pomodoro a raccolta (Mg ha ⁻¹)
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	0,18 a
		Mix	1,26 a
		Segale	0,78 a
		Trifoglio	1,61 a
	SI (standard)	Controllo	0,74 a
		Mix	0,97 a
		Segale	0,48 a
		Trifoglio	1,13 a
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	1,10 a
		Mix	1,31 a
		Segale	1,19 a
		Trifoglio	2,14 a
	SI (standard)	Controllo	2,44 a
		Mix	2,57 a
		Segale	2,45 a
		Trifoglio	3,34 a

Tabella 12 – Estimated marginal means /Emmeans) della biomassa secca delle piante di pomodoro a raccolta in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno dello stesso anno e alla stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

3.3.2.6 – Asportazioni totali in NP del pomodoro a raccolta

L'analisi statistica condotta sulle asportazioni totali in N del pomodoro, ottenute sommando quelle di piante e frutti, ha rivelato un effetto significativo dell'anno, della lavorazione (solo nel secondo anno) e della specie di cover crop (in entrambi gli anni), ma non della loro interazione. I risultati delle asportazioni seguono in gran parte quelli della biomassa del pomodoro, facendo registrare valori mediamente maggiori nelle tesi conservative nel primo anno e nelle tesi con lavorazione nel secondo. In entrambi gli anni il pomodoro dopo trifoglio ha mostrato livelli maggiori di asportazioni rispetto alle altre tesi, senza però differenziarsi statisticamente dal mix nel primo anno (Tabella 13).

Per quanto riguarda le asportazioni totali in P, invece, l'analisi statistica non ha evidenziato un effetto significativo del fattore anno, per cui i dati sono stati analizzati come media del biennio. Anche in questo caso, come per le asportazioni azotate, si è notato un effetto significativo del fattore lavorazione e del fattore cover crop, ma non della loro interazione. Mediamente, le tesi NT hanno fatto registrare valori inferiori del 25% rispetto alle tesi CT, mentre le parcelle di pomodoro che seguivano il trifoglio e il miscuglio hanno fatto registrare valori superiori al controllo e alla segale in purezza. Interessante notare come, passando da CT a NT, nelle parcelle dopo trifoglio e miscuglio il dato delle asportazioni in P del totale della biomassa epigea del pomodoro non abbia mostrato grandi variazioni, al contrario delle parcelle dopo segale e controllo (Tabella 14).

Anno	Lavorazione	Cover crop	Nasp pomodoro (kg ha ⁻¹) totali
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	10,04 a
		Mix	65,50 a
		Segale	40,44 a
		Trifoglio	77,79 a
	SI (standard)	Controllo	34,94 a
		Mix	64,12 a
		Segale	24,56 a
		Trifoglio	62,09 a
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	40,34 a
		Mix	44,48 a
		Segale	50,92 a
		Trifoglio	100,70 a
	SI (standard)	Controllo	102,95 a
		Mix	101,58 a
		Segale	102,58 a
		Trifoglio	160,64 a

Tabella 13 – – Estimated marginal means /Emmeans) delle asportazioni totali (frutti+piante) di N del pomodoro a raccolta in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno dello stesso anno e alla stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

Lavorazione	Cover crop	Pasp pomodoro (kg ha ⁻¹) totali
NO (conservativo)	Controllo	4,65 a
	Mix	13,71 a
	Segale	9,06 a
	Trifoglio	14,62 a
SI (standard)	Controllo	11,72 a
	Mix	15,25 a
	Segale	10,17 a
	Trifoglio	15,29 a

Tabella 14 – – Estimated marginal means /Emmeans) delle asportazioni totali (frutti+piante) di P del pomodoro a raccolta in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno della stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

3.3.2.7 – Altezza e indice SPAD del pomodoro

In Tabella 14 sono riportati i risultati dell'analisi statistica effettuata sui dati dello SPAD delle foglie di pomodoro nelle tre epoche intermedie nei due anni. Si può notare come i valori SPAD siano stati influenzati significativamente dalle cover crop nel primo anno per i valori SPAD 2 e 3; le interazioni till*cover crop sono risultate significative solo per lo SPAD 2 del primo anno, mentre le lavorazioni hanno avuto un effetto significativo solo per la seconda epoca.

Nel secondo anno, l'effetto delle lavorazioni è stato significativo nelle prime due epoche, quello delle cover crops solo nella seconda epoca.

Anno	Lavorazione	Cover crop	Indice SPAD Epoca 1	Indice SPAD Epoca 2	Indice SPAD Epoca 3
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	50,4 a	44,8 a	44,4 a
		Mix	57,0 a	52,9 a	51,0 a
		Segale	51,8 a	48,0 a	45,0 a
		Trifoglio	51,9 a	53,6 a	52,7 a
	SI (standard)	Controllo	56,6 a	50,6 a	43,9 a
		Mix	54,9 a	52,2 a	47,5 a
		Segale	51,5 a	51,3 a	44,9 a
		Trifoglio	59,6 a	53,7 a	54,1 a
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	46,8 a	49,8 a	48,9 a
		Mix	48,1 a	51,9 a	50,1 a
		Segale	47,5 a	50,9 a	49,8 a
		Trifoglio	48,8 a	54,8 a	51,5 a
	SI (standard)	Controllo	50,3 a	52,6 a	52,3 a
		Mix	51,8 a	52,2 a	50,8 a
		Segale	51,2 a	53,8 a	50,7 a
		Trifoglio	51,5 a	56,8 a	51,5 a

Tabella 15 – Estimated marginal means /Emmeans) dell'Indice di SPAD delle foglie del pomodoro in tre diverse epoche in funzione dei diversi itinerari tecnici presi in esame (lettere diverse all'interno dello stesso anno e alla stessa tipologia di gestione del terreno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

Dall'analisi statistica dei dati è emerso che le cover crops abbiano avuto un effetto significativo sulle altezze delle piante di pomodoro nelle tre epoche intermedie nel primo anno, in cui il trifoglio ha sempre garantito in media uno sviluppo maggiore della coltura principale, rispettivamente del 40% per i valori dell'altezza 2 e del 15% per l'altezza 3. Nel secondo anno, il trifoglio è riuscito a influenzare in modo significativo l'altezza del pomodoro solo nella seconda epoca.

Riguardo l'interazione tra lavorazioni del terreno e coltura di copertura, questa ha avuto un effetto rilevante per l'altezza 2 del pomodoro nel primo anno e per l'altezza 1 del secondo anno. L'interazione lavorazioni del terreno e cover crops è stata significativa per l'altezza 2 del secondo anno poiché, oltre a confermare il maggior sviluppo nel caso del trifoglio, ha evidenziato un migliore sviluppo del pomodoro nel no till rispetto al sistema convenzionale; nel rilievo dell'altezza 1 del secondo anno si notano solo differenze significative di altezza per la segale e il mix del sistema tradizionale che sono stati, rispettivamente, il valore più alto ed il più basso, mentre nel NT non si sono osservate differenze tra le cover.

3.3.3 Aspetti economici

Le performance economiche del pomodoro da industria mostrano un trend molto simile rispetto a quello già osservato per quelle produttive, come è possibile evincere osservando la tabella 15 in cui sono riportati i valori della PLV dei costi variabili totali e del reddito lordo, calcolati per gli 8 sistemi di gestione posti a confronto.

