



**Primo report annuale (secondo semestrale) del
progetto di ricerca**

**“MEccanizzazione dell’ORticoltura Biologica e
COnservativa”**

Acronimo “MEORBICO”

**finanziato dal MiPAAF con Decreto del 19 dicembre
2019**

Periodo: Gennaio 2020 – Gennaio 2021

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) DESCRIZIONE DEL PROGETTO MEORBICO

1.1 Descrizione del progetto e articolazione delle attività

La conservazione/incremento della fertilità del terreno è un obiettivo fondamentale di tutti i sistemi agricoli sostenibili e in particolare dei sistemi basati sui principi dell'Agricoltura Biologica (AB) e dell'Agricoltura Conservativa (AC) [Peigné J., Ball C., Roger-Estrade, J., & David, C. (2015). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil use and management*, 23: 289-333]. Mentre la prima persegue questo obiettivo privilegiando gli apporti di materiali organici al terreno (concimi organici, ammendanti e meno frequentemente sovesci), la seconda privilegia la riduzione della mineralizzazione e il mantenimento della copertura vegetale del terreno (attraverso lavorazioni minime o non lavorazione del terreno). Le due strategie producono entrambe apprezzabili effetti positivi sulla fertilità del terreno ma con tempi diversi: più brevi nel caso della AC e più lunghi nel caso della AB. Sarebbe quindi utile sfruttare l'effetto sinergico delle due strategie applicando le tecniche di AC nell'ambito dei sistemi biologici, in particolare di quelli che prevedono un uso più intensivo del suolo come i sistemi orticoli caratterizzati da lavorazioni frequenti del terreno e scarsi apporti di residui colturali [Raviv, M., 2010. Sustainability of organic farming. In: Janick, J. (Ed.), *Horticultural Reviews*, vol. 36, pp. 289–333]. Un limite a questa opportunità è dato dalla difficoltà di controllare la flora infestante non lavorando in modo significativo il terreno e così facendo di non ottenere un adeguato interrimento dei concimi organici. Una soluzione a queste problematiche potrebbe giungere da un adeguato impiego di colture di copertura (cover crop) in grado di (i) contrastare lo sviluppo della flora infestante sia nel periodo interculturale sia durante la coltivazione della specie da reddito e (ii) migliorare la disponibilità di nutrienti per le colture in successione anche sviluppando nuovi servizi agroecosistemici riconducibili all'aumento della biodiversità funzionale del sistema. Questa tematica è già stata oggetto di studio da parte di gruppi di ricerca nazionali e internazionali che hanno evidenziato come l'effetto delle colture di copertura sia dipendente dalla scelta delle specie (cover crop e coltura da reddito), dalle strategie di gestione (devitalizzazione o meno della cover crop prima dell'impianto della coltura da reddito) e dalla disponibilità di attrezzature meccaniche idonee alla gestione innovativa delle colture di copertura, del trapianto delle orticole su terreno non lavorato e in presenza di copertura vegetale [Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., Caporali, F. (2010). Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Crop Protection*, Volume 29(4): 354-363].

1.2 Obiettivi del progetto

In relazione alla natura multidisciplinare del Progetto derivante dalla complessità del sistema oggetto della ricerca, gli obiettivi sono stati diversificati e possono essere riassunti come di seguito:

1. definizione di sistemi di gestione del terreno e delle colture di copertura, destinati alla coltura del pomodoro da industria, basati sui principi dell'Agricoltura Biologica e dell'Agricoltura Conservativa;
2. ottimizzazione delle macchine per la gestione di tali sistemi;
3. analisi agronomica e gestionale dell'impiego delle tecniche di cui sopra;
4. analisi agro-ecologica della biodiversità funzionale per l'ottimizzazione della fornitura di servizi agro-eco-sistemici all'interno dei diversi sistemi gestionali;
5. analisi delle variazioni di lungo periodo della fertilità del terreno attribuibili all'applicazione di tecniche conservative abbinate all'impiego di cover crop;
6. divulgazione dei risultati.

Gli obiettivi di cui sopra hanno iniziato a essere perseguiti nel 2020 da un gruppo di ricerca che da anni collabora in progetti finalizzati allo studio delle problematiche inerenti all'Agricoltura Biologica e l'Agricoltura Conservativa.

All'interno del gruppo sono presenti competenze nel settore della Meccanica e Meccanizzazione Agraria (gruppo coordinato dal prof. Andrea Peruzzi - Università di Pisa), dell'Agronomia generale e delle Coltivazioni erbacee (gruppo coordinato dal prof. Marco Mazzoncini - Università di Pisa), dell'Agro-ecologia e Malerbologia (gruppo coordinato dal prof. Paolo Barberi - Scuola Sant'Anna di Pisa). Sotto la guida del Coordinatore (prof. Peruzzi) i vari gruppi di ricerca hanno iniziato a lavorare, ognuno per le proprie competenze, ma con un approccio interdisciplinare, al raggiungimento degli obiettivi di cui sopra che comprendono anche una

efficace divulgazione dei risultati, che è stata però purtroppo pesantemente condizionata dalla pandemia da Covid-19 e dai lunghi periodi di lockdown. Per questo il Coordinatore, di comune accordo con i responsabili delle altre due UU.OO, chiederà al Ministero una proroga di 6 mesi del progetto, in modo da poter mettere in atto una efficace e capillare opera di disseminazione delle conoscenze acquisite e dei risultati ottenuti, che permetta la diffusione delle strategie e delle macchine innovative per la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria.

1.3 Grado di innovazione tecnico-scientifica

Il Progetto sta affrontando una tematica di notevole interesse nell'ambito della ricerca scientifica internazionale anche per i suoi risvolti ambientali connessi al contenimento del "global warming". Sia l'Agricoltura Conservativa che l'Agricoltura Biologica vengono infatti considerati importanti strumenti di mitigazione dell'effetto serra grazie alla riduzione delle emissioni dirette e indirette e al sequestro del carbonio nel terreno sotto forma di sostanza organica a esse riconducibili. Purtroppo, se a livello internazionale gli studi tendono a evidenziare l'interazione positiva tra queste due tecniche si stanno sviluppando con una certa rapidità, in Italia, esperienze su queste tematiche sono ancora sporadiche e occasionali. Appare quindi di notevole interesse per l'Agricoltura italiana (e quella biologica in particolare) poter disporre di risultati su queste problematiche anche ai fini di una loro possibile utilizzazione a supporto di scelte di politica agricola (PSR).

Di concerto con quanto sopra esposto 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 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 (con coinvolgimento delle tre U.O. e in attuazione delle attività previste in sede progettuale nel WP1, nel WP2 e nel WP3).

Le strategie iniziali di coltivazione sono state definite con approccio partecipativo tra i partner e l'Azienda agricola Pasquini di Suvereto (LI) che ospita la ricerca ed hanno previsto il confronto sperimentale tra le seguenti modalità di gestione: 1) sistema aziendale: lavorazione convenzionale (discissura profonda e successivi passaggi con coltivatore pesante e con erpice rotante) e trapianto su bio-telo cui è stato demandato anche il controllo della flora spontanea; 2) sistema innovativo: impianto di una cover crop (mix di orzo e veccia) con una seminatrice a righe combinata con un erpice rotante dotato di rullo packer dopo la lavorazione superficiale del terreno con coltivatore combinato equipaggiato con ancore rigide dotate di utensile "twist", coppie di dischi sovesciatori e rullo sottocompressore e successivo trapianto dopo la trinciatura e il sovescio della cover mediante minima lavorazione effettuata con il medesimo coltivatore combinato. In questo caso il controllo delle infestanti è stato attuato mediante realizzazione della falsa semina con un erpice a dischi attivi progettato e realizzato presso l'Università di Pisa e successivi interventi con una sarchiatrice di precisione, equipaggiata con utensili rigidi per la gestione dell'interfila e dell'inter-bina e con torsion weeder per la gestione della fila, progettata e realizzata presso l'Università di Pisa (sistema innovativo 1) cui sono stati associati anche trattamenti termici con pirodiserbo effettuati con una operatrice appositamente realizzata dalla ditta MAITO sulla base delle specifiche tecniche dei prototipi precedentemente progettati e costruiti presso l'Università di Pisa (sistema innovativo 2). Oltre ai due sistemi precedentemente descritti sono stati anche testati due sistemi "misti": il sistema misto 1 che ha previsto una gestione del terreno identica a quella attuata nel sistema aziendale, il trapianto su terreno nudo e il controllo della flora spontanea mediante falsa semina e sarchiature di precisione (come nel sistema innovativo 1); il sistema misto 2 che invece ha previsto la gestione del terreno identica a quella del sistema innovativo e il trapianto su biotelo (come nel sistema aziendale). Una descrizione più dettagliata della ricerca "on farm", inclusa la metodologia adottata, i rilevamenti effettuati e i principali risultati ottenuti nel primo anno di sperimentazione è riportata nel paragrafo 2.

L'incertezza sul finanziamento del progetto ha di fatto determinato l'impossibilità del coinvolgimento dell'azienda agricola e della realizzazione di qualsiasi attività fino al 14 gennaio 2020, data nella quale mi è stato comunicato, in qualità di Coordinatore Nazionale, l'approvazione definitiva del finanziamento del progetto dopo registrazione del Decreto Ministeriale 89238 del 19-12-2019. In considerazione di tutto questo, la decisione dei

responsabili delle 3 UU.OO coinvolte (e dei WP 1, 2, e 3) è stata quella di realizzare una prova parcellare on-station (presso il Centro di Ricerche Agro-Ambientali “Enrico Avanzi” dell’Università di Pisa), in parallelo a quella di pieno campo on-farm, 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 falsa semina con erpice a dischi attivi e interventi di sarchiatura di precisione e di pirodiserbo, 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). Le attività di ricerca della prova on-station hanno avuto inizio nel mese di settembre del 2019 con la lavorazione superficiale del terreno con il coltivatore combinato (a 20 cm di profondità nel caso del sistema standard e a 10 cm di profondità nel caso del sistema innovativo), seguita dalla semina delle cover crop con seminatrice a righe priva di assolcatori combinata con erpice rotante equipaggiato con rullo packer. Le tipologie di copertura del terreno sono state 4 in entrambi i sistemi: controllo privo di coltura di copertura, segale in purezza (180 kg/ha), trifoglio squaroso in purezza (50 kg/ha), miscuglio al 50% delle dosi utilizzate in purezza tra trifoglio squaroso (25 kg/ha) e segale (80 kg/ha). Nella gestione standard la cover crop è stata sovesciata, previa trinciatura, effettuando un doppio intervento con zappatrice rotativa, mentre in quella innovativa la cover è stata devitalizzata mediante un primo passaggio con rullo a lame (modello Clemens Eco-roll®) e un secondo passaggio con l’operatrice per il pirodiserbo della ditta MAITO. Successivamente è stato effettuato il trapianto a fila singola del pomodoro utilizzando una trapiantatrice innovativa realizzata presso l’Università di Pisa in grado di operare in modo appropriato ed efficiente, in base all’allestimento adottato, su terreno sia lavorato che sodo. La descrizione dettagliata della ricerca “on station”, inclusa la metodologia adottata, i rilievi effettuati, le modalità applicative e gestionali e la sua articolazione sono riportate dettagliatamente nel paragrafo 3.

La gestione degli esperimenti realizzata nel primo anno 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, nonché il calcolo di tutti i costi variabili sostenuti (operazioni, combustibile, manodopera e mezzi tecnici), al fine di poter confrontare i diversi sistemi adottati in termini tecnico-economici e di performance complessive delle singole macchine. Sono state inoltre effettuate valutazioni sulla biomassa delle cover crop. Sempre per poter confrontare i diversi sistemi sono stati effettuati rilievi specifici sulla densità della flora spontanea durante il ciclo produttivo del pomodoro (i cui risultati sono riportati nei paragrafi 2 e 3). In fase di raccolta del pomodoro sono stati effettuati rilievi che hanno consentito di confrontare le rese in bacche fresche e la biomassa delle infestanti che hanno consentito di poter confrontare i sistemi adottati nella prova “on farm” e in quella “on station” in termini di prestazioni agronomiche complessive. Infine, sulla base dei risultati produttivi e dei costi variabili totali (CV) sono state calcolate anche le performance economiche dei sistemi a confronto come la Produzione Lorda Vendibile (PLV) e Reddito Lordo (dato dalla differenza tra PLV e CV). La discussione dei risultati di entrambe le prove sono riportate nel paragrafo 4.

Tutte le macchine innovative (i.e. coltivatore combinato, erpice a dischi attivi, rulli a lame, operatrice per il pirodiserbo, trapiantatrici da sodo) utilizzate sono state ottimizzate (allestimento, regolazioni, etc.) e sono già state in parte adottate anche nel secondo anno di sperimentazione (lavorazione superficiale del terreno con coltivatore combinato e semina delle cover crop attuata sia nella prova on farm che in quella on station nel mese di ottobre del 2020). Alla fine del secondo anno di ricerca, sarà quindi possibile valutare in modo rigoroso le performance complessive delle macchine e delle strategie adottate sia nella prova on farm che in quella on station. Alla fine del biennio, sarà inoltre possibile quantificare le ricadute agronomiche delle strategie innovative, i servizi agro-eco-sistemici chiave e l’effetto sulla flora infestante, valorizzando anche i risultati di lungo periodo derivanti da altre prove on-station di lunga durata (paragrafo 5). Queste ultime attività, di competenza delle UU.OO. 2 e 3, e relative alle WP 2 e 3, hanno subito un forte ritardo a causa delle problematiche legate alla pandemia da Covid-19 (lungi periodi di lockdown parziale e totale, chiusura delle strutture a causa di contagi e conseguenti periodi di quarantene, etc.) e costituiscono una delle motivazioni per le quali il sottoscritto, congiuntamente con i responsabili delle altre due UU.OO coinvolte, ha già richiesto una proroga di 6 mesi della data di fine progetto, che consentirà di portare a termine in modo appropriato anche questa parte importante della ricerca prevista da MEORBICO.

2) PROVA ON-FARM: CONFRONTO TRA DIVERSE TECNICHE COLTURALI DEL POMODORO DA INDUSTRIA

2.1 Fase istruttoria iniziale e coinvolgimento dell'agricoltore

Dopo aver incontrato più volte l'agricoltore, Alessandro Pasquini, la decisione comune è stata quella strutturare la sperimentazione come già descritto nel precedente paragrafo.

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, dei trattamenti e del sito sperimentale

La superficie aziendale destinata alla prova sperimentale ha coinciso, obtorto collo, con l'unico appezzamento che l'agricoltore non aveva ancora lavorato in previsione della coltivazione del pomodoro (Figura 1) ed è stata divisa in due parti. La tesi innovativa (in fucsia) occupa una porzione dell'appezzamento pari a 12 metri di larghezza per l'intera lunghezza del campo (circa 3500 m²), mentre la tesi aziendale (in giallo) occupa il resto del campo (circa 4500 m²). Tra le due tesi non è presente alcuna separazione.

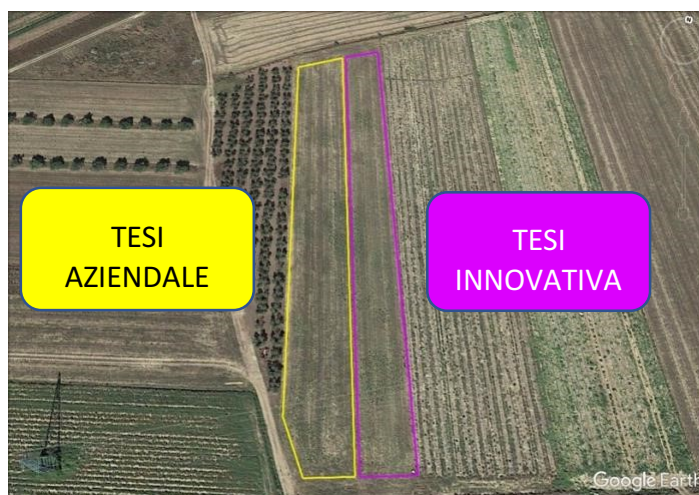


Fig. 1 – veduta della superficie occupata dalla prova sperimentale on farm presso l'azienda agricola Pasquini e Ridolfo di Suvereto (LI). Fonte: Google.

In definitiva, il layout sperimentale ha previsto il confronto tra 5 diverse tesi:

1 - la gestione convenzionale aziendale che ha previsto l'effettuazione di lavorazioni molto profonde con subsoiler e 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 (avvenuto molto tardivamente rispetto a quanto sarebbe accaduto in condizioni “normali”) 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;

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 "misto 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 differiscono per aspetti della tecnica colturale che riguardano la gestione del suolo e il controllo delle infestanti. Per quanto riguarda gli altri aspetti della tecnica colturale (sesto di impianto, fertilizzazione, difesa fitosanitaria, irrigazione) la gestione è stata analoga in tutti i sistemi a confronto, in modo da evidenziare gli eventuali effetti dovuti all'impiego di un approccio conservativo del suolo.

Il sesto di impianto adottato ha previsto il trapianto di pomodori su file binate con una distanza di 1,5 m tra i centri delle bine, una distanza tra le file di poco meno di 40 cm e una distanza delle piante sulla fila pari a 40 cm.

Il sistema di irrigazione adottato per il pomodoro è stato della tipologia a goccia con manichetta gocciolante posizionata al centro della bina con una portata oraria di 3,6 L min⁻¹, con turni di irrigazione della durata di 6 ore a cadenza di 4 giorni.

La fertilizzazione è stata frazionata in più interventi:

- fertilizzazione di fondo pre-trapianto a spaglio con "Guanito" di Italtopolina (6-15-0) con dose di 1,5 t ha⁻¹ (27/05/2020);
- fertilizzazione localizzata al trapianto con "Top N" della Cifo (13-0-0) alla dose di 150 kg ha⁻¹ e "Umstart bios" di Sipcam Italia (7-5-0) alla dose di 100 kg ha⁻¹ (03/06/2020);
- fertirrigazione con 20 L di "Azomin" di Cifo (5-0-0) per ogni turno di irrigazione (dal 20/06/2020 al 20/07/2020).

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 sono stati:

- 2 trattamenti (dal 20/06/2020 al 04/07/2020) con ossicloruro di rame (1,6 kg ha⁻¹) e *Bacillus thuringiensis* (1 kg ha⁻¹);
- 2 trattamenti (dal 11/07/2020 al 27/07/2020) con ossicloruro di rame (1,6 kg ha⁻¹) e *Bacillus thuringiensis* (1 kg ha⁻¹);
- 1 trattamento (29/7/2020) con ossicloruro di rame (1,6 kg ha⁻¹) e Spinosad ("Tracer" della Basf, 1 L ha⁻¹).

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.

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 vocato alla 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, ha fatto sì che si formasse una spessa crosta superficiale, a seguito di eventi piovosi di media-elevata intensità, che ha condizionato fortemente l'affrancamento e il corretto sviluppo del pomodoro da industria.

pH	cond.	N tot	s.o.	P Olsen	K scamb	Calcare Totale	Calcare 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 e Ridolfo di Suvereto (LI).

Queste caratteristiche sono state purtroppo peggiorate dalle condizioni climatiche che si sono verificate nella zona in cui si trova l'azienda dall'inizio della prova sperimentale (febbraio 2020). I dati meteorologici, mostrati graficamente nelle Figure 3 e 4, sono stati rilevati dall'archivio storico del SIR Toscana (Servizio Idrologico Regionale) per la stazione di Suvereto. In particolare, in Figura 3 sono riportati, in mm, i cumulati mensili medi del poliennio 2000-2018, i cumulati mensili del 2020 e i cumulati giornalieri per gli eventi piovosi di maggior interesse per lo svolgimento della prova. In Figura 4 sono riportate le medie delle temperature massime e minime mensili del poliennio 2000-2018 confrontate con quelle dell'anno 2020. Come è possibile realizzare osservando la Figura 3, i mesi di Febbraio, Marzo e Aprile sono stati caratterizzati da piovosità inferiori rispetto alla media del poliennio. Questo periodo con scarse precipitazioni è stato seguito da eventi piovosi concentrati e intensi. Il 20/04/2020 e il 19/05/2020 due eventi piovosi di elevata intensità hanno determinato, sul terreno non coperto da vegetazione, la formazione di una spessa crosta superficiale che ha condizionato la gestione delle lavorazioni di preparazione del letto di semina e di controllo preventivo delle infestanti (falsa semina). Un altro evento piovoso rilevante (23,2 mm) è avvenuto in data 11/06/2020, pochi giorni dopo il trapianto del pomodoro. Anche questo evento, sul terreno in cui non è stata utilizzata la pacciamatura in mater-bi, precedentemente lavorato con erpice rotante, ha provocato una destrutturazione degli aggregati del terreno con conseguente formazione di una importante crosta superficiale (Figura 2), rimossa poi con interventi di sarchiatura, che ha condizionato negativamente il corretto accrescimento delle piante nelle prime fasi di sviluppo. Questa situazione pedoclimatica ha decisamente enfatizzato i vantaggi della pacciamatura in mater-bi rispetto al terreno nudo per la conservazione e l'efficienza di utilizzo della risorsa idrica del suolo.



Fig. 2 – Spessa crosta superficiale formatasi in seguito ad un evento piovoso di elevata intensità.

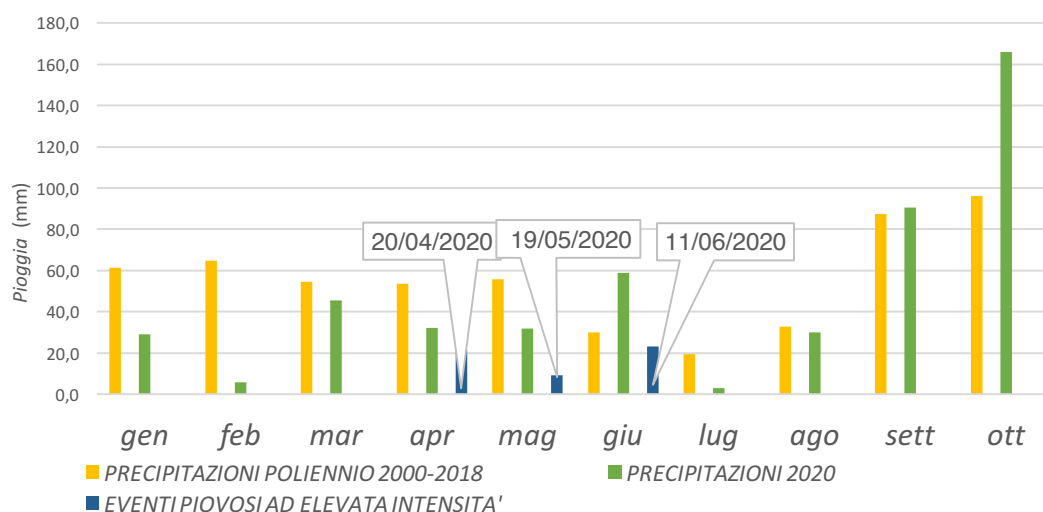


Fig. 3 - grafico delle precipitazioni nel comune di Suvereto (<http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>)

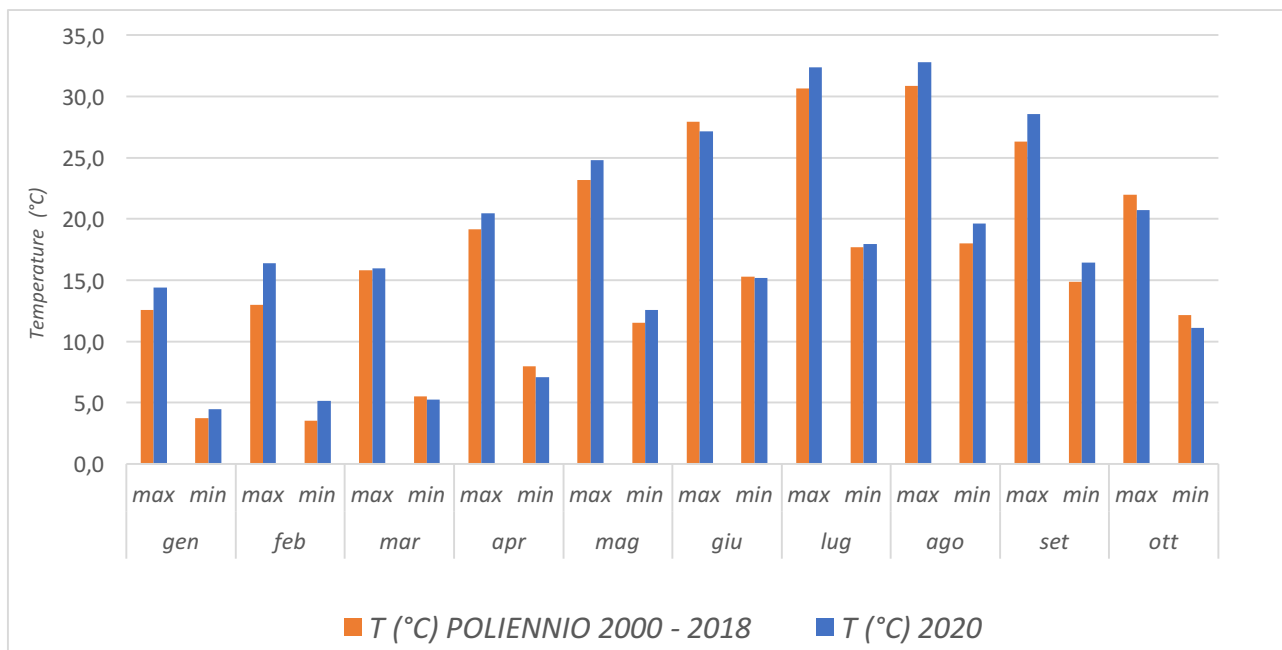


Fig. 4 – grafico delle temperature nel comune di Suvereto (<http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete>).

Itinerario tecnico aziendale (Figura 5)

Questo itinerario tecnico è quello comunemente adottato in azienda. La tecnica colturale ha previsto:

- Discissura del terreno con subsoiler a una profondità di 50 cm (14/02/2020);
- Passaggio con coltivatore pesante a una profondità di 30 cm (21/02/2020);
- Intervento per l'affinamento del terreno effettuato alla profondità di 15 cm con un erpice rotante equipaggiato con rullo packer (13/05/2020);
- 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 (19/05/2020);
- Trapianto con stesura di telo pacciamante biodegradabile (Mater-Bi) (3/06/2020);
- Due interventi di sarchiatura della zona di terreno tra le bine non pacciamata effettuata con una sarchiatrice "artigianale" realizzata in azienda, equipaggiata con 2 coppie di 4 ancore elastiche (6/06/2020 e 8/07/2020);
- Intervento di scerbatura manuale effettuato con 5 operatori (22/07/2020).



Fig. 5 - Parcelle dell'itinerario tecnico aziendale a circa 20 giorni dal trapianto del pomodoro

Itinerario tecnico "innovativo" 1 (Figura 6)

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 accestimento.

Nello specifico le operazioni effettuate sono state:

- Lavorazione con coltivatore combinato alla profondità di 20 cm (14/02/2020);
- 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 (14/02/2020);
- Trinciatura della coltura di copertura e interrimento del sovescio mediante coltivatore combinato alla profondità di 20 cm (18/05/2020, a distanza di appena 94 giorni dalla semina);
- Intervento con erpice rotante a una profondità di 15 cm, reso necessario per rompere la crosta superficiale che si era venuta a creare a causa di un'intensa precipitazione;
- Due passaggi con erpice a dischi attivi per affinare il terreno e controllare le infestanti emerse (falsa semina) (22 e 29/05/2020);
- Trapianto su terreno nudo (3/06/2020);
- Tre interventi di sarchiatura di precisione (24/06/2020, 1/07/2020 e 8/07/2020);
- Intervento di scerbatura manuale effettuato con 5 operatori (22/07/2020).