Anno	Itinerari tecnici	PLV (€/ha)	CV totali (€/ha)	Reddito lordo (€/ha)
2020	Standard no cover	8191	5052	3139
	Standard segale	9745	5887	3858
	Standard mix	25819	5851	19968
	Standard trifoglio	25324	5815,	19509
	Conservativo no cover	8191	4553	3638
	Conservativo segale	9745	4840,	4905
	Conservativo mix	25819	4804	21015
	Conservativo trifoglio	25324	4768	20556
2021	Standard no cover	55765,9	7785	47980,7
	Standard segale	60503,	8364	52139,4
	Standard mix	70318,1	8328	61990,1
	Standard trifoglio	83004,5	8292	74712,5
	Conservativo no cover	22908,5	7302	15606,5
	Conservativo segale	428712,1	7590	21122,5
	Conservativo mix	31481,2	7554	23927,6
	Conservativo trifoglio	46951,3	7518	39433,7

Tabella 16 – Valori della PLV, dei CV totali e del reddito lordo calcolati per ognuno degli itinerari tecnici adottati nel biennio di prova.

La netta superiorità della PLV e del reddito lordo calcolati per i sistemi sia standard che innovativi coperti da una cover composta da un mix di segale e trifoglio e da trifoglio in purezza rispetto a tutti gli altri è evidente ed è chiaramente dovuta alla maggior produttività di tali sistemi rispetto agli altri, già discussa nel precedente paragrafo, in presenza, per quanto riguarda il reddito lordo, anche di differenze contenute, ma non trascurabili tra i costi variabili relativi alla gestione standard e a quella conservativa. Il fatto che il reddito lordo maggiore sia stato ottenuto proprio nei sistemi in cui sono state utilizzate come colture di copertura il mix di segale e trifoglio e il trifoglio in purezza, conferma quanto già precedentemente affermato sull'importanza determinante, anche per quanto riguarda le performance economiche, dell'impiego di cover crop in grado di fornire alla coltura un apporto significativo di azoto, oltre ad aumentare l'effetto allelopatico e quindi il controllo della flora spontanea.

3.3.4 Copertura viva del suolo di cover crop e infestanti alla devitalizzazione delle cover crop

La percentuale di copertura viva del suolo delle colture di copertura e delle erbe infestanti è risultata essere significativamente diversa per i due anni, quindi i dati del biennio vengono riportati separatamente anno per anno (Tabella 17). Per ogni parametro analizzato, si è osservato un effetto significativo del fattore cover crops.

Anno	Cover crop	Copertura % cover crop	Copertura % infestanti
2019-20	Controllo	NA	104,4 a
	Mix	92,6 a	1,5 d
	Segale	75,1 c	6,8 c
	Trifoglio	84,3 b	16,6 b
2020-21	Controllo	NA	107,7 a
	Mix	82,7 b	10,4 b
	Segale	43,3 c	7,9 b
	Trifoglio	92,9 a	12,7 b

Tabella 17 – Estimated marginal means (Emmeans) della copertura visiva del suolo (%) delle colture di copertura e del totale delle infestanti presenti al loro interno all'epoca di devitalizzazione delle cover crop (lettere diverse all'interno dello stesso anno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

Si può notare come la maggior copertura del suolo si sia riscontrata nelle parcelle in cui era presente il miscuglio (primo anno) o il trifoglio squaroso (secondo anno); questo probabilmente è dovuto all'habitus ramificato di questa specie che, a differenza della segale, non sviluppa un unico stelo in altezza. In entrambi gli anni, la segale ha fatto registrare valori di copertura del suolo statisticamente inferiori.

In entrambi gli anni, la % di copertura del suolo da parte delle erbe infestanti nel controllo senza cover crops è risultata maggiore del 100%, questo poiché si è verificata una sovrapposizione delle diverse essenze. La copertura delle infestanti è stata sempre significativamente ridotta dalle cover crops rispetto al testimone. Nel primo anno, i valori significativamente inferiori si sono osservati per il miscuglio, risultato inferiore sia al trifoglio che alla segale. Nel secondo anno, invece, non si sono registrate differenze significative nella copertura delle infestanti tra le diverse cover crops.

3.3.5 Copertura visiva del suolo di piante di pomodoro e infestanti alla raccolta del pomodoro

La percentuale di copertura del suolo da parte del pomodoro e delle infestanti in esso presenti al momento della raccolta è stata soggetta a variazioni significativamente influenzate dall'anno sperimentale e per questo i dati sono presentati separati per il 2019/20 e 2020/21. In entrambi gli anni, i due fattori sperimentali e la loro interazione hanno avuto un effetto significativo su tutti i parametri analizzati (Tabella 18).

Per quanto riguarda la copertura visiva del suolo da parte del pomodoro, si è notata una tendenza opposta nei due anni, con valori medi decisamente inferiori nel primo anno, dove il NT ha fatto registrare valori significativamente superiori al CT, mentre nel secondo anno il pomodoro coltivato sulle parcelle lavorate ha raggiunto valori di copertura del suolo doppi rispetto al NT (Tabella 18). In entrambi gli anni le colture di copertura hanno aumentato significativamente la copertura del suolo del pomodoro rispetto al controllo. La cover crop che ha influenzato maggiormente il parametro in entrambi gli anni è stata la coltura del trifoglio. Nel primo anno, il pomodoro sulle parcelle NT*trifoglio ha fatto registrare il valore significativamente maggiore di copertura del suolo, evidenziando l'effetto stimolante la crescita del pomodoro da parte della cover crop leguminosa. Tuttavia, anche mix e segale hanno favorito la copertura del suolo da parte del pomodoro nel sistema NT, raggiungendo valori superiori rispetto a quelli registrati per le stesse cover nel sistema CT.

Nel secondo anno, la copertura del suolo da parte del pomodoro coltivato nelle parcelle con dead mulch di trifoglio ha fatto registrare valori statisticamente simili a quelli delle parcelle in cui sono stati sovesciati mix e segale in purezza, mentre la copertura sulle parcelle lavorate con sovescio di trifoglio hanno fatto registrare valori maggiori in assoluto.

Anno	Lavorazione	Cover crop	Copertura pomodoro	%	Copertura % infestanti
2019-20	NO (conservativo)	Controllo	7,1 f		69,8 a
		Mix	39,6 b		37,5 d
		Segale	36,2 c		44,0 c
		Trifoglio	45,6 a		32,9 e
	SI (standard)	Controllo	21,0 e		43,2 c
		Mix	27,7 d		63,0 b
		Segale	5,5 g		64,9 b
		Trifoglio	26,9 d		67,8 a
2020-21	NO (conservativo)	Controllo	23,2 f		90,8 a
		Mix	28,2 d		43,3 b
		Segale	25,7 e		36,6 c
		Trifoglio	55,0 b		30,8 d
	SI (standard)	Controllo	48,3 c		5,5 e
		Mix	56,7 b		4,4 e
		Segale	56,7 b		4,1 e
		Trifoglio	79,3 a		3,0 f

Tabella 18 - Estimated marginal means (Emmeans) della copertura visiva del suolo (%) della coltura di pomodoro e del totale delle infestanti presenti al suo interno all'epoca di devitalizzazione delle cover crop (lettere diverse all'interno dello stesso anno indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$).