Fig. 6 - 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. In questo caso, infatti, sono stati effettuati tre 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 tre 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

Relativamente alle operazioni effettuate negli itinerari che hanno previsto la lavorazione profonda del terreno sono state utilizzate macchine già presenti in azienda e comunemente adottate dall'agricoltore:

- un discissore tipo "subsoiler" avente larghezza di lavoro pari a 2,5 m, equipaggiato con tre ancore diritte di elevato spessore aventi interasse pari a 1 m, che ha operato una scarificazione profonda 50 cm. Le ancore sono anche equipaggiate con un'ogiva terminale per la formazione di un drenaggio temporaneo in corrispondenza della profondità massima di lavoro. L'attrezzo è dotato di sistema di sicurezza meccanico consistente nella presenza di un bullone tarato con chiave dinamometrica che si trancia nel caso venga superato il valore massimo della forza di trazione impostato (Figura 7a);
- un coltivatore pesante tipo "chisel" largo 2,5 m, equipaggiato con 7 ancore rigide disposte a "V" e dotate di largo spessore che ha operato una lavorazione del terreno con sovrizzo e rilevante zollosità residua in superficie fino alla profondità di 30 cm. Anche in questo caso il sistema di sicurezza è costituito da bulloni tarati (Figura 7b);
- un erpice rotante largo 2,5 m equipaggiato con rullo packer che ha operato, nel caso del primo intervento, l'affinamento del terreno non troppo spinto fino alla profondità di 15 cm (Figura 8) e nel caso del secondo passaggio "straordinario" effettuato prima del trapianto, la rottura della crosta superficiale e l'affinamento del terreno sempre fino alla profondità di 15 cm;
- una trapiantatrice a due elementi, con distributori a tazze per il trapianto del pomodoro su file binate distanti circa 40 cm, equipaggiata con un sistema di deposizione della manichetta per l'irrigazione e di stesura del biotelo (Figura 9);
- una sarchiatrice per il controllo della flora spontanea tra le bine realizzata in azienda e costituita da un telaio su cui sono disposti un sistema di guida e un sedile per l'operatore a bordo e due coppie di 4 ancore elastiche "a balestra" che lavorano a cavallo della bina su metà dello spazio interbina (Figura 10).



Fig. 7 – “Subsoiler” a tre ancore diritte dotate di ogiva (a) e coltivatore pesante “chisel” a sette ancore ricurve (b) utilizzati per la lavorazione profonda del terreno nell’itinerario tecnico aziendale.



Fig. 8 – Affinamento del terreno ottenuto mediante il passaggio dell’erpice rotante dopo la lavorazione con il “subsoiler” e con il “chisel” nell’itinerario tecnico aziendale.



Fig. 9 – Trapianto del pomodoro con contemporanea stesura della manichetta per l'irrigazione e del biotelo nell'itinerario tecnico aziendale.



Fig. 10 – Sarchiatrice "artigianale" realizzata in azienda per la lavorazione con controllo meccanico delle infestanti nello spazio tra le bine nell'itinerario tecnico aziendale.

Per quanto riguarda i sistemi che hanno previsto la lavorazione conservativa del terreno è stato utilizzato un coltivatore combinato (fornito dall'Università di Pisa), largo 3 m e costituito da un telaio su cui sono inseriti tre ranghi di ancore rigide dotate di utensile "twist" che operano la discissura del terreno con parziale sovralzo e rimescolamento degli strati. Alle ancore seguono 4 coppie di dischi sovesciatori dentati, regolabili in profondità. Nella parte terminale è presente un rullo sottocompressore costituito da ruote metalliche di diametro rilevante per il pareggiamento, la strutturazione profonda del terreno e la regolazione della profondità di lavoro (Figura 11). L'operatrice che ha operato a una profondità di 20 cm è stata impiegata sia prima della semina della cover crop che per il suo interrimento dopo la trinciatura.

La semina della cover crop è stata realizzata utilizzando l'erpice rotante associato con una seminatrice meccanica larga 2,5 (Figura 12), mentre dopo la trinciatura e l'interrimento della copertura (Figura 13a, 13b e 13c), è stato necessario, in seguito alla formazione di una spessa crosta superficiale (Figura 14), affinare di nuovo il terreno con l'erpice rotante per rendere

possibile l'effettuazione sia della falsa semina con erpice a dischi attivi che del trapianto del pomodoro.



Fig. 11 – Coltivatore combinato utilizzato per la lavorazione ridotta del terreno e per l'interramento della cover crop nell'itinerario tecnico innovativo.



Fig. 12 – Semina della cover crop con seminatrice meccanica associata a erpice rotante nell'itinerario tecnico innovativo.

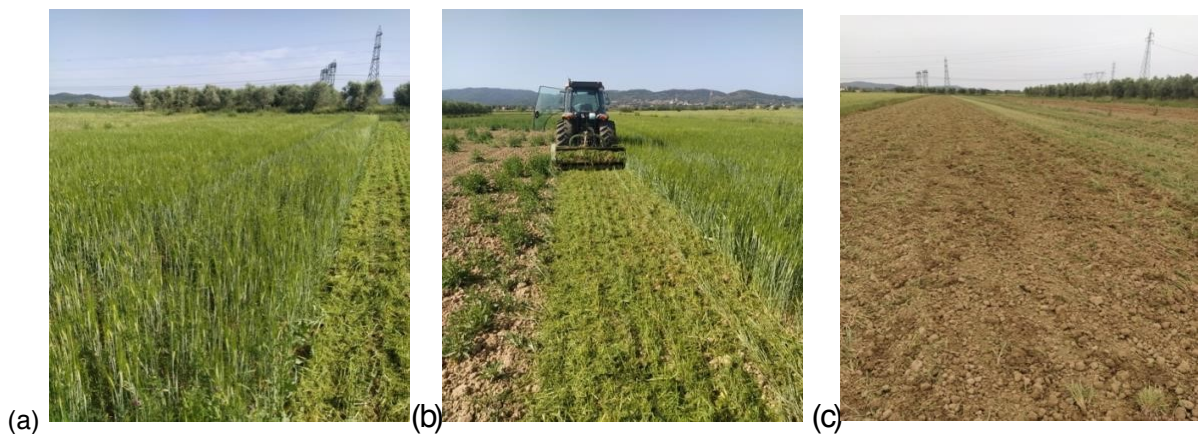


Fig. 13 – Buono sviluppo della cover crop (a) subito prima della trinciatura (b) e dell'interramento attuato con il coltivatore combinato (c) nell'itinerario tecnico innovativo.

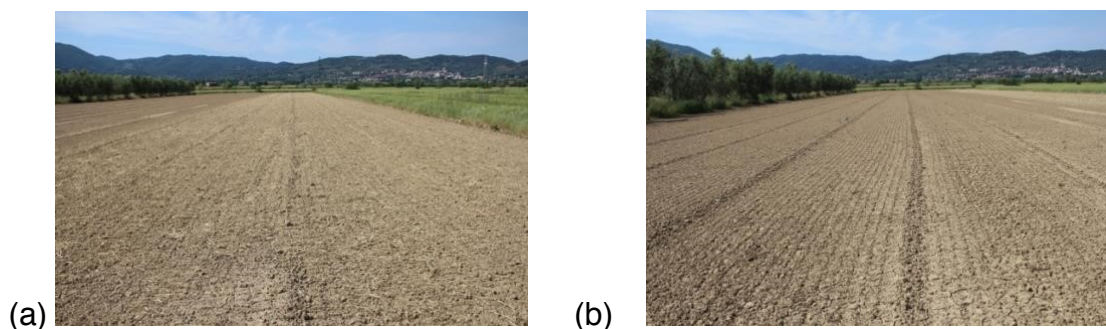


Fig. 14 – Rilevante crosta superficiale causata da una precipitazione molto intensa su terreno precedentemente affinato sia nell'itinerario tecnico innovativo (a) che in quello convenzionale (b).

La falsa semina è stata realizzata mediante due passaggi con erpice a dischi attivi distanziati di circa una settimana (Figura 15). Questa operatrice è larga 2 m ed è equipaggiata con due assi paralleli collegati mediante un moltiplicatore con rapporto di trasmissione pari a 2. Sul primo asse sono disposti dischi a spuntoni che smuovono il terreno fino alla profondità di circa 4 cm e sul secondo asse rulli a gabbia che lavorano più superficialmente e con velocità periferica doppia rispetto a quella dei dischi. La velocità di lavoro è stata elevata (pari a 10 km h^{-1}) in modo da determinare un affinamento spinto del terreno e controllare eventuali infestanti in fase di emergenza. Date la tipologia e le condizioni del terreno, già precedentemente ricordate, il controllo preventivo della flora spontanea che con la falsa semina risulta solitamente abbastanza rilevante, in questo caso è stato purtroppo trascurabile.

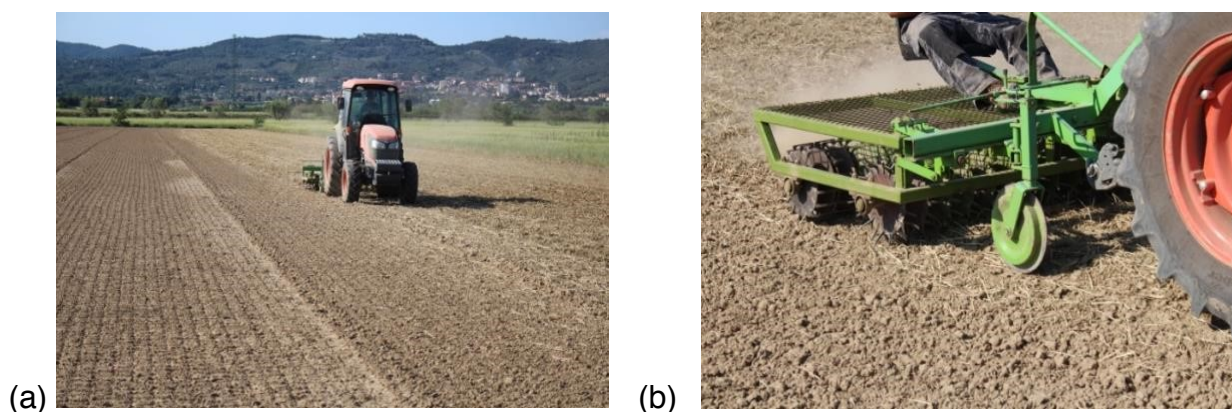


Fig. 15 – (a) Primo intervento di falsa semina con erpice a dischi attivi dopo la rottura della crosta superficiale e l'affinamento del terreno ottenuto mediante un passaggio con erpice rotante nell'itinerario tecnico innovativo; (b) particolare degli organi lavoranti dell'erpice a dischi attivi.

Il trapianto è stato attuato con la stessa macchina agevolatrice a due elementi equipaggiata con distributore a tazze per tutte le tipologie di itinerari tecnici, con la stesura del biotelo in quelle tesi dove previsto (Figura 16). Il cantiere di lavoro per il trapianto su terreno nudo ha previsto la presenza di 4 operatori (1 alla guida del trattore, 2 seduti a bordo dell'operatrice che si occupavano del rifornimento delle tazze con le piantine di pomodoro e 1 che seguiva a piedi, coprendo ogni tanto con il terreno la manichetta per l'irrigazione e sistemando le piante fuori terra o non rincalzate dagli organi lavoranti della trapiantatrice). Nel caso invece del trapianto su biotelo, gli operatori erano complessivamente 8, essendo necessario in questo caso un controllo costante della corretta stesura del film pacciamante e della deposizione e interrimento delle piante, che frequentemente risultavano completamente fuori terra. Questa operazione è risultata pertanto molto più onerosa dal punto di vista dell'impiego di manodopera nel caso del trapianto su biotelo rispetto a quello su terreno nudo.



Fig. 16 – Trapianto del pomodoro con contemporanea stesura della manichetta per l'irrigazione nell'itinerario tecnico innovativo.

La sarchiatrice utilizzata negli itinerari tecnici dove prevista (Figure 17, 18 e 19) è una operatrice caratterizzata da un telaio largo 3 m, sul quale possono essere inseriti fino a un massimo di sette elementi sarchianti, ciascuno costituito da un'ancora rigida centrale equipaggiata con un utensile a zampa d'oca, da una coppia di elementi laterali a squadra ("sweep") e da una coppia di denti elastici per il controllo selettivo delle infestanti sulla fila (utilizzabili come denti vibranti o come diserbatori a torsione o "torsion weeder").

Ogni elemento è dotato di due parallelogrammi articolati, uno per mantenere gli utensili sarchianti alla corretta profondità e l'altro per regolare la distanza tra i due "sweep" laterali, in modo da poter adattare l'operatrice a interfila variabili tra 30 e 90 cm. La macchina è inoltre equipaggiata con un sistema di guida manuale (costituito da stegole che agiscono su due ruote direzionali) grazie al quale è possibile effettuare piccole correzioni della traiettoria durante l'avanzamento dell'operatrice, in modo da non danneggiare la coltura.

L'allestimento specifico della sarchiatrice adottato durante le prove condotte presso l'azienda Pasquini ha previsto l'uso di tre elementi sarchianti, uno centrale per il controllo delle infestanti nell'intra-bina e due laterali per il controllo delle infestanti nell'inter-bina. L'elemento rigido con utensile zampa d'oca dell'unità sarchiante centrale è stato fatto scorrere al di sotto della manichetta dell'irrigazione durante l'intervento, evitando così di rimuovere e ristendere quest'ultima prima e dopo l'operazione.



Fig. 17 - Sarchiatrice di precisione in fase di lavoro durante la prima sarchiatura prevista dall'itinerario tecnico innovativo.



Fig. 18 - Particolare degli utensili di cui era equipaggiata la sarchiatrice di precisione durante il secondo intervento effettuato nell'ambito dell'itinerario tecnico innovativo.



Fig. 19 - Effetti della seconda sarchiatura di precisione effettuata su terreno nudo nell'ambito dell'itinerario tecnico innovativo (da notare la rilevante zollosità residua dovuta alla presenza della crosta superficiale).

L'operatrice per il pirodiserbo a fiamma libera utilizzata durante la sperimentazione è dotata di 4 bruciatori a bacchetta larghi 50 cm alimentati a GPL (gas di petrolio liquefatto), contenuto in comuni bombole commerciali, con un fronte di lavoro massimo pari a 2 m. La possibilità di parzializzare il fronte di lavoro e di ruotare gli attacchi dei bruciatori di 90°, ha consentito di allestire la macchina in modo da effettuare interventi di "side-flaming" sulle due file che compongono la bina dopo il trapianto del pomodoro (Figure 20 e 21). Il pirodiserbo è stato effettuato soltanto nell'itinerario innovativo 2 in combinazione con la sarchiatura di precisione.



Fig. 20 - Operatrice per il pirodiserbo a fiamma libera allestita per il trattamento di "side flaming" in fase di lavoro su alcune parcelle in cui è stato adottato l'itinerario tecnico innovativo 2.



Fig. 21 - Particolare del bruciatore prismatico dell'operatrice per il pirodiserbo a fiamma libera per il controllo termico selettivo delle infestanti presenti sulle due file che compongono la bina.

Per la gestione della flora infestante è stato previsto infine anche un intervento di scerbatura manuale effettuato sia su terreno nudo che su pacciamatura.