Nella copertura delle erbe infestanti si riscontra una grande differenza nel secondo anno tra il sistema no till e quello lavorato: l'occupazione di suolo del sistema non lavorato è risultata di circa 10 volte superiore rispetto al sistema conservativo; inoltre è risultata significativa la differenza tra la media delle parcelle NT*Controllo, in cui la copertura della flora nel secondo anno è risultata di 30 volte maggiore rispetto alla media delle parcelle CT*Trifoglio. Nel sistema NT, un chiaro effetto soppressivo è stato mostrato dal trifoglio, che in entrambi gli anni ha fatto registrare valori statisticamente inferiori rispetto alle altre cover. Questi risultati evidenziano l'importanza della scelta ottimale della coltura di copertura in sistemi no-till per garantire un ottimale contenimento delle infestanti. Il meccanismo attraverso cui questo comportamento si è esplicito probabilmente va individuato in una combinazione tra diversi effetti. In primis, il trifoglio in entrambi i sistemi di lavorazione ha mostrato un effetto positivo nei confronti della crescita della coltura di pomodoro, dovuto al rilascio nel suolo dell'N fissato a vantaggio della coltura ortiva. La maggior crescita del pomodoro nelle parcelle a trifoglio ha così portato ad una maggiore competitività nei confronti delle infestanti. Non sono da escludere, tuttavia, altri effetti positivi del trifoglio in termini di contenimento della flora spontanea, come ad esempio un possibile effetto allelopatico, per altro già riscontrato dall'U.O. 2 nei confronti di alcune specie macroterme.

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI NEL BIENNIO DI SPERIMENTAZIONE ON FARM E ON STATION

I risultati emersi dalle due prove sperimentali condotte nel biennio di attuazione del progetto sono molto interessanti dal punto di vista meccanico, operativo, agronomico ed economico. Gli aspetti operativi dei cantieri di lavoro hanno evidenziato, in entrambe le prove, ottimi risultati connessi con l'impiego di strategie e di macchine innovative per la gestione conservativa del pomodoro biologico. Le operatrici innovative utilizzate nelle prove hanno prodotto risultati eccellenti in termini di efficacia dei trattamenti e riduzione dei consumi rispetto a quelle utilizzate nella gestione convenzionale. Grazie alla modularità di tali macchine è stato possibile infatti utilizzarle al meglio in base alle esigenze della coltura e del terreno nelle diverse condizioni che hanno caratterizzato le due prove sperimentali realizzate. Anche le macchine utilizzate per la devitalizzazione delle cover crop e per il trapianto diretto nella prova on-station hanno prodotto risultati molto soddisfacenti e

promettenti. Pertanto, i risultati ottenuti grazie a questo progetto lasciano intravedere ottime possibilità di successo per la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria basata sull'utilizzo di strategie agronomiche mirate e differenziate in relazione alle caratteristiche dell'ambiente di coltivazione, realizzate mediante l'impiego di macchine innovative.

Dal punto di vista agronomico i due esperimenti hanno consentito di ottenere risultati che sottolineano come, affinché la tecnica di coltivazione biologica e conservativa del pomodoro da industria risulti efficiente ed efficace, sia fondamentale che la scelta delle strategie, delle macchine e delle tempistiche d'intervento sia effettuata tenendo in debita considerazione le caratteristiche ambientali e pedoclimatiche degli areali in cui viene prodotta questa coltura orticola. A tale riguardo, infatti, le caratteristiche del terreno e l'andamento climatico devono rappresentare la base di partenza su cui costruire e scegliere le strategie più appropriate. A questo proposito gli elementi che maggiormente hanno influenzato l'ottenimento di performance produttive ed economiche elevate sembrano essere la copertura del suolo, soprattutto nella prova on-farm, ma anche in quella on-station e l'utilizzo di colture di copertura leguminose o meglio ancora di mix bilanciati di leguminose e di graminacee dotate di rilevanti proprietà allelopatiche, come è stato possibile osservare soprattutto nella prova on station. Per specie orticole a ciclo primaverile estivo, come il pomodoro da industria, i vantaggi della presenza di una copertura stabile rispetto all'impianto su terreno nudo appaiono comunque decisamente evidenti in presenza di caratteristiche pedo-climatiche e ambientali "difficili" (come quello su cui ha avuto luogo la sperimentazione on farm), ossia nel caso di coltivazione su terreni pesanti, con percentuali elevate di limo e quindi caratterizzati da una tendenza marcata a destrutturarsi, in presenza di elevate temperature e di sporadici, ma intensi eventi piovosi. Un suolo coperto con biotelo, ma anche con dead mulch prodotto dalla terminazione di cover crops, risulta in queste condizioni meno soggetto a perdite di acqua utile per la coltura, minor mineralizzazione della sostanza organica, ridotta competizione con le infestanti e limitato rischio di formazione di crosta superficiale in seguito a intensi eventi piovosi. Un altro aspetto molto interessante riguarda la profondità di lavoro degli interventi pre-impianto, sia delle cover crops che della coltura principale che in tutti i sistemi messi a confronto non ha influenzato le performance tecniche ed economiche del pomodoro. L'utilizzo di strategie più "convenzionali" basate su lavorazioni profonde è risultato invece correlato a un aumento dei consumi di combustibile e dei costi, a una maggiore mineralizzazione della sostanza organica con ripercussioni negative sul mantenimento della fertilità del terreno e sull'entità delle emissioni di GHG.

Anche i risultati economici nel biennio di sperimentazione appaiono molto promettenti in quanto sembrano confermare la sostenibilità dell'adozione di una gestione conservativa, a condizione che le scelte tecniche vengano modulate in relazione all'ambiente di coltivazione e all'andamento climatico. I redditi lordi ottenuti per i diversi sistemi messi a confronto sono risultati molto buoni nei casi in cui la coltura ha beneficiato dei servizi agro-ecologici forniti dalla gestione conservativa.

In conclusione, alla luce dei risultati ottenuti, l'adozione di strategie basate sull'utilizzo di macchine innovative per la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria può senza dubbio rappresentare una strada promettente e praticabile, sebbene sia decisamente necessario effettuare ulteriori attività di ricerca per confermare questo trend che potrebbe portare in tempi ragionevoli a una forte diffusione dell'impiego della gestione conservativa nell'orticoltura biologica.

5 PROVA ON-STATION: DISPOSITIVO DI LUNGO TERMINE SMOCA (Smart Management of Organic Conservation Agriculture)

Nell'ambito del WP2 (Aspetti agronomici e gestionali), l'U.O. 2 (CiRAA) aveva in programma, come da progetto, l'analisi delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo all'interno del dispositivo sperimentale di lungo periodo SMOCA, in atto presso il CiRAA dal 2014. All'interno del dispositivo sperimentale, sono confrontati diversi sistemi di gestione di ortaggi biologici di pieno campo a livello crescente di intensificazione agroecologica. In particolare, al sistema di riferimento (ORG), caratterizzato dal tradizionale abbinamento tra colture da sovescio e lavorazioni convenzionali del terreno con zappatrici rotative, vangatrici e aiuolatrici, si affiancano due sistemi basati sull'impiego di un living mulch di trifoglio bianco abbinato alla lavorazione in banda (RED) o alla non-lavorazione con trapianto su sodo degli ortaggi (PER). Poiché l'effettuazione dei campionamenti di suolo necessari all'analisi dei parametri sopra menzionati richiede un disturbo significativo del suolo all'interno delle parcelle sperimentali e poiché potrebbe risentire dell'effetto specifico della coltura in atto e delle tecniche

colturali, si è deciso di effettuare tali campionamenti nel secondo anno di progetto, dopo la chiusura del ciclo completo di rotazione.

Di concerto con l'U.O. 3 (SSSA), sono stati inoltre definiti specifici determinazioni dei servizi agroecosistemici ritenuti chiave sia nella prova on-station che nel dispositivo di lungo periodo, con particolare riferimento all'analisi dell'impatto dei sistemi di gestione a confronto sulla biodiversità della flora spontanea e dei microartropodi edafici, ritenuta un valido indicatore della biodiversità dell'agroecosistema.

Il campo sperimentale (43°40'18.47" N, 10°20'40.25' E) era inizialmente diviso in due metà (campo1 e campo2), sulle quali è stata replicata la rotazione colturale partendo da momenti sfalsati in modo da ottenere due complete repliche della rotazione nell'arco di un triennio. Ciascun campo era suddiviso secondo uno schema a blocchi randomizzati con tre replicazioni in 9 parcelle elementari delle dimensioni di 63 m² (21 m lunghezza per 3 m di larghezza).

Successivamente per cause di forza maggiore, l'azione della fauna selvatica ha compromesso il terreno nel campo 2, rendendo impossibile il campionamento finale in quelle parcelle. L'avvicendamento praticato, di durata triennale, prevedeva le seguenti colture:

Pomodoro da industria (*Solanum lycopersicum* L. cv. Brixsol)

Radicchio Pan di Zucchero (*Cichorium intybus* L. var. Pandizucchero cv. Uranus)

Melone (*Cucumis melo* L. cv. Bacir)

Fava (*Vicia faba* L. var. maior cv. Aguadulce Supersimonia)

Finocchio (*Foeniculum vulgare* L. cv. Montebianco)

In data 19/11/2021, da ciascuna delle 9 parcelle sperimentali del campo 1, sono stati raccolti i campioni di suolo per le diverse tipologie di analisi. Nello specifico, ci si è concentrati sui primi 10 cm di suolo, dal momento che in essi si concentra la maggior parte della componente biotica del suolo (microrganismi, radici, micro-artropodi). Tale strato superficiale contiene buona parte dell'orizzonte organico "O" della stratigrafia del terreno e riveste pertanto un'importanza chiave nella funzionalità edafica. Nei sistemi conservativi che non prevedono lavorazioni profonde e/o inversione degli strati, è infatti in questo strato che si accumula il materiale organico a diversi stadi di decomposizione, che risulta da residui colturali, piante infestanti e colture di copertura devitalizzate. Nonostante il normale accumulo di sostanza organica, in sistemi conservativi, lo strato superficiale può anche presentare problemi da ridotta fertilità, principalmente a causa del compattamento crescente causato dall'assenza di lavorazioni, in grado di aumentare la macroporosità del suolo, e dal calpestamento dovuto alle operazioni colturali effettuate dagli agricoltori in maniera manuale o con il supporto di macchine, spesso più pesanti rispetto a quelle standard utilizzati in sistemi basati sulla lavorazione del terreno. Questo compattamento può essere determinante nel ridurre il potenziale incremento di fertilità dovuto alle pratiche conservative, essendo la fertilità fisica e la stabilità della struttura delle proprietà del suolo in grado di influenzare a cascata molti aspetti anche di natura chimica (es. ciclizzazione dell'N, accumulo di C organico) e biologica (attività dei microrganismi).

Per evidenziare possibili interazioni tra i diversi aspetti di qualità del suolo, si è adottato un approccio integrato basato sui seguenti metodi:

Parametri chimici: su due strati di suolo (0-10 e 10-30 cm), sono stati determinati i parametri di pH, N totale (metodo Kjeldahl), P disponibile (metodo Olsen), sostanza organica (metodo Walkley-Black), capacità di scambio cationico (CSC, metodo della saturazione con soluzione di BaCl₂), conducibilità elettrica (CE, metodo conducimetrico), calcare totale e attivo (metodo Druineau);

Parametri fisici: densità apparente del suolo su due strati (0-10 e 10-30 cm), affiancata dallo spade test (prova della vanga), condotta per la valutazione visiva della qualità della struttura del suolo e della sua stratificazione. Per ogni strato identificato, è stato attribuito un punteggio di qualità della struttura (Sq) scegliendolo su scala 1-5, dove 1 è indice di struttura glomerulare fine e 5 di terreno compattato. Inoltre, per ogni strato sono state condotte una serie di valutazioni sulla dimensione e la tipologia degli aggregati, la presenza di biopori, la radicazione, il grado di degradazione della sostanza organica, colore ed odore. Il valore di Sq totale dell'intero profilo esaminato (30 cm);

Parametri biologici: ci si è concentrati sulla determinazione dell'Indice di Qualità Biologica del Suolo basato sui microartropodi (QBS-ar) nei primi 10 cm di suolo. Il metodo consiste nel determinare la composizione della

comunità di microartropodi (es. acari, collemboli, tisanuri...) all'interno di campioni indisturbati di suolo, prelevati mediante appositi carotatori e di seguito collocati in particolari dispositivi, denominati imbuti di Berlese-Tüllgren, dove l'azione di disturbo della luce e dell'alta temperatura provocano la fuoriuscita dei micro-artropodi dalla parte basale, che termina in un recipiente con un liquido preservativo. Da qui i microartropodi sono setacciati, raccolti e identificati sotto stereomicroscopio; ad ogni gruppo di artropode, individuato in base alla forma biologica, è quindi attribuito un valore in base a degli Indici Ecomorfologici (EMI), che rispecchiano l'adattamento della forma biologica a condizioni di suolo non disturbato. Alti punteggi EMI corrispondono a una maggiore qualità biologica del suolo.

Tutti i dati ottenuti sui parametri chimici, fisici e biologici del suolo, analizzati separatamente a partire dai campioni raccolti nel 2021, sono stati sottoposti all'analisi della varianza, utilizzando il metodo ANOVA ad una via (un fattore, SISTEMA COLTURALE, e tre trattamenti, PER, RED ed ORG), secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati (RCB) a tre replicazioni (BLOCCHI). Il software statistico utilizzato è stato R (R-software version 4.1.1). In tutti i casi, il test post-hoc utilizzato per la separazione delle medie è stato il test HSD ($\alpha \leq 0.05$). Per la valutazione degli assunti di normalità e omoscedasticità dei dati sono stati usati i test di Levene e di Shapiro-Wilk.

Le analisi chimiche condotte nei primi 10 cm di suolo non hanno mostrato differenze significative tra i trattamenti, fatta eccezione per il contenuto in P Olsen, parametro per il quale si è registrata una superiorità della tesi ORG rispetto a RED. Interessante notare come nella tesi PER il contenuto di P Olsen sia stato più simile alla tesi ORG che a RED, nonostante la totale assenza di concimazione con fosforiti, che invece ha caratterizzato gli altri due sistemi. Nella tesi PER, infatti, si è applicato intra-solco al trapianto degli ortaggi un preparato a base di funghi micorrizici arbuscolari (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*) che evidentemente ha comportato una maggiore solubilizzazione del P già presente nel suolo. I dati delle ultime analisi precedenti l'inizio della sperimentazione, datate 2016, mostravano infatti un contenuto di P Olsen ben più basso nella tesi PER rispetto allo stato osservato a Novembre 2021. Per quanto riguarda la concentrazione ponderale in sostanza organica (SOM), si è notata una tendenza ad un contenuto maggiore della tesi ORG, seppur non supportato dalla statistica. Per la tesi PER, invece, rispetto al tempo zero (anno 2016), si è notato un deciso calo del contenuto medio percentuale in sostanza organica, probabilmente dovuto alla scarsità di residui colturali e, soprattutto, al non sempre ottimale sviluppo del living mulch di trifoglio bianco. Quest'ultimo infatti ha decisamente risentito in maniera negativa degli effetti delle avversità meteorologiche registrate nel triennio sperimentale, in particolare delle forti piogge occorse nell'autunno-inverno 2017, che hanno portato a forti ritardi nella semina della cover crop. Questo ha poi impedito un ottimale sviluppo del living mulch che si è ripercosso a cascata sulla protezione del suolo dall'erosione, sul rilascio di N a vantaggio delle colture orticole e, quindi, sulla produzione di biomassa di residui delle colture stesse. I dati del bilancio del C, calcolato per il periodo tra il 2016 e il 2021, testimoniano esattamente come nel sistema PER gli input di C al suolo siano stati insufficienti a determinare maggiori o equivalenti accumuli di SOM rispetto alla tesi lavorata.