Per le operazioni colturali sopra descritte sono stati utilizzate tre trattrici a ruote di proprietà dell'azienda agricola. Per le operazioni più onerose in termini di richiesta sia di forza di trazione che di potenza come la ripuntatura, la scarificazione, la lavorazione con il coltivatore combinato, l'erpatura rotativa e la semina della cover crop con seminatrice combinata è stato utilizzato un trattore a 4RM della CASE avente 155 kW (210 CV) di potenza massima. Per le operazioni di trinciatura della cover crop e di falsa semina è stato utilizzato un trattore a 4RM della KUBOTA avente potenza nominale pari a 40,44 kW (55 CV). Per le operazioni di sarchiatura, di pirodiserbo, l'effettuazione dei trattamenti fitosanitari e delle concimazioni è stato utilizzato un trattore a 2RM FIAT 70/90 avente potenza massima pari a 51,47 kW (70 CV).

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.

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 frescadelle bacche di pomodoro.

A causa delle restrizioni imposte dalla pandemia da COVID-19 non è stato possibile effettuare il programmato rilievo della densità delle colture di copertura dopo l'emergenza, che in seguito all'assenza di piogge, si è completata tra l'ultima settimana di febbraio e la prima di marzo.

Il campionamento della biomassa epigea delle cover crop e delle infestanti prima della trinciatura è stato effettuato in data 12/05/2020 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 22), 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, cioè 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 per ogni tesi. 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 in due date (07/09/2020 e 16/09/2020) 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. 22 – 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 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 compreso tra due paline poste ai bordi dell'appezzamento. Tali rilievi sono stati effettuati in presenza in azienda nei giorni previsti per le operazioni colturali, 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. Per ogni itinerario tecnico sono stati calcolati la capacità di lavoro reale (CLr), il tempo operativo (TO) e il consumo di carburante per unità di superficie (C) per ogni operazione.

2.4 Discussione dei risultati ottenuti nel primo anno della prova on-farm (2020)

Biomassa delle cover crop

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 questa prova l'effetto stimolante in termini di apporto di azoto, che doveva essere fornito dalla presenza della vecchia, 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. E' possibile ipotizzare che le cose sarebbero potute andare diversamente se la cover crop fosse stata seminata nel momento più opportuno e se i suoi residui fossero stati in grado di mantenere "coperto" il terreno durante il ciclo della coltura proteggendolo dalla formazione di croste superficiali. Inoltre, un corretto sviluppo della cover crop, in particolare della vecchia, avrebbe sicuramente determinato una maggiore disponibilità di nutrienti per il pomodoro e ciò avrebbe potuto tradursi in un miglioramento delle sue performance produttive. Tutto ciò sarà verificabile nell'esperimento attualmente in atto nel secondo anno di prova (2021), sperando che la recrudescenza della pandemia da Covid non causi altri problemi nella corretta gestione di questa esperimento "on farm". 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 sia stato già possibile osservare come in presenza di pacciamatura le performance del pomodoro non siano risultate influenzate negativamente dalla consistente riduzione della profondità di lavoro.

Biomassa delle infestanti

Relativamente alla biomassa secca delle infestanti a raccolta, tutti i sistemi sono risultati statisticamente uguali tra loro. Questo significa che i diversi sistemi di controllo delle infestanti hanno avuto effetti analoghi sulla flora spontanea. Le infestanti presenti nel miscuglio erano poco sviluppate, facendo registrare una biomassa aerea complessiva di circa $0,07 \text{ Mg ha}^{-1}$. Nel sistema aziendale, caratterizzato da terreno nudo nel periodo inter-culturale, la biomassa delle piante spontanee è stata stimata in $0,44 \text{ Mg ha}^{-1}$, mettendo in evidenza, così, il sostanziale contributo offerto dalle cover crop nel contenere la crescita delle avventizie, nonostante il loro limitato tempo di crescita. In particolare, negli itinerari in cui è stata utilizzata la pacciamatura, 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 osservare dalle immagini riportate nelle Figure 23 e 24.



Fig. 23 – *Cirsium arvense* su telo di mater-bi.



Fig. 24 – Infestanti graminacee e amarantacee che hanno superato la barriera della pacciamatura.

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 weeder di operare correttamente il controllo delle malerbe sulla fila. Inoltre, l'appezzamento presentava una forte infestazione di *Cirsium arvense* da rizoma (Figura 23) 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 non ha prodotto risultati diversi dagli altri sistemi in quanto la presenza della spessa crosta superficiale ha ostacolato l'emergenza delle plantule delle infestanti e diminuito l'efficacia del trattamento termico. Inoltre, come era presupponibile, le piante già sviluppate di *C. arvense* non sono state danneggiate in modo apprezzabile dal pirodiserbo, presentando una suberificazione del colletto più o meno avanzata che ha determinato una scarsa sensibilità allo shock termico determinato dall'esposizione a elevate temperature per pochi decimi di secondo.

Risultati produttivi

La resa commerciale è stata calcolata a partire dal peso delle bacche fresche e riportata in Mg ha^{-1} . 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 Mg ha^{-1}), seguito dal sistema innovativo 1 (15,25 Mg ha^{-1}) e dal sistema misto 1 (25,12 Mg ha^{-1}) (Figura 25).

La valutazione complessiva delle rese evidenzia come il fattore che ha influenzato maggiormente la produttività del pomodoro risulti essere la presenza della pacciamatura in mater-bi. Nei sistemi in cui è stato effettuato il trapianto su terreno nudo è emerso un evidente calo produttivo, come si può notare anche visivamente osservando la Figura 26. Era del resto noto fin dall'inizio che il terreno volutamente scelto per l'effettuazione della prova sperimentale non fosse vocato alla coltura del pomodoro: la forte presenza di limo e la fragile struttura degli aggregati che ne consegue, ha reso infatti molto probabile la formazione di una spessa crosta superficiale, in caso di eventi piovosi di media-elevata intensità, che ha condizionato fortemente l'affrancamento e il corretto sviluppo di una coltura a ciclo primaverile-estivo come il pomodoro da industria. Infatti, come già riportato in precedenza, durante il ciclo colturale si sono verificati due eventi piovosi di elevata intensità e l'effetto battente della pioggia su terreno nudo ha provocato una destrutturazione molto spinta degli aggregati, causando la formazione di una spessa crosta superficiale. Con la sarchiatura di precisione è stato possibile rompere la crosta, interrompendo la risalita capillare e controllando le infestanti emerse. Tuttavia, soprattutto nel primo intervento, ma anche nei successivi (sebbene in minor misura), le piante hanno subito un forte stress dovuto alla

rottura del capillizio radicale presente all'interno della crosta e alla forte zollosità creata dagli utensili della sarchiatrice. La presenza di mater-bi, impedendo all'azione della pioggia battente di distruggere gli aggregati del suolo, ha evitato la formazione della crosta superficiale e tutti gli svantaggi che la sua presenza comporta per lo sviluppo della coltura. Nel complesso, comunque, pur non essendo stato osservato alcun effetto tangibile relativo all'impiego della cover crop (che peraltro è stata seminata in forte ritardo e ha prodotto una biomassa molto contenuta e poco rappresentata dalla leguminosa), è importante notare come non vi siano state differenze significative tra le rese ottenute adottando lavorazioni profonde (sistema aziendale) e lavorazioni ridotte (sistema misto 2), rendendo ancora più evidente il ruolo decisivo della presenza della copertura del terreno sulle performance produttive del pomodoro. La riduzione rilevante della profondità di lavoro non ha quindi influenzato le rese in presenza di pacciamatura 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. Relativamente ai sistemi che hanno previsto il trapianto su terreno nudo, la diversa gestione del suolo e l'utilizzo della cover non ha determinato differenze significative tra le rese. Tuttavia, nonostante non siano presenti differenze statisticamente significative tra le rese ottenute utilizzando questi tre sistemi, la maggior produttività del sistema misto 1, rispetto all'innovativo 1 e all'innovativo 2, può essere ricondotta alla mancata manifestazione dei vantaggi legati all'utilizzo di tecniche di gestione conservativa del suolo, in assenza di pacciamatura su terreni molto "difficili" da gestire come quello che ha ospitato questo esperimento.

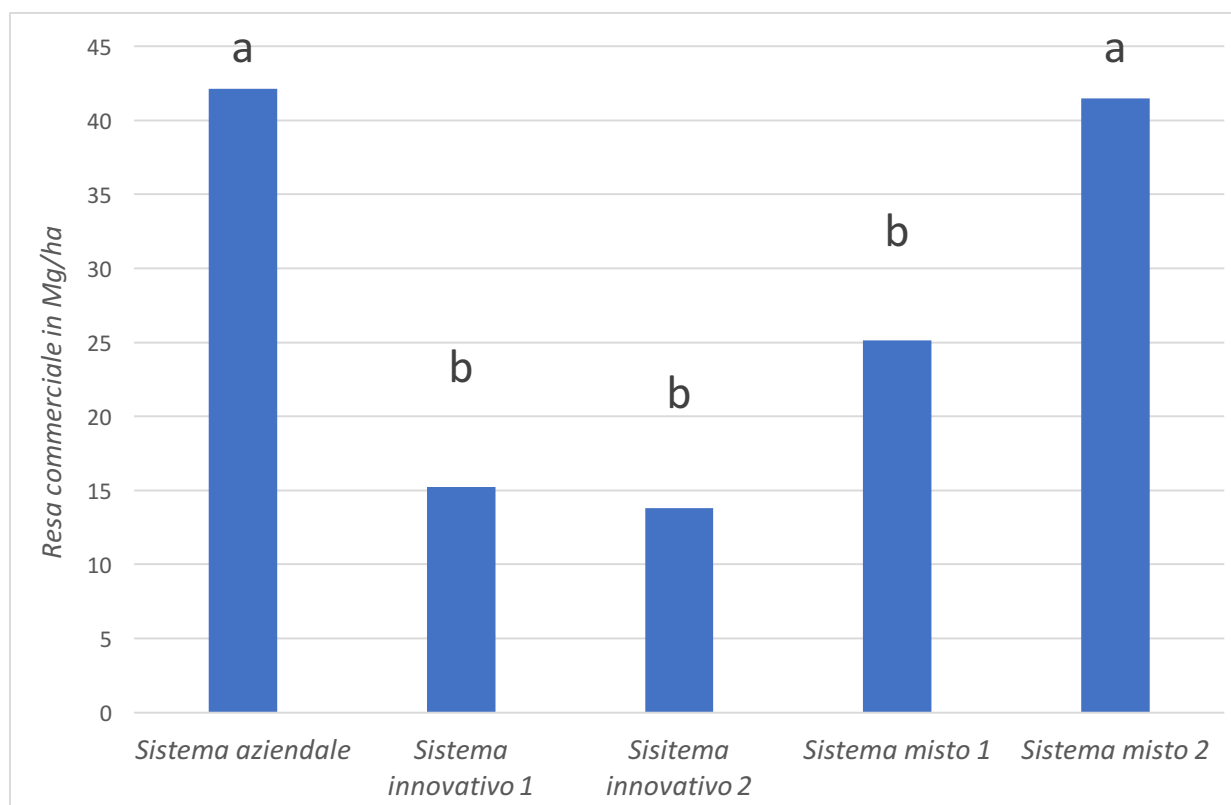


Fig. 25 - Grafico relativo ai valori delle rese produttive espresse in Mg/ha per ogni itinerario tecnico. Lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa (Bonferroni $P < 0,05$).



Fig. 26 – a sinistra parcelle di pomodoro su mater-bi; a destra parcelle di pomodoro trapiantate su terreno nudo. Foto scattate in occasione del secondo intervento di sarchiatura in data 01/07/2020.

Risultati meccanici e operativi

In termini di tempi operativi e i consumi di combustibile i sistemi più onerosi sono risultati quello aziendale e quello misto 2 (Figura 27). I valori più elevati che caratterizzano questi due sistemi 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 di 2,5 volte 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, innovativo 1, innovativo 2 e misto 1, 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 i consumi e i tempi operativi totali solo in minima parte: il sistema aziendale e misto 2 differiscono soltanto per la gestione del suolo e, come risulta evidente dall'osservazione del grafico riportato in Figura 27, le differenze tra i due sistemi sono minime. Il maggior consumo di combustibile per la lavorazione convenzionale è stato bilanciato, nella gestione conservativa, dalle operazioni di semina, di trinciatura e di sovescio della cover crop.

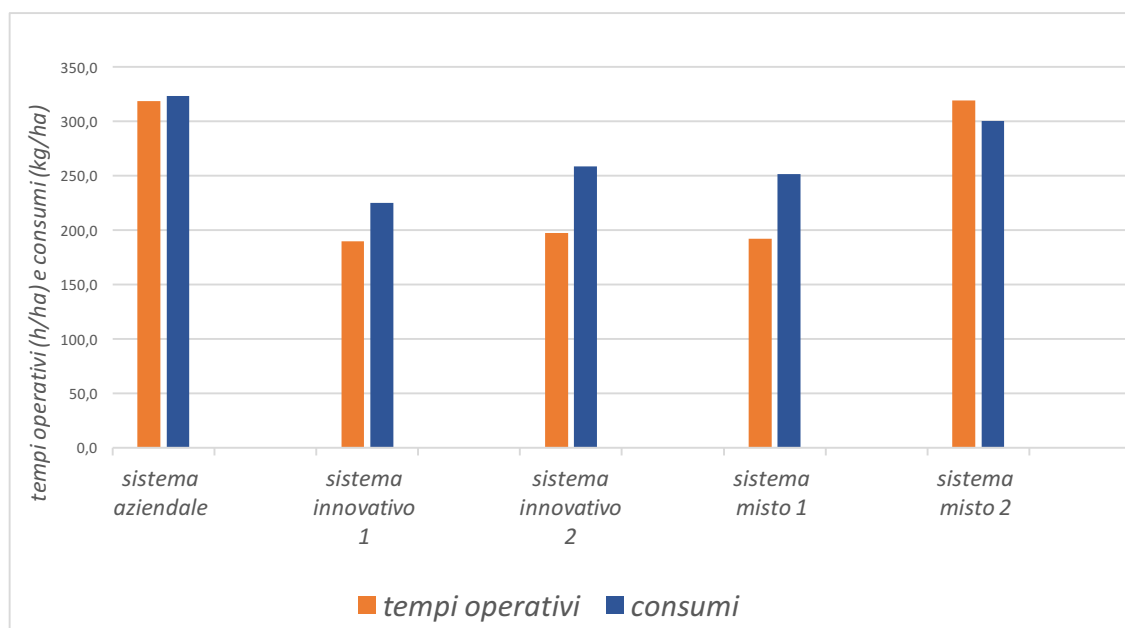


Fig. 27 - risultati dei parametri operativi dei vari cantieri di lavoro in ciascun itinerario tecnico

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 1.170 € 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.

I valori di produzione lorda vendibile per ogni itinerario tecnico sono riportati in Tabella 2. La netta superiorità della PLV calcolata per i sistemi aziendale e misto 2 rispetto a quelli relativi a tutti gli altri itinerari tecnici, è evidente ed è chiaramente dovuta alla maggior produttività di tali sistemi rispetto agli altri, già discussa nel precedente paragrafo, in assenza di differenze rilevanti in termini di costi variabili totali.

Itinerari tecnici	PLV (€/ha)
Sistema aziendale	49302
Sistema innovativo 1	17838
Sistema innovativo 2	16153
Sistema misto 1	29387
Sistema misto 2	48522

Tab. 2 – Valori di PLV calcolati per ogni itinerario tecnico.

Costi variabili

Le voci di costo considerate sono state classificate in costi per la manodopera, combustibile, operazioni colturali e 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. Come si può osservare dal grafico riportato nella Figura 28, la grande differenza di costo tra i vari sistemi è risultata esser dovuta al trapianto su biotelo: la bassa capacità reale di lavoro e il numero elevato di operatori necessari per l'operazione si è tradotta in un costo per il trapianto poco meno di cinque volte maggiore dei sistemi aziendale e misto 2 rispetto a quello relativo agli altri sistemi. In questi due sistemi la manodopera per il trapianto ha gravato per il 63% sui costi totali della manodopera. La seconda spesa che ha inciso maggiormente sul totale dei costi della manodopera in tutti i sistemi è la scerbatura manuale, con una piccola differenza tra gli itinerari che hanno previsto la pacciamatura e quelli su terreno nudo, dovuta al minor tempo operativo a parità di numero degli operatori che hanno effettuato la scerbatura.

Per quanto riguarda gli altri tre sistemi, innovativo 1, innovativo 2 e misto 1, gli impieghi di manodopera sono risultati simili, ma con un costo maggiore nel sistema innovativo 2 dovuto all'effettuazione di tre interventi di pirodiserbo.

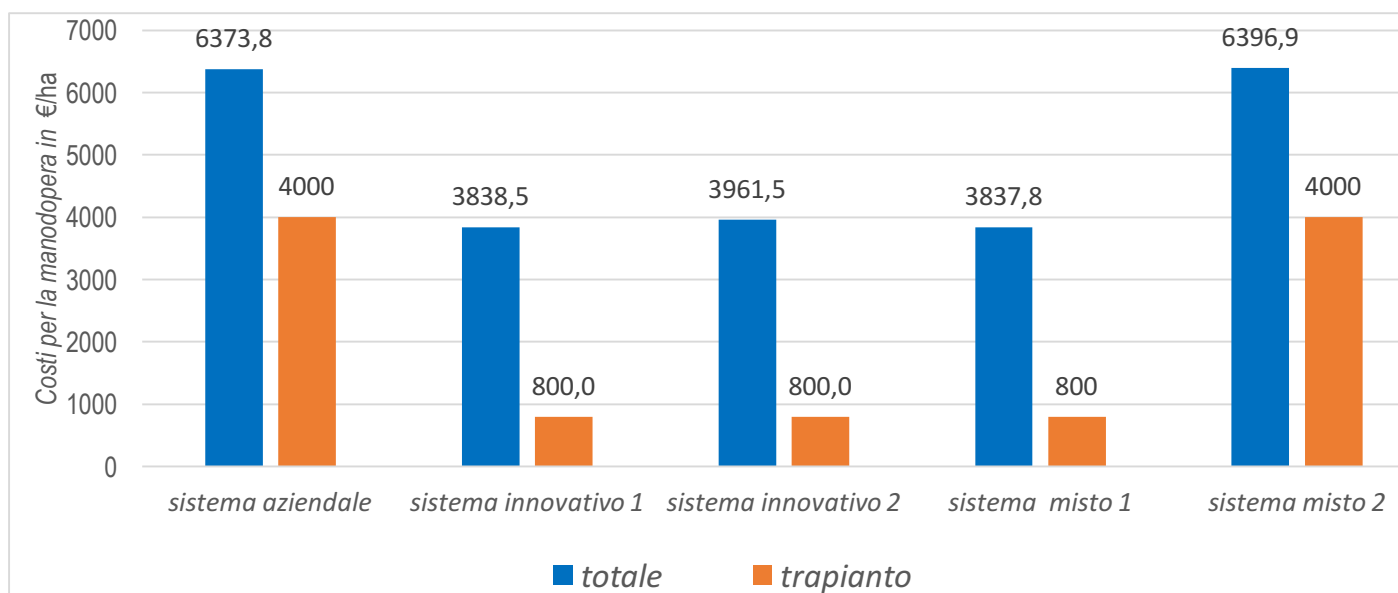


Fig. 28 – Costi per la manodopera relativi a ogni itinerario tecnico.

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 trend relativo al costo del combustibile appare molto simile a quello visto per il costo della manodopera. Con differenze tra i sistemi principalmente dovute alle modalità di effettuazione del trapianto (Figura 29).

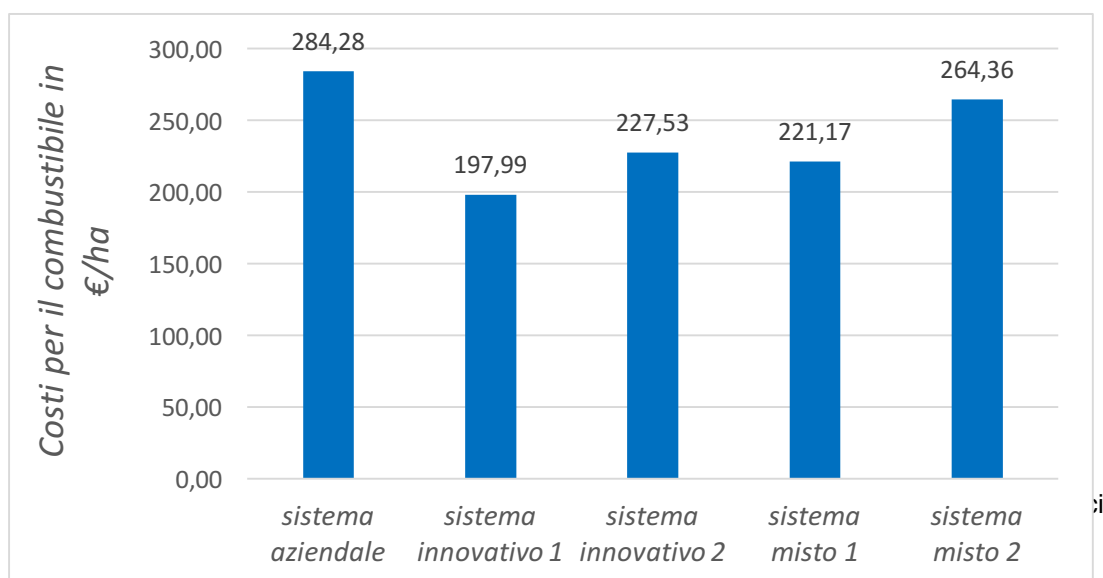


Fig. 29 – Costi per il combustibile espressi in € ha⁻¹ per tutti gli itinerari tecnici.

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 state considerate le quote di ammortamento, di interesse e per le spese varie, poi divisi per la vita utile delle macchine espressa in ore. Inoltre sono stati presi in considerazione i costi variabili di manutenzione e di riparazione. I costi sono risultati 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 (Figura 30). La tecnica di gestione del terreno non ha influito molto sul costo finale delle operazioni.

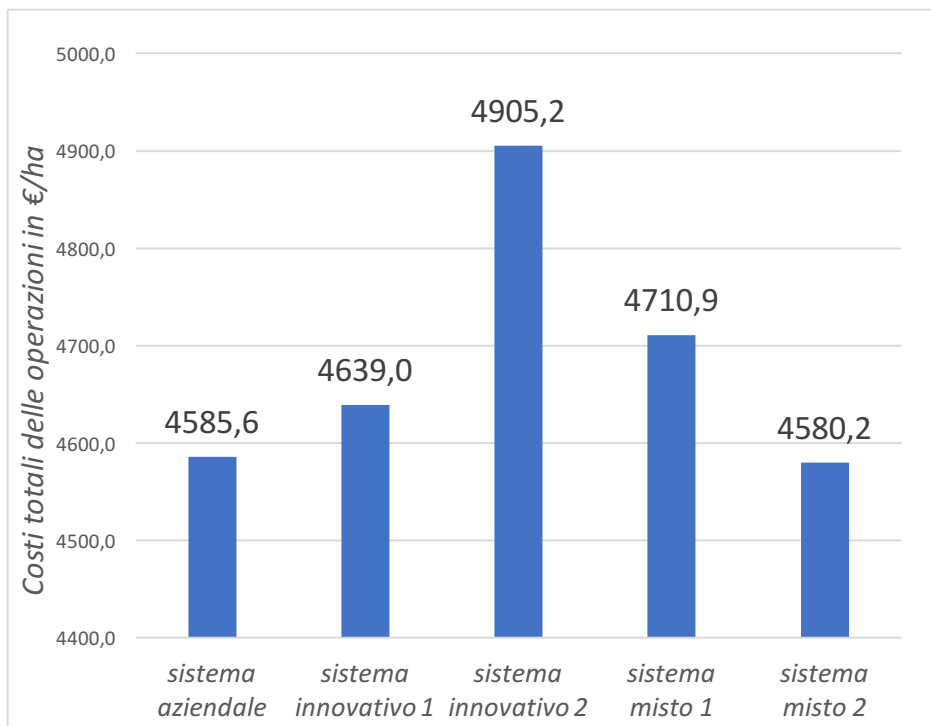


Fig. 30 - costi totali delle operazioni (€/ha) per ciascun itinerario tecnico

Gli ultimi costi valutati per la prova sperimentale riguardano l'acquisto dei mezzi tecnici. Considerando che alcuni di questi sono comuni a tutti gli itinerari tecnici (prodotti fitosanitari, irrigazione, fertilizzanti), la differenza tra i vari sistemi studiati è data dalla presenza di mater-bi, dai semi delle cover crop e dal 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.

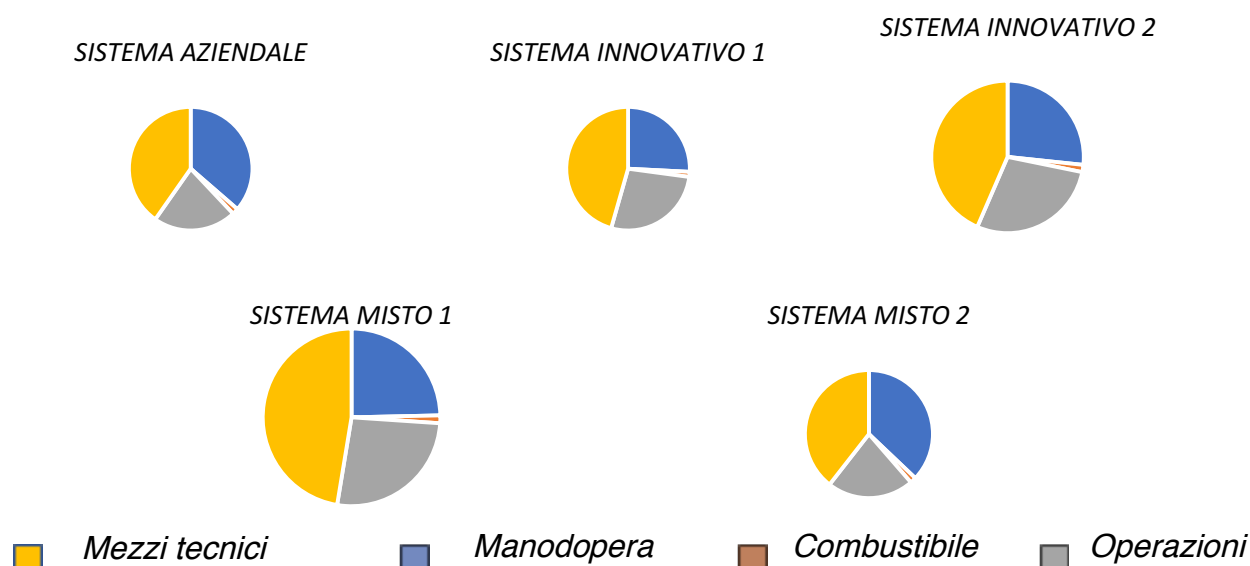


Fig. 31 – rappresentazione grafica delle incidenze percentuali delle varie voci di costo per ogni sistema studiato.

Il grafico riportato nella Figura 31, ricapitola l'incidenza percentuale di ogni voce di costo 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: nei sistemi in cui è stato effettuato il trapianto su biotelo la manodopera ha inciso molto di più sul totale, confermando il trend osservato nel grafico riportato nella Figura 26.

Per concludere la parte dei risultati economici, nella Figura 32 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 (Figura 32).

I sistemi connessi con i maggiori valori del reddito lordo risultano essere 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, risulta decisamente influenzato dalla PLV e non dai costi sostenuti e quindi dalle rese ottenute, che, come già evidenziato in precedenza, sono risultate decisamente più elevate in presenza del mater-bi.

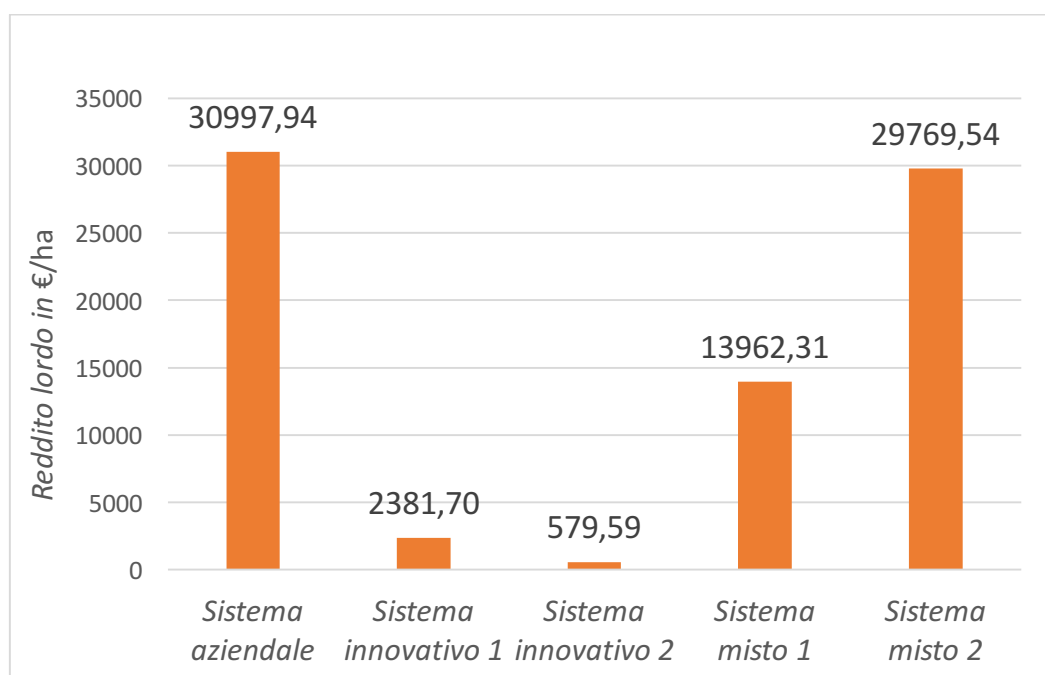


Fig. 32 – Reddito lordo ottenuto da ciascun itinerario tecnico, espresso in €/ha.