Tesi	CSC (meq 100 g ⁻¹)	pH	N totale (g kg ⁻¹)	SOM (g 100 g ⁻¹)	CE (mS m ⁻¹)	P Olsen (mg kg ⁻¹)
ORG	4,63 (±1,35) a	6,77 (±0,17) a	1,41 (±0,04) a	2,37 (±0,10) a	65,1 (±7,63) a	15,27 (±1,81) a
PER	4,19 (±1,35) a	6,79 (±0,17) a	1,31 (±0,04) a	2,06 (±0,10) a	54,2 (±7,63) a	11,99 (±1,81) ab
RED	4,21 (±1,35) a	6,97 (±0,17) a	1,41 (±0,04) a	2,28 (±0,10) a	47,7 (±7,63) a	5,33 (±1,81) b

Lettere diverse corrispondono a medie statisticamente differenti per $p \leq 0,05$ (Test HSD)

Tabella 19 - Media (± errore standard) dei parametri di capacità di scambio cationico (CSC), pH, N totale, sostanza organica (SOM), conducibilità elettrica (CE) e P Olsen determinati per i tre sistemi colturali a confronto nella prova SMOCA nello strato 0-10 cm.

Il test della prova della vanga non ha permesso di evidenziare differenze significative tra i trattamenti. Si è notata tuttavia una tendenza marcata a bassi valori di Sq (migliore struttura) per la tesi PER nei primi due strati (ST1, ST2), a dimostrazione di una struttura a grana più fine rispetto agli altri trattamenti. Come dimostrano i dati della densità apparente, tuttavia, la qualità visiva della struttura non ha trovato riscontro nella porosità del suolo, risultato complessivamente più umido e pesante nella tesi PER e RED, rispetto ad ORG, dove l'effetto della lavorazione ha evidentemente permesso di compensare gli effetti di una peggiore struttura, periodicamente alterata dalle lavorazioni del terreno.

TESI	Densità apparente (g cm ⁻³)	Umidità (% w/w)
ORG	1,285 (±0,239) b	14,57 (±7,62) a
PER	1,456 (±0,079) a	15,38 (±7,26) a
RED	1,426 (±0,119) ab	15,13 (±4,49) a

Lettere diverse corrispondono a medie statisticamente differenti per $p \leq 0,05$ (Test HSD)

Tabella 20 - Media (± errore standard) dei valori di densità apparente e umidità del suolo determinati per i tre sistemi colturali a confronto nella prova SMOCA nello strato 0-10 cm.

TESI	SQ ST1	SQ ST2	SQ ST3	SQ ST4	SQ 0-30 cm
ORG	1,67 a	2,83 a	3,33 a	1,33 a	2,67 a
PER	1,00 a	2,33 a	3,50 a	0,67 a	2,66 a
RED	1,00 a	3,33 a	3,00 a	NA	2,88 a

Lettere diverse corrispondono a medie statisticamente differenti per $p \leq 0,05$ (Test HSD)

Tabella 21 - Media dei valori di score (Sq) dello spade test determinati per i tre sistemi colturali a confronto nella prova SMOCA. Valore medio assegnato ad ogni strato individuato (ST1, ST2, ST3 e ST4 in senso crescente di profondità) con la prova della vanga e score del profilo totale



Figura 25 – Profili di prova della vanga su PER (sinistra), RED (centro) e ORG (destra)

I valori del QBS ci mostrano come relativamente pochi gruppi abbiano determinato una forte influenza sul valore finale del QBS.

Alcuni gruppi sono risultati molto abbondanti e sono stati riscontrati su tutte le parcelle o quasi:

- Acari
- Collemboli
- Larve di dittero
- Larve di altri olometaboli (Per la maggior parte coleotteri)
- Imenotteri
- Emitteri
- Coleotteri

Mentre gli altri gruppi, meno abbondanti, sono stati osservati solo in alcuni casi:

- Chilopodi
- Sinfili
- Diplopodi
- Isopodi

- Araneidi
- Tisanotteri
- Dipluri
- Proturi

Complessivamente, si è registrata una differenza significativa tra i trattamenti in merito all'indice QBS-ar, con la tesi più conservativa (PER) che ha fatto osservare un valore maggiore del 47% rispetto a quello delle altre due tesi, che invece non si sono differenziate tra loro.

TESI	QBS-ar
PER	106,33 ($\pm 6,93$) a
ORG	68,66 ($\pm 6,93$) b
RED	76,33 ($\pm 6,93$) b

Lettere diverse corrispondono a medie statisticamente differenti per $p \leq 0,05$ (Test HSD)

Tabella 22 - Media (\pm errore standard) dei valori QBS-ar determinati per i tre sistemi colturali a confronto nella prova SMOCA nello strato 0-10 cm.

In sintesi, la maggiore biodiversità edafica dimostrata dall'indice QBS-ar, unita all'elevato contenuto in P Olsen, ci rivela come nei primi 10 cm della tesi PER si siano realizzate delle condizioni favorevoli ad una maggiore attività biologica, in particolare a carico di organismi come i microartropodi e i funghi micorrizici, che notoriamente soffrono il disturbo eccessivo prodotto all'habitat edafico dalle lavorazioni del terreno. La breve durata della sperimentazione SMOCA e lo scarso sviluppo del living mulch, che svolgeva un ruolo pivotale nell'efficienza agroecologica del sistema PER, hanno tuttavia impedito di evidenziare miglioramenti complessivi a carico delle caratteristiche fisiche e chimiche del suolo, in particolare del sequestro (C stock) di C che rappresenta uno dei servizi agroecosistemici target in agricoltura conservativa. Si evidenzia, quindi, la necessità di approfondire queste tematiche nel quadro di sperimentazioni di più lunga durata e ottimizzate dal punto di vista della gestione del living mulch.

5. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO SPERIMENTALE DI RULLO A LAME COMBINATO CON RULLO A DISCHI LISCI E LAMA SCALZATRICE PER LA TERMINAZIONE DELLE COLTURE DI COPERTURA

Nell'ambito del progetto MEORBICO è stato sviluppato un prototipo di macchina operatrice progettata per una devitalizzazione meccanica ottimale delle cover crop (Figura 26). I rulli a lame comunemente impiegati per la devitalizzazione delle cover crop agiscono solo sulla porzione epigea delle piante, pertanto in alcuni casi si può osservare una ricrescita della vegetazione a partire dalla porzione basale. L'operatrice sviluppata in questo progetto ha la funzione di compiere il taglio dell'apparato radicale della vegetazione presente in loco, impedendo dunque la ricrescita di tali piante. La base di partenza per lo sviluppo del prototipo è stata un rullo a lame Clemens mod. EcoRoll 1500 a cui è stato aggiunto un telaio che sorregge una lama in acciaio ad alta durezza dello spessore di 8 mm con profondità di lavoro regolabile e un rullo dotato di dischi di taglio con un diametro esterno di 385 mm, anch'esso regolabile in altezza (Figura 27).