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

3.1 Descrizione del sito sperimentale, del layout sperimentale e dei trattamenti.

La prova on-station è stata realizzata 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 ha caratteristiche pedologiche molto adatte alle coltivazioni orticole. Come si può evincere osservando i valori riportati nella Tabella 3, 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	SO	Argilla	Limo	Sabbia
u.d.m		$\mu\text{S/cm}$	m.eq 100 g	%	ppm	%	%	%	%
Valori	6,72	113,54	10,81	1,25	4,93	2,19	5,75	13,49	80,76

Tab.3 – Caratteristiche del suolo oggetto della prova.

Nei grafici rappresentati nelle Figure 33 e 34 sono riportati i dati meteorologici del periodo in cui è stata effettuata la prova posti a confronto con i valori medi del poliennio 1993-2019. Le temperature massime e minime per l'anno 2019/2020 sono risultate in linea con quelle del poliennio e non hanno creato particolari problematiche per lo svolgimento della prova sperimentale. Nel mese di ottobre le precipitazioni sono state sensibilmente inferiori alla media del poliennio e questo ha permesso di effettuare la lavorazione del terreno e la semina delle cover crop nel momento e nelle condizioni di umidità del suolo ideali. Nei mesi successivi e fino a maggio le precipitazioni sono state coerenti con la media del poliennio e questo ha permesso un ottimo sviluppo delle colture di copertura. Anche le precipitazioni nei mesi successivi al trapianto non hanno fatto registrare anomalie e hanno permesso un buon sviluppo della coltura.

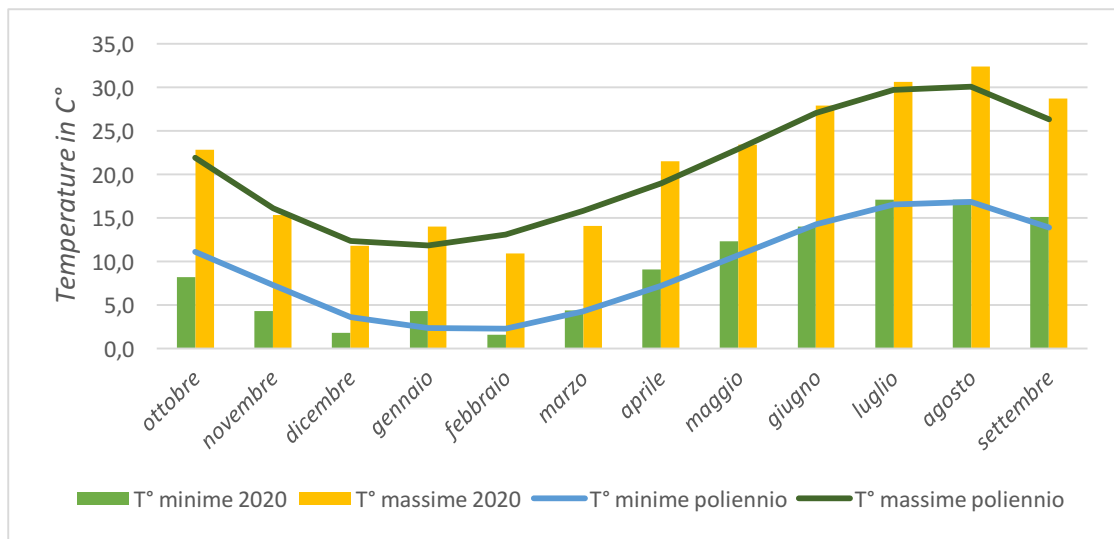


Fig. 33 – dati climatici relativi alle temperature massime e minime del sito sperimentale.

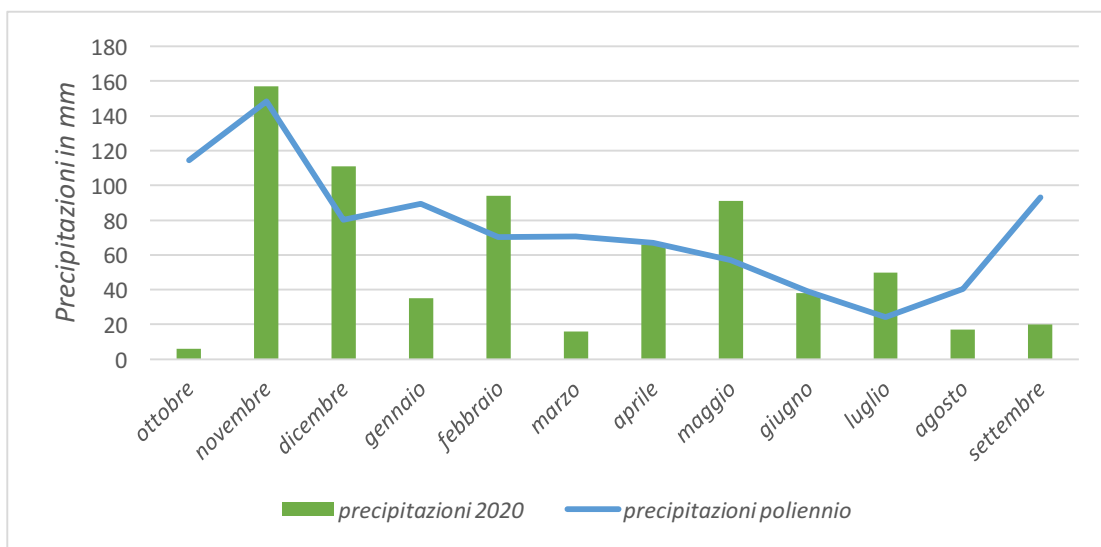


Fig. 34 – Dati climatici relativi alle precipitazioni del sito sperimentale.

L'intero appezzamento è stato lavorato con lo stesso coltivatore combinato utilizzato nella prova on-farm in data 23/10/2019; in data 26/10/2019 il terreno è stato affinato mediante un passaggio di erpice rotante combinato con una seminatrice a righe privata degli assolcatori per l'impianto a spaglio delle cover crop. L'appezzamento è stato suddiviso in 24 parcelle da 60 m² ciascuna (6 m di larghezza x 10 metri di lunghezza), dove sono state seminate, in data 26/10/2019, le seguenti colture di copertura:

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

Nel caso del miscuglio, si è voluto testare come la combinazione tra le due componenti influenzasse la soppressione della flora infestante del pomodoro, sia attraverso la maggiore stimolazione della crescita della coltura orticola (rispetto alla graminacea in purezza), sia in virtù del più elevato controllo della seed-bank ottenibile per mezzo degli essudati allelopatici (rispetto alla leguminosa in purezza).

Il secondo obiettivo sperimentale è stato quello di testare come i servizi sopra descritti si esprimessero in modo diverso in funzione della tecnica di gestione della cover crop prima del trapianto del pomodoro e della tecnica di gestione del suolo.

Nello specifico sono stati posti a confronto due diversi itinerari tecnici:

Sistema standard

Questo sistema ha previsto il trapianto del pomodoro su terreno lavorato, con un sovescio delle cover crop realizzato mediante una trinciatura con trinciastocchi (Figura 35) e due passaggi di zappatrice rotativa, con controllo delle infestanti tramite sarchiature e interventi di scerbatura manuale. All'interno di questo sistema sono state testate le tre tipologie di cover crop (segale, trifoglio, mix di segale e trifoglio) e il testimone privo di colture di copertura.

- *Sistema standard – no cover*

Per questo itinerario tecnico sono state eseguite le seguenti operazioni colturali:

- Lavorazione primaria del terreno (23/10/2019);
- Affinamento terreno (26/10/2019);
- Trapianto (03/06/2020);
- Scerbatura manuale (21/06/2020);
- Sarchiatura (22/06/2020 e 09/07/2020);
- Raccolta manuale effettuata in quattro interventi (24/08/2020, 31/08/2020, 18/09/2020, 29/09/2020).

- *Sistema standard – cover crop*

In questo itinerario tecnico sono state eseguite le seguenti operazioni colturali:

- Lavorazione del terreno (23/10/2019);
- Affinamento terreno e semina cover crop (26/10/2020);
- Trinciatura cover crop (29/05/2020);
- Interramento cover crop tramite due passaggi con zappatrice rotativa (01/06/2020);
- Trapianto (03/06/2020);
- Scerbatura manuale (21/06/2020);
- Sarchiatura (22/06/2020);
- Sarchiatura (09/07/2020);
- Raccolta manuale effettuata in quattro interventi (24/08/2020, 31/08/2020, 18/09/2020, 29/09/2020).



Fig. 35 – trinciatura della cover crop di segale tramite trinciastocchi

Sistema conservativo

In questo sistema è stato effettuato il trapianto del pomodoro su terreno non lavorato e coperto da dead mulch. Sono state testate tre diverse cover crop (segale, trifoglio, mix trifoglio e segale) e il testimone senza la presenza di cover crop. Le colture di copertura seminate sono state devitalizzate a mezzo di un passaggio di roller crimper (Clemens Eco-Roll®) (Figura 36) seguito da un passaggio di pirodiserbo per accelerare la devitalizzazione (Figura 37).

- *Sistema conservativo – no cover*

In questo itinerario tecnico non è stata effettuata la semina di colture di copertura e il trapianto è avvenuto senza interventi precedenti di affinamento del terreno. Le operazioni colturali sono state:

- Lavorazione del terreno (23/10/2019);
- Affinamento del terreno (26/10/2019);
- Trapianto (03/06/2020);
- Scerbatura (21/06/2020);
- Raccolta manuale effettuata in quattro interventi (24/08/2020, 31/08/2020, 18/09/2020, 29/09/2020)

- *Sistema conservativo – cover crop*

In questo itinerario tecnico è stata effettuato il trapianto sul dead mulch creatosi a seguito della devitalizzazione delle colture di copertura. In particolare le operazioni colturali sono state le seguenti:

- Lavorazione del terreno (23/10/2019);
- Affinamento del terreno e semina delle cover crop (26/10/2019);
- Rullatura delle cover crop (29/05/2020);
- Trattamento di pirodiserbo (29/05/2020);
- Trapianto su dead mulch (03/06/2020);
- Scerbatura manuale (21/06/2020);
- Raccolta manuale effettuata in quattro interventi (24/08/2020, 31/08/2020, 18/09/2020, 29/09/2020).



Fig. 36 - rullatura della cover crop di trifoglio squaroso.



Fig. 37 – Trattamento di pirodiserbo della cover crop di trifoglio squaroso

Lo schema sperimentale della prova, con le diverse combinazioni tra i trattamenti è riportato nella Figura 38. Il disegno sperimentale adottato è stato quello del randomized complete block (RCB) a 3 replicazioni.

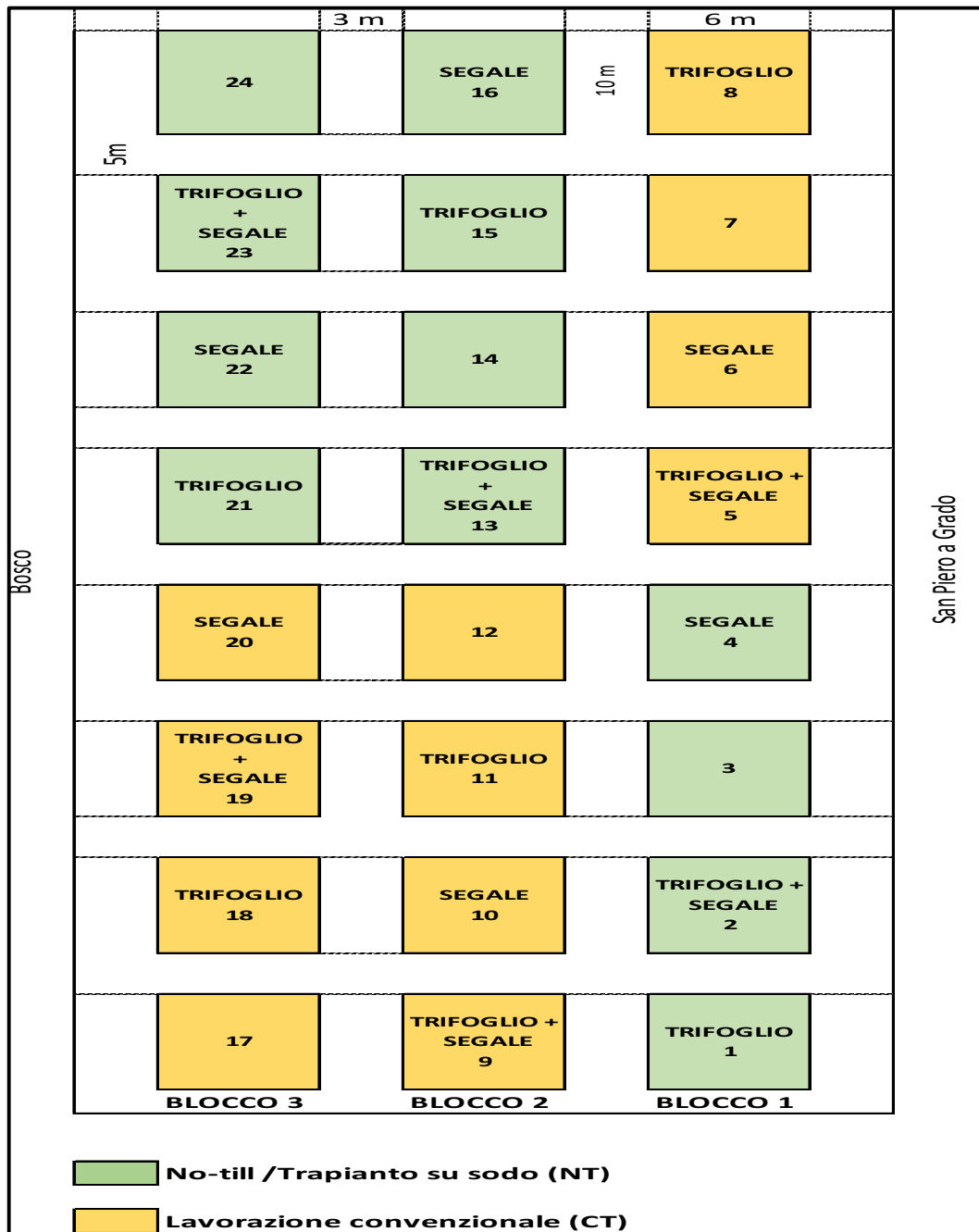


Fig. 38 - Schema sperimentale della prova on-station

La gestione della fertilizzazione, dell'irrigazione e della difesa fitosanitaria è stata la stessa per entrambi i sistemi a confronto. La fertilizzazione ha riguardato esclusivamente l'apporto di azoto attraverso quattro interventi di fertirrigazione con Nutrigreen (8-0-0) (AD Green Italia). La difesa fitosanitaria ha interessato principalmente la lotta alla Peronospora del pomodoro (*Phytophthora infestans*) attraverso trattamenti preventivi di copertura con prodotti rameici, ammessi in agricoltura biologica. In particolare, per entrambi i sistemi sono stati effettuati 4 trattamenti anticrittogamici:

- 14/06/2020, trattamento rameico con Pasta Caffaro Blu (4 kg ha⁻¹);
- 09/07/2020, trattamento rameico con Pasta Caffaro Blu (4 kg ha⁻¹);
- 02/08/2020, trattamento rameico con Pasta Caffaro Blu (4 kg ha⁻¹);
- 29/08/2020, trattamento rameico con Pasta Caffaro Blu (4 kg ha⁻¹) e Cuproxat (1 l ha⁻¹).

Descrizione delle macchine operatrici e interventi

Per le operazioni colturali sono state utilizzate due trattatrici: per i cantieri di lavoro che richiedevano una maggiore potenza, come la lavorazione con il coltivatore combinato e l'affinamento e la semina delle cover crop con l'erpice rotante combinato con la seminatrice, è stato utilizzato un trattore CASE a 4 RM avente 210 CV di potenza nominale. Per tutte le altre operazioni colturali è stato utilizzato un trattore FIAT 70/90 a 2RM avente 70 CV di potenza nominale.

Come già precedentemente menzionato, in tutti gli itinerari tecnici la lavorazione terreno è stata effettuata tramite lo stesso coltivatore combinato utilizzato nella prova on farm (Figura 39). Nel sistema standard la lavorazione è stata effettuata a una profondità di 20 cm, mentre nel sistema innovativo l'intervento è stato più superficiale con profondità massima pari a 10 cm. In entrambi i casi, la velocità è invece rimasta costante e pari a 6 km h⁻¹.



Fig. 39 – coltivatore combinato utilizzato per la lavorazione principale del terreno.

Dopo la lavorazione è stato effettuato in tutti gli itinerari tecnici l'affinamento del terreno con un erpice rotante, equipaggiato con un di rullo packer, alla velocità di 4 km h⁻¹ e alla profondità di 15 cm nel sistema standard e di 10 cm in quello innovativo. Negli itinerari in cui era prevista la semina della cover crop l'erpice rotante è stato combinato con una seminatrice a righe meccanica priva degli assolcatori in modo da ottenere una distribuzione omogenea a spaglio dei semi. Nell'itinerario tecnico standard le colture di copertura, prima di essere interrate, sono state trinciate e in seguito interrate tramite due interventi di zappatura rotativa effettuati alla profondità di 20 cm. Nell'itinerario innovativo le colture di copertura sono state invece devitalizzate combinando l'azione meccanica della rullatura a quella termica del pirodiserbo. Per la devitalizzazione è stato utilizzato il roller crimper della Clemens "Eco-Roll®" (Figura 40), largo 1,5 m e dotato di lame piatte e disposte con schema tangenziale. Il rullo, costituito da due sezioni telescopiche regolabili idraulicamente, è stato modificato presso l'officina meccanica del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Agro-ambientali (DiSAAA-a) con inserimento di un serbatoio della capacità di 0,3 m³ che è stato riempito con acqua al fine di aumentare il peso dell'attrezzo e di ottenere un'azione più incisiva delle lame e quindi una maggiore efficacia nella

devitalizzazione delle cover. La velocità di avanzamento durante l'operazione di rullatura è stata in ogni caso pari a 7 km h^{-1} .



Fig. 40 – Roller crimper in azione.

Sei giorni dopo l'operazione di rullatura è stato effettuato un trattamento con pirodiserbo per velocizzare e completare la devitalizzazione delle colture di copertura. L'operatrice per il pirodiserbo a fiamma libera utilizzata è la stessa impiegata nella prova sperimentale on farm che ha avuto luogo presso l'azienda Pasquini. In questo caso l'allestimento della macchina ha previsto l'utilizzo di tutti e quattro i bruciatori a bacchetta larghi 50 cm che sono stati disposti ortogonalmente rispetto alla direzione di avanzamento. Il fronte di lavoro complessivo è stato quindi pari a 2 m, la pressione di esercizio del GPL è stata pari a 0,3 MPa e la velocità di avanzamento a 3 km h^{-1} . Nelle Figure 41, 42 e 43 sono riportate le immagini dell'operazione di pirodiserbo effettuata sulle tre diverse cover crop precedentemente allestite.



Fig. 41 - Pirodiserbo su cover crop di segale.



Fig. 42- Pirodiserbo su cover crop di segale e trifoglio.



Fig. 43 - Pirodiserbo della cover crop di trifoglio squarroso.

Il trapianto del pomodoro è avvenuto il 3 giugno 2020 con l'utilizzo di una trapiantatrice agevolata a giostra (Modello FAST, Fedele Mario Costruzioni), modificata presso l'officina meccanica del DiSAAA-a in modo da renderla adatta anche al trapianto su terreno non lavorato e coperto da dead mulch. Questa macchina operatrice (Figure 44 e 45) è stata equipaggiata con utensili appropriati per l'effettuazione del trapianto su sodo. La macchina è modulare, con numero di corpi che può variare da 1 a 6. La disposizione minima delle unità di trapianto permette di ottenere una distanza inter-fila di 50 cm e intra-fila di 9 cm. Gli elementi sono collegati al telaio principale, su cui sono presenti anche i dispositivi di accoppiamento alla trattrice, mediante parallelogrammi articolati.

La distribuzione delle piante avviene mediante un sistema di trasmissione meccanica che deriva il moto dalle due ruote di appoggio di ciascun elemento. Questo consente, mediante la modifica del rapporto di trasmissione con cambi di velocità, di variare la distanza delle piantine sulla fila. Le ruote, oltre a garantire una distanza di trapianto costante anche in caso di variazione della velocità di avanzamento (distribuzione proporzionale all'avanzamento – DPA), hanno anche il compito di regolare e di mantenere costante la profondità di trapianto. Le modifiche apportate a questa macchina sono state le seguenti:

- aggiunta di un disco liscio, di 30 cm di diametro, per il taglio dei residui vegetali. Il disco è montato sul telaio principale della macchina e, oltre all'azione di taglio del dead mulch entra nel terreno fino a poco più di 10 cm di profondità, favorendo la penetrazione degli utensili successivi;
- aggiunta di ancore rigide per favorire la penetrazione dell'organo assolcatore della trapiantatrice. Al riguardo, la trapiantatrice può essere equipaggiata con corpi lavoranti diversi fra loro e adatti a diverse realtà e condizioni operative: possono essere infatti utilizzate ancore dritte o curve, dotate di utensili terminali a zampa d'oca o a scalpello. Per il trapianto del pomodoro la macchina è stata equipaggiata con un solo elemento trapiantatore.



Fig. 44 – Trapianto diretto del pomodoro su dead mulch di trifoglio squarroso



Fig. 45 – Trapianto diretto del pomodoro su dead mulch di segale.

Il trapianto è avvenuto in ogni parcella, ponendo a dimora il pomodoro da industria (cultivar Elba) su 4 file singole con una densità di 2,2 piante m^2 (distanza inter-fila pari a 1,5 m e sulla fila pari a 0,3 m). Subito dopo il trapianto, è avvenuta la stesura delle manichette per l'irrigazione e la fertirrigazione localizzata del pomodoro (Figura 46).



Fig. 46 – pomodoro trapiantato su dead mulch di segale.

Nel sistema standard il controllo delle infestanti è stato gestito mediante una scerbatura manuale e due sarchiature. Le sarchiature sono state effettuate con una sarchiatrice di precisione progettata e realizzata dall'Università di Pisa e utilizzata anche nella prova on-farm che ha avuto luogo presso l'azienda Pasquini. Per la prova on-station la sarchiatrice è stata equipaggiata con due unità per adattarsi al sesto d'impianto del pomodoro. Il controllo delle infestanti sulla fila è stato attuato equipaggiando i corpi sarchianti della macchina con "finger weeders" costituiti da coppie di denti elastici aventi diametro pari a 5 mm. Nel sistema innovativo/conservativo il controllo delle infestanti è stato attuato soltanto con un intervento di scerbatura manuale.

3.2 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.

Rilievi agronomici

Gli aspetti agronomici che sono stati valutati più approfonditamente sono la biomassa secca delle cover crop prima del loro interrimento o della loro terminazione, la resa in bacche fresche e la biomassa delle infestanti a raccolta. Questi parametri descrivono e riassumono efficacemente le performance delle diverse strategie di coltivazione adottate. Il campionamento è avvenuto su due aree da 0,5 m² per ogni parcella, procedendo quindi alla determinazione del peso fresco totale delle bacche, del peso secco totale delle infestanti e della biomassa delle colture di copertura. Sono stati raccolti 48 campioni totali per la determinazione delle rese e della biomassa delle infestanti e 36 campioni per quella della biomassa delle cover crop. I campioni raccolti sono stati esaminati e processati presso il laboratorio dell' UU.OO. 2. I rilievi sulle bacche di pomodoro sono stati effettuati in due date (07/09/2020 e 16/09/2020) in modo da raccogliere tutte le bacche che hanno raggiunto la maturazione commerciale e sono state classificate per grado di maturazione e pesate. 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

Rilievi tecnico-operativi

Per quanto attiene le prestazioni delle macchine e dei cantieri di lavoro 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. 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. I dati raccolti e le informazioni relative alle caratteristiche delle trattrici e delle macchine operative sono stati elaborati utilizzando la stessa metodologia descritta per la prova sperimentale on-farm.

3.3 Discussione dei risultati prova on-station.

Biomassa cover crop

Il miscuglio di cover crop ha prodotto 821,79 g/m² (8,21 t ha⁻¹) in termini di sostanza secca, la segale ha prodotto 886,74 g/m² (8,87 t ha⁻¹) e il trifoglio 609,44 g/m² (6,09 t ha⁻¹). Nonostante la differenza tra la biomassa del trifoglio e quelle del miscuglio 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 è risultata molto elevata e in linea con i valori di riferimento. La buona riuscita delle colture di copertura ha influenzato positivamente tutte le operazioni successive.

Biomassa infestanti

Per quanto riguarda la biomassa secca delle infestanti a raccolta nessuna delle variabili considerate ha prodotto effetti statisticamente significativi per quanto riguarda la biomassa secca delle infestanti a raccolta. Questo risultato è molto interessante, in quanto evidenzia come le diverse tecniche di gestione della flora spontanea adottate nei diversi itinerari tecnici non abbiano determinato risultati statisticamente diversi tra loro. Questo indica come il controllo delle infestanti ottenuto con l'utilizzo di dead much sia risultato caratterizzato dalla stessa efficacia della gestione attuata nel sistema standard che ha previsto due trattamenti di sarchiatura di precisione.

Risultati produttivi

Le rese, in generale, sono risultate più basse del 50% circa rispetto a quelle ottenute nella prova on farm. Questo è dovuto principalmente all'investimento inferiore di piante a ettaro della prova on station. Infatti la densità di impianto è stata di circa 6 piante/m² nella prova on farm e di circa 4 piante/m² nella prova on station. Come si può osservare dal grafico riportato nella Figura 47, i sistemi che hanno prodotto i risultati più bassi sono stati quelli in cui è stata utilizzata la cover crop di segale o in cui non è stata impiegata nessuna coltura di copertura. Infatti, le rese ottenute in tali sistemi risultano essere statisticamente uguali tra loro. Le performance molto più elevate dei sistemi in cui è stata utilizzata una leguminosa

(da sola o in miscuglio) 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. Il fatto che la tipologia di lavorazione non sia risultata statisticamente significativa per la resa commerciale, evidenzia come profondità di lavorazione più elevate non sempre siano correlate a incrementi delle rese.