Il fronte di lavoro di questa operatrice è di 1,5 m, e la velocità di avanzamento si aggira attorno ai 4 km h⁻¹. È stata inoltre realizzata una tramoggia per poter zavorrare il prototipo a seconda delle esigenze in modo da poter aumentare, se necessario, l'efficacia della crimpatura operata dal rullo a lame.



Fig.26 – Prototipo di rullo con lama per la devitalizzazione delle colture di copertura: (a) vista frontale; (b) vista posteriore.



Fig.27 – Vista laterale del prototipo di rullo con lama per la devitalizzazione delle colture di copertura: (a) rullo a lame; (b) rullo a dischi; (c) lama sotto-superficiale.

Dalle prove preliminari effettuate con il prototipo su un terreno coperto da una cover costituita da un miscuglio di orzo e favino è stato possibile verificare l'efficacia del trattamento (Figure 28, 29 e 30).



Fig.28 – Effetto del prototipo di rullo con lama dopo pochi minuti dall'intervento. Notare i primi segni di appassimento della vegetazione.



Fig.29 – Particolare del taglio del fittone radicale ad opera del prototipo di rullo con lama per la devitalizzazione delle colture di copertura.



Fig.30 – Effetto del trattamento con il prototipo di rullo con lama 5 giorni dopo l'intervento. Notare il disseccamento della totalità della vegetazione presente sul fronte di lavoro.

Dopo i primi promettenti risultati ottenuti nel 2021, il prototipo è stato oggetto di una prova sperimentale nel periodo compreso tra maggio e giugno del 2022 con lo scopo di valutare e confrontare l'efficacia di devitalizzazione del prototipo stesso con quella di un rullo allettatore tradizionale.

6.1 Materiali e Metodi

Le specifiche attività sono state condotte presso il Centro Sperimentale "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa, nel periodo maggio-giugno 2022. Il campo utilizzato per allestire il dispositivo sperimentale presentava una copertura omogenea composta da essenze spontanee. La composizione floristica è stata caratterizzata in termini quali-quantitativi immediatamente prima dell'intervento di devitalizzazione. Infatti, sono stati raccolti 3 campioni di biomassa su superficie nota e sono stati effettuati, per ogni parcella 6 rilievi visivi volti a determinare la copertura percentuale delle singole specie che componevano la copertura vegetale da devitalizzare. La prova ha previsto il confronto del nuovo prototipo di rullo provvisto di lama per il taglio sottosuperficiale (realizzato nell'ambito dell'attività del progetto Meorbico) con un rullo a lame di tipo "commerciale", l'Ecoroll Clemens con telaio hexagon, allargabile idraulicamente, che supporta due rulli della larghezza di circa 1,0 m. Questa configurazione permette di variare la larghezza di lavoro del rullo allettatore da un minimo di 1,10 m fino ad un massimo di 1,95 m. Questo rullo allettatore è stato dotato di una zavorra costituita da un serbatoio avente volume pari a 3000 dm³, che una volta riempito di acqua consente di aumentare la massa dell'operatrice fino ad un valore di 950 kg.

L'intervento di devitalizzazione è stato eseguito in data 25/05/2022, adottando una velocità di avanzamento di 4 km h⁻¹ per il prototipo innovativo di rullo allettatore provvisto di lama e di 7 kmh⁻¹ per il rullo Ecoroll Clemens

“commerciale”. Dopo l'intervento di devitalizzazione, sulle parcelle sperimentali sono state individuate tre aree (repliche) su cui sono state acquisite periodicamente immagini digitali della biomassa vegetale allettata e devitalizzata. La cadenza temporale con cui sono stati eseguiti questi rilievi fotografici è stata quotidiana dal 25/05/2022 al 31/05/2022 e a giorni alterni fino al 08/06/2022. Le fotografie digitali ottenute sono state sottoposte ad analisi dell'immagine utilizzando l'applicazione Canopeo su piattaforma Matlab. Questo software per ogni immagine elaborata restituisce il valore in percentuale di pixel verdi calcolata sul numero totale dei pixel che compongono l'immagine. Questi valori percentuali, ottenuti a diverse cadenze temporali dopo il trattamento, possono fornire indicazioni sull'efficacia di devitalizzazione, infatti il colore dei tessuti di una pianta devitalizzata, in cui l'attività fotosintetica dovrebbe essere compromessa, tendono a virare più o meno velocemente verso colori diversi dal verde. I valori percentuali di verde, ottenuti dall'analisi digitale delle immagini raccolte sulle parcelle devitalizzate dalle due tipologie di attrezzature poste a confronto nella prova, sono stati sottoposti a un'analisi statistica con il Software Graphpad Prism, che ha previsto l'uso di una regressione non lineare adottando il seguente modello di decadimento monofasico esponenziale:

$$Y = (Y_0 - \text{Plateau}) \cdot e^{(-kX)} + \text{Plateau}$$

Dove:

- Y = variabile dipendente, ovvero la % di verde della biomassa vegetale allettata e devitalizzata);
- Y_0 = valore della variabile dipendente al tempo 0, ovvero la % di verde della biomassa vegetale allettata e devitalizzata immediatamente dopo il trattamento;
- Plateau = valore asintotico della variabile dipendente, ovvero la % di verde della biomassa vegetale allettata e devitalizzata che si presenterebbe ad un tempo infinito (questo parametro dell'equazione viene stimato dal software per l'analisi statistica);
- X = variabile indipendente, ovvero il tempo (nel nostro caso misurato in giorni dopo l'intervento di devitalizzazione);
- k = costante di decadimento, ovvero una costante stimata dal software per l'analisi statistica che ha come unità di misura l'inverso delle X (nel nostro caso giorni⁻¹);

Il software statistico inoltre calcola i seguenti parametri aggiuntivi:

- tau = costante di tempo calcolata come il reciproco di k, quindi la sua unità di misura è la stessa delle X (giorni);
- Span = differenza tra il valore di Y_0 e quello di Plateau ($Y_0 - \text{Plateau}$).
- Emivita = il tempo (giorni) necessario a raggiungere un livello della variabile dipendente Y (% di verde della biomassa vegetale allettata e devitalizzata) pari alla metà del valore di Span.

6.2 Risultati e discussione

I valori medi del peso secco della copertura vegetale spontanea, raccolti prima della devitalizzazione sulle parcelle sperimentali sui cui poi è stato eseguito il trattamento con le due macchine operatrici poste a confronto nella prova, sono riportati nella tabella 23. Nella tabella 24 sono riportati i valori percentuali delle principali specie che componevano la copertura vegetale spontanea prima dell'intervento di devitalizzazione.

Tipologia di operatrice	Biomassa secca della copertura vegetale spontanea (g m ⁻²)
Rullo innovativo con lama per il taglio sotto-superficiale	337,2 ns
Ecoroll Clemens	348,6 ns

Tabella 23 - valori medi della biomassa della copertura vegetale spontanea prima della devitalizzazione effettuata con le due diverse macchine operatrici poste a confronto, ns nessuna differenza statisticamente significativa (p<0,05) t test a due code.

Genere o Specie	Copertura (%)
<i>Avena spp.</i>	2,5

<i>Convolvulus arvensis</i>	6,2
<i>Lolium spp.</i>	26,5
<i>Pichris echiodes</i>	62,0
<i>Verbena officinalis</i>	1,8
Altre	1,0

Tabella 24 - Composizione floristica in termini di percentuali di copertura della flora spontanea prima della devitalizzazione

Osservando la tabella 23 è possibile evincere come i valori di biomassa secca della copertura vegetale spontanea, relativi alle diverse parcelle sperimentali siano del tutto simili. Il t test a due code (con un livello di significatività del 95%) ha escluso differenze statisticamente significative tra i valori di biomassa secca delle avventizie, che componevano la copertura vegetale spontanea nelle diverse parcelle prima della devitalizzazione. Pertanto, appare lecito affermare che la biomassa epigea della flora spontanea presente prima degli interventi di devitalizzazione era abbastanza omogenea su tutte le differenti parcelle.

La regressione non lineare condotta sui valori di percentuale verde della copertura vegetale spontanea ha preliminarmente evidenziato che c'è un'altissima probabilità che i dati relativi ai due rulli "appartengono" a due curve ben distinte ($P < 0,0001$ test F di Fisher; rapporto tra le varianze $F = 364,3$ con 3 gradi di libertà del numeratore e 60 del denominatore).

I valori riportati in tabella 25 ci consentono di confermare la bontà di adattamento dell'andamento dei valori della percentuale di verde nel tempo della copertura vegetale spontanea (devitalizzata con le due differenti operatrici oggetto del confronto) alle due differenti curve e quindi al modello di decadimento esponenziale monofasico adottato.

	Ecoroll Clemens	Rullo innovativo con lama
Gradi di libertà	30	30
R2	0,981	0,985
R2 corretto	0,979	0,984

Tabella 25 - Gradi di libertà, coefficiente di determinazione e coefficiente di determinazione corretto, per le regressioni effettuate sull'andamento della percentuale di verde nel tempo della copertura vegetale spontanea devitalizzata con le due operatrici oggetto del confronto.

Nella tabella 26 sono riportate le stime (miglior valori di adattamento) dei parametri principali e di alcuni quelli accessori delle due curve di decadimento esponenziale, ottenute dai valori della percentuale di verde della copertura vegetale spontanea, devitalizzata con le due differenti operatrici poste a confronto (Figura).

Parametro	Ecoroll			Rullo innovativo con lama		
	Stima	Li lc 95%	Ls lc 95%	Stima	Li lc 95%	Ls lc 95%
Y0 (%)	85,75	81,82	89,70	85,70	84,76	86,64
Plateau (%)	5,35	2,73	7,81	0,23	-0,11	0,57
k (giorni-1)	0,39	0,34	0,44	1,45	1,40	1,50
Emivita (giorni)	1,80	1,59	2,04	0,48	0,46	0,49

Tabella 26 - Stime dei parametri della regressione non lineare effettuata sui valori nel tempo della percentuale di verde della copertura vegetale spontanea devitalizzata con le due differenti attrezzature poste a confronto. Li lc 95% = limite inferiore dell'intervallo di confidenza della stima al 95%; Ls lc 95% = limite superiore dell'intervallo di confidenza della stima al 95%

Osservando i valori e limiti superiori e inferiori degli intervalli di confidenza della stima del parametro Y0 (ovvero la % di verde della biomassa vegetale allestata e devitalizzata immediatamente dopo il trattamento), si può dedurre che le due attrezzature utilizzate abbiano operato in condizioni di copertura vegetale spontanea simile. Questo supporta ancora una volta il fatto che la distribuzione della copertura di flora spontanea nelle parcelle in cui è stata effettuata la prova era piuttosto omogenea.

Per quanto riguarda la stima del parametro Plateau (ovvero la % di verde della biomassa vegetale allettata e devitalizzata che si presenterebbe ad un tempo infinito) relativo alla curva di regressione non lineare del rullo innovativo con lama si osserva un valore prossimo allo (0,23%), inoltre, ponendo attenzione ai limiti superiori e inferiori degli intervalli di confidenza della stima di questo parametro, si evince che con una probabilità non inferiore al 95%, da un punto di vista statistico il valore stimato non si discosta significativamente dal valore 0%. Ciò porterebbe a ipotizzare una maggiore efficacia, in termini di devitalizzazione, del prototipo innovativo provvisto di lama rispetto al rullo Ecoroll, la cui stima del medesimo parametro si attesta su valori di 5,35% (Figura 31). Prendendo in esame i valori delle stime e gli intervalli di confidenza al 95% del parametro k (costante di decadimento esponenziale monofasico) delle curve di devitalizzazione della copertura vegetale spontanea ottenute per le due operatrici, si evince come il prototipo di rullo innovativo con lama consenta di ottenere una devitalizzazione della copertura vegetale più rapida rispetto all'Ecoroll, infatti, la stima del valore della costante di decadimento k del primo è, in valore assoluto, statisticamente superiori a quello del secondo. Tutto ciò trova un'ovvia conferma osservando il valore dell'emivita che nel caso del prototipo realizzato risultano essere 3,75 volte inferiori a quello dell'Ecoroll.

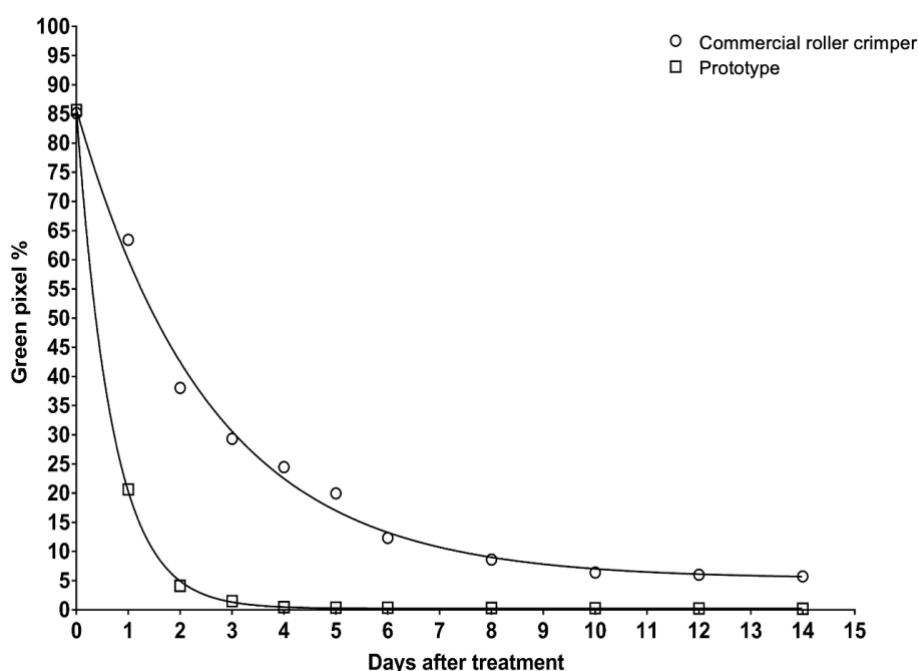


Figura 31 – Curve di regressione monofasica, esponenziale, non lineare della percentuale di pixel verdi nelle immagini vegetali della biomassa vegetale effettuate 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 e 14 giorni dopo il passaggio delle due attrezzature per la terminazione.

7- DISSEMINAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI ED EVENTI DIVULGATIVI

Come già più volte ricordato in questa relazione finale, le attività di divulgazione e di disseminazione dei risultati, previste dal progetto (WP4), sono state “obtorto collo” drasticamente ridotte a causa delle pesanti restrizioni imposte dalla pandemia da Covid-19 nel biennio 2020-2021, nonostante sia stato possibile, oltre a effettuare, come previsto, i periodici incontri con l’agricoltore coinvolto nel progetto e quelli tra i 3 partner, organizzare alcuni “mini field days” informali, in occasione degli interventi con le macchine innovative sia presso l’azienda Pasquini a Suvereto che presso il CiRAA a San Piero a Grado (Pisa) con un numero ridotto di partecipanti (agricoltori e tecnici), in modo tale da evitare assembramenti e di mantenere il distanziamento sociale previsto dalle normative anti-covid .

Per questo si è resa necessaria la richiesta di proroga di 6 mesi in modo da poter realizzare gli eventi divulgativi e di disseminazione (congressi, seminari, field days, etc.) previsti dal progetto MEORBICO in modo esaustivo e tale da consentire una diffusione capillare dei risultati ottenuti tra gli stakeholder (ricercatori, agricoltori, tecnici, imprese agro-meccaniche, etc.) e rendere così possibile in tempi contenuti l’adozione delle strategie e delle macchine innovative per la gestione conservativa da parte delle imprese orticole biologiche.

Al riguardo è stato organizzato un webinar (che ha avuto luogo in modalità a distanza sulla piattaforma teams il 23 aprile 2021) in cui è stato presentato il progetto e sono stati illustrati i risultati ottenuti nel primo anno. L'evento ha previsto anche interventi programmati nei quali sono stati affrontate anche le tematiche relative alla nuova PAC, al "green deal" e alla strategia "farm to fork" e ha riscosso un ottimo successo sia in termine di numero di partecipanti (che sono stati più di 100), che di manifestazioni di interesse e di endorsement da parte sia dei ricercatori che dei tecnici e degli agricoltori che hanno seguito il webinar. In ogni caso si riporta anche il link per accedere alla registrazione dell'evento che si trova sul canale youtube del DiSAAA-a (<https://www.youtube.com/watch?v=3gALHwF1VNM>).

Inoltre è stato presentato un contributo dal titolo "Strategies and innovative machines for conservative management in organic horticulture: the MEORBICO research project" (in cui sono stati divulgati i principali risultati ottenuti nel progetto nel biennio) al webinar "180 years of excellence in Agricultural Sciences in Pisa: the state of research today", organizzato dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali dell'Università di Pisa in occasione del 180° anno dalla sua fondazione, che ha avuto luogo il 29 ottobre 2021 e il 1 dicembre 2022 è stata presentata una relazione al webinar "*Il pomodoro da industria in produzione biologica: tecniche di prevenzione e difesa*", organizzato dal Settore Fitosanitario e difesa delle produzioni della Regione Emilia-Romagna, in cui sono stati presentati i principali risultati ottenuti nel progetto MEORBICO.

Infine, nel mese di gennaio del 2023 avrà luogo un webinar di fine progetto in cui saranno presentati e discussi i risultati complessivi ottenuti nel progetto MEORBICO e al quale sono previsti due interventi di ricercatori del Rodale Institute fondato dall'imprenditore biologico J.I. Rodale nel 1947 in Pennsylvania (USA), per allargare la riflessione sulla coniugazione di agricoltura biologica e conservativa anche oltre i confini dell'UE e per collegare il contesto delle pratiche conservative anche al disciplinare dell'agricoltura organica rigenerativa.

Oltre all'organizzazione e alla partecipazione a questi eventi, sono stati realizzati manuali relativi alla gestione biologica e conservativa del pomodoro destinati a ricercatori, tecnici e ovviamente anche agli agricoltori.

L'U.O. 2 (CiRAA) ha curato la realizzazione di due prodotti a carattere tecnico-divulgativo per favorire il trasferimento tecnologico dell'innovazione affrontata sperimentalmente in MEORBICO, ossia la gestione con tecniche di agricoltura Le "Linee Guida per la Gestione Conservativa di Sistemi Orticoli Biologici" sono state realizzate con l'intento di offrire al contempo sia una panoramica generale sulle colture di copertura sia un approfondimento del loro specifico utilizzo nei sistemi orticoli biologici. La loro struttura si articola su di un percorso che passo dopo passo analizza i singoli aspetti che concorrono alla scelta e alla gestione delle cover crops. Gli argomenti trattati possono così essere schematizzati: Servizi ecosistemici forniti dalle cover crops; Criteri di scelta di una cover crop; Avvicendamenti Colturali e Cover Crop nell'orticoltura di pieno campo; Semina di una cover crop; Miscugli di cover crop; Miscugli di cover crops per l'orticoltura di pieno campo; Pratiche di gestione intermedia delle cover crop; Terminazione delle cover crop; Living mulch; Meccanizzazione nella coltivazione delle cover crop.

Le "Schede Tecniche delle Colture di Copertura" vanno ad integrare le informazioni fornite dalle "Linee Guida" offrendo in aggiunta una panoramica delle principali cover crops utilizzate in areale mediterraneo e riassumendo, all'interno di ciascuna scheda, le loro principali caratteristiche. Le schede tecniche delle colture di copertura sono state suddivise per famiglia botanica di appartenenza (Leguminose, Graminacee, Crucifere, Composite, Polygonacee, Hydrophyllacee, Linacee), all'interno di ciascuna famiglia sono state selezionate specie sia a semina autunnale/invernale che primaverile/estiva, e le caratteristiche riportate sinteticamente sono: Inquadramento tassonomico; Caratteristiche Bio-Ecologiche; Aspetti agronomici.

"Linee Guida" e "Schede Tecniche" rappresentano quindi un supporto tecnico e scientifico la cui finalità è quella di indirizzare l'agricoltore verso la scelta di colture di copertura adatte alle specifiche esigenze e l'adozione di tecniche agronomiche che ne valorizzino le loro potenzialità.

I risultati ottenuti saranno riportati anche in pubblicazioni scientifiche che verranno sottomesse a riviste scientifiche internazionali indicizzate Scopus e WoS e che saranno, se accettate e pubblicate, inviate al MiPAAF e riporteranno comunque chiaramente la fonte del finanziamento e il Progetto MEORBICO. Alcuni di questi manoscritti sono attualmente in fase di realizzazione.

Come Coordinatore Nazionale mi ritengo infine decisamente soddisfatto delle attività di ricerca svolte nell'ambito del Progetto MEORBICO, nonostante le innumerevoli difficoltà create dalla pandemia e dai suoi effetti devastanti e posso affermare che le attività di coordinamento, di condivisione e di collaborazione tra i partner sono state comunque efficaci e hanno portato a ottenere risultati molto promettenti, che auspico potranno avere una ricaduta positiva e importante sul comparto orticolo, rendendo disponibili conoscenze sulle strategie e sulle

macchine innovative disponibili per una gestione conservativa dell'orticoltura biologica che potranno trovare in tempi ragionevoli applicazioni pratiche di larga scala.

Pisa, 15 dicembre 2022

Il Coordinatore Nazionale del Progetto

Prof. Andrea Peruzzi

Firmato digitalmente