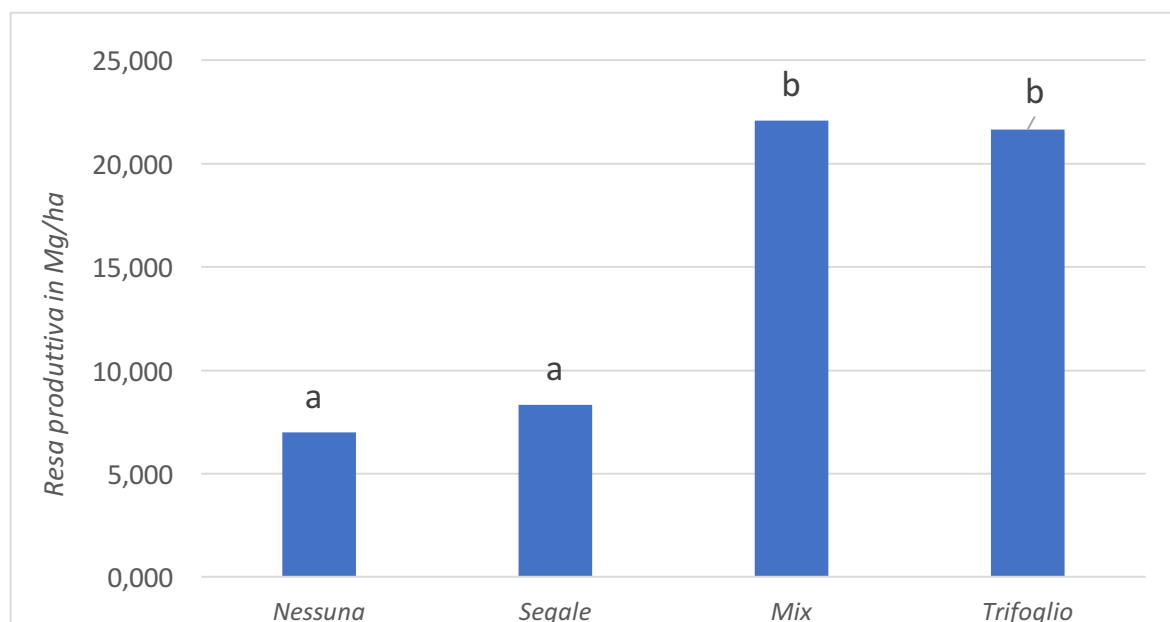


Fig. 47 – risultati delle rese produttive in funzione della diversa tipologia di copertura utilizzata (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative secondo il test di Bonferroni per $p < 0.05$)

Risultati meccanici e operativi

Tra i parametri che sono stati valutati, dal punto di vista meccanico e operativo, i più interessanti sono il tempo operativo (TO) e il consumo di combustibile (C). Come è possibile realizzare osservando il grafico riportato nella Figura 48, i sistemi con lavorazione del terreno sono risultati connessi con valori dei tempi operativi più elevati rispetto a quelli relativi ai sistemi con trapianto su sodo. Le operazioni che hanno determinato tali differenze sono state quella relative alla gestione delle cover crop e al controllo delle infestanti: nell'itinerario tecnico standard che ha previsto l'interramento della biomassa i tempi operativi sono risultati maggiori (con incrementi di poco superiori al 40%) rispetto al sistema innovativo/conservativo in cui è stata attuata la devitalizzazione tramite rullatura e trattamento termico. Inoltre, nei sistemi con trapianto su terreno nudo si sono resi necessari due interventi di sarchiatura di precisione. In particolare il sistema legato ai valori più alti dei tempi operativi è il sistema standard – cover crop, a causa della combinazione delle operazioni per il sovescio e della sarchiatura. Per quanto riguarda i consumi di combustibile, il sistema che in assoluto ha richiesto le maggiori quantità di gasolio è il sistema standard – cover crop (109 kg ha^{-1}) e quelli meno onerosi sono risultati essere i sistemi conservativi (sia su terreno nudo che in presenza di cover) con consumi mediamente pari a poco meno di 38 kg ha^{-1} di gasolio (riduzione del 75% circa rispetto all'itinerario standard - cover crop). Anche in questo caso tale valore è determinato dalle operazioni di trinciatura e interrimento delle cover crop oltre che dalla maggiore profondità di lavoro a cui ha operato il coltivatore combinato (20 cm), che risulta doppia rispetto a quella impiegata nei sistemi conservativi. Il trinciastocchi e la zappatrice rotativa, utilizzati per tali operazioni, richiedono potenze molto elevate e basse velocità di avanzamento: questo determina una bassa capacità di lavoro reale ed elevati consumi di gasolio. Nei sistemi conservativi che hanno previsto la devitalizzazione delle cover crop tramite rullatura e trattamento termico, i tempi operativi e i consumi sono risultati sostanzialmente molto simili a quelli rilevati nel caso dei sistemi realizzati in assenza di colture di copertura. A tale riguardo, infatti, le due operazioni legate alla terminazione delle cover sono risultate decisamente meno onerose dal punto di vista operativo ed economico rispetto a quelle necessarie per il loro interrimento.

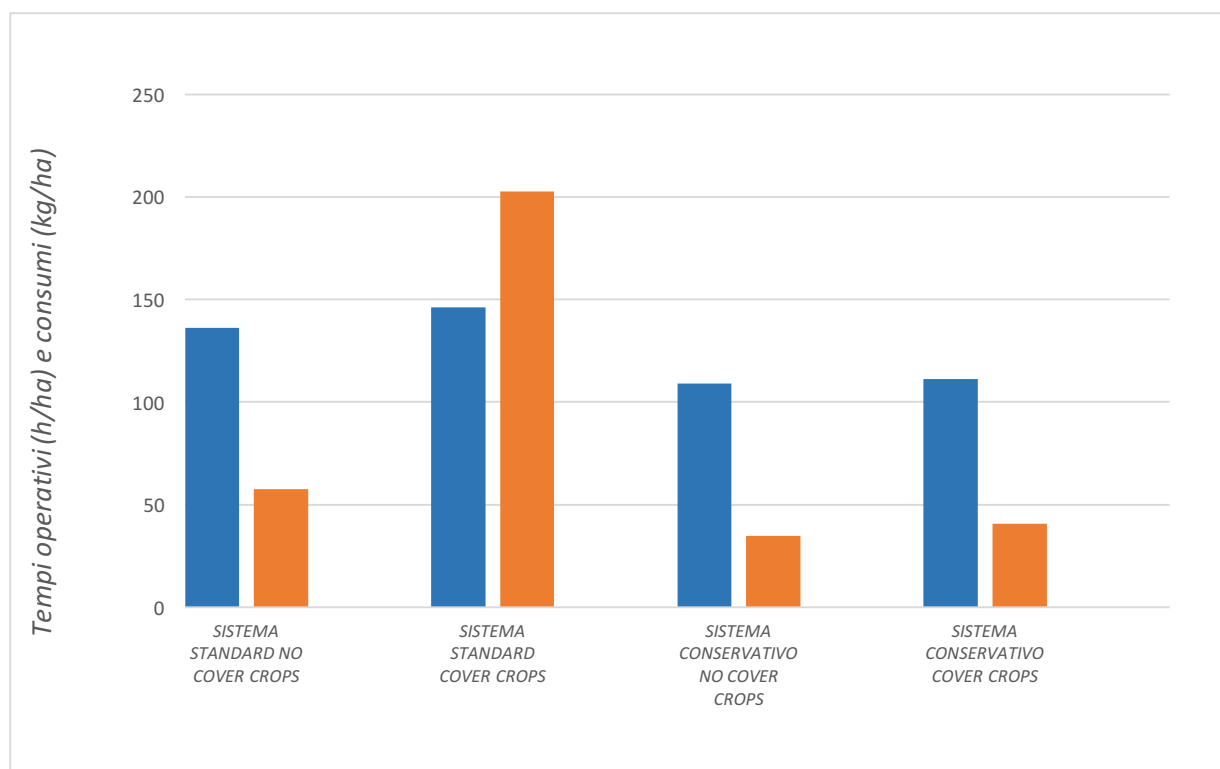


Fig. 48 – Tempi operativi (barre blu) e consumi di combustibile (barre rosse) relativi ai cantieri di lavoro utilizzati nei diversi itinerari.

Risultati economici

Produzione lorda vendibile.

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 pari a 1.170 €/t (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.

SISTEMA	PLV (€/ha)
<i>Standard - No cover</i>	8191,0
<i>Standard - Segale</i>	9745,4
<i>Standard - Mix</i>	25819,8
<i>Standard - Trifoglio</i>	25324,6
<i>Conservativo - No cover</i>	8191,0
<i>Conservativo - Segale</i>	9745,4
<i>Conservativo - Mix</i>	25819,8
<i>Conservativo - Trifoglio</i>	25324,6

Tab.4 – valori della PLV ottenuti nei diversi itinerari tecnici

I valori della produzione lorda vendibile relativi ai diversi itinerari tecnici sono riportati nella Tabella 4. La netta differenza tra gli itinerari tecnici a confronto in termini di PLV è dovuta

principalmente ai diversi livelli produttivi che tali sistemi hanno raggiunto. I sistemi che hanno previsto l'utilizzo del trifoglio e del mix trifoglio + segale come cover crop hanno fornito risultati nettamente superiori rispetto agli altri: in particolare, il risultato dei sistemi senza alcuna coltura di copertura hanno fornito valori di PLV inferiori del 70% rispetto ai sistemi in cui è stato utilizzato il miscuglio di trifoglio e segale.

Costi variabili.

Le voci di costo considerate sono state suddivise in costi per la manodopera, per il combustibile, per le operazioni colturali e per i mezzi tecnici. Per ogni operazione colturale è stato calcolato il costo della manodopera, conoscendo il TO e il numero di operatori impiegati. I costi unitari per le operazioni colturali sono stati calcolati come nel caso della prova on farm. Per i mezzi tecnici le uniche differenze tra i diversi itinerari sono dovute all'acquisto dei semi delle cover crop e al GPL utilizzato per il pirodiserbo, mentre tutti gli altri costi (prodotti fitosanitari, irrigazione, fertilizzanti) sono stati gli stessi indipendentemente dal sistema di gestione del pomodoro. I costi variabili totali sono riportati graficamente nella Figura 49. I sistemi in cui sono state utilizzate tecniche di gestione innovativa/conservativa sono caratterizzati da spese inferiori rispetto ai sistemi con gestione standard. Queste differenze sono dovute soprattutto al minor costo del combustibile relativo ai sistemi conservativi che, nel caso di impiego delle cover è risultato inferiore dell'80% grazie all'utilizzo di tecniche innovative di devitalizzazione rispetto a quello rilevato per gli itinerari in cui le colture di copertura sono state sovesciate. Confrontando anche gli itinerari che non hanno previsto alcuna copertura, i costi del gasolio sono stati inferiori del 40% nel caso di gestione conservativa del suolo rispetto a quanto rilevato nella gestione convenzionale.

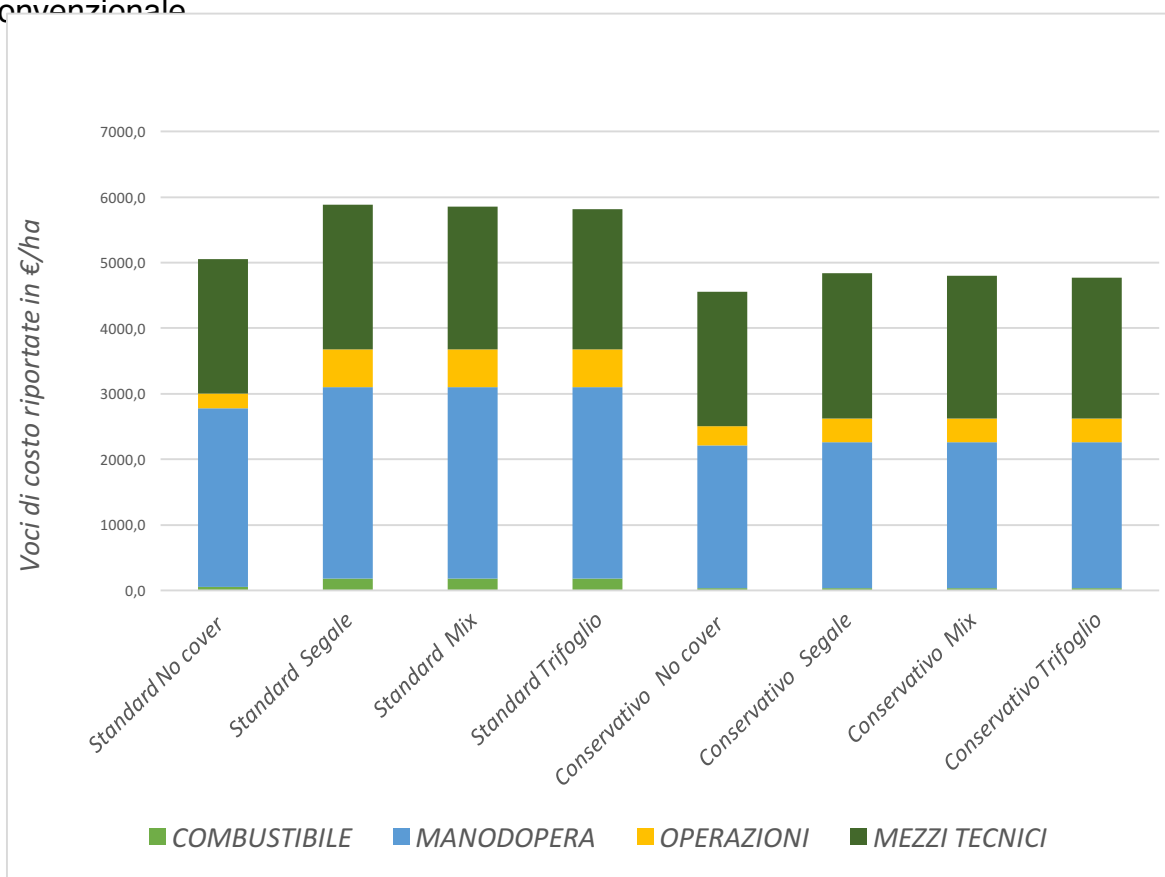


Fig. 49 – Voci di costo relative ai diversi itinerari tecnici posti a confronto.

Infine, i valori del reddito lordo, ottenuti come differenza tra la PLV e i costi variabili totali, sono riportati graficamente nella Figura 50.

Il reddito lordo, appare maggiormente influenzato dalla PLV, e quindi dalle performance produttive, e in minor misura dai costi sostenuti. A tale riguardo, infatti, i sistemi in cui sono stati ottenuti i valori più elevati del reddito lordo sono quelli in cui sono stati utilizzati il

miscuglio trifoglio + segale e il solo trifoglio come colture di copertura, indipendentemente dalla modalità di gestione delle stesse. L'utilizzo di una leguminosa (da sola o in mix) sembra quindi garantire un buon equilibrio tra i diversi servizi agroecologici offerti dalle cover, mentre l'impiego di sole graminacee (i.e. segale) può evidentemente determinare problematiche nutrizionali per il pomodoro senza fornire differenze statisticamente rilevanti in termini di controllo delle infestanti. La soluzione che ha prodotto i risultati agronomici ed economici migliori è stata infatti quella del miscuglio di graminacee e leguminose (segale e trifoglio), in quanto la combinazione tra le due componenti ha determinato vantaggi evidenti in fatto di accrescimento del pomodoro, in assenza di differenze significative in termini di controllo delle infestanti rispetto a quanto osservato nel caso dei sistemi in cui sono state utilizzate le singole specie. Il buon controllo della flora spontanea ottenuto con l'utilizzo del miscuglio, ha contribuito a determinare uno sviluppo e un accrescimento decisamente migliori e, conseguentemente, performance produttive ed economiche più elevate del pomodoro. Relativamente agli impieghi e ai costi di combustibile, appare comunque opportuno evidenziare come i sistemi conservativi siano stati caratterizzati da valori decisamente inferiori rispetto a quelli relativi alle strategie standard. Un minor utilizzo di gasolio si traduce in un più contenuto impiego di energia diretta e una riduzione delle emissioni di GHG. Pertanto, è possibile affermare che la gestione innovativa/conservativa sia anche legata a un miglioramento delle "performance ambientali" della coltivazione del pomodoro.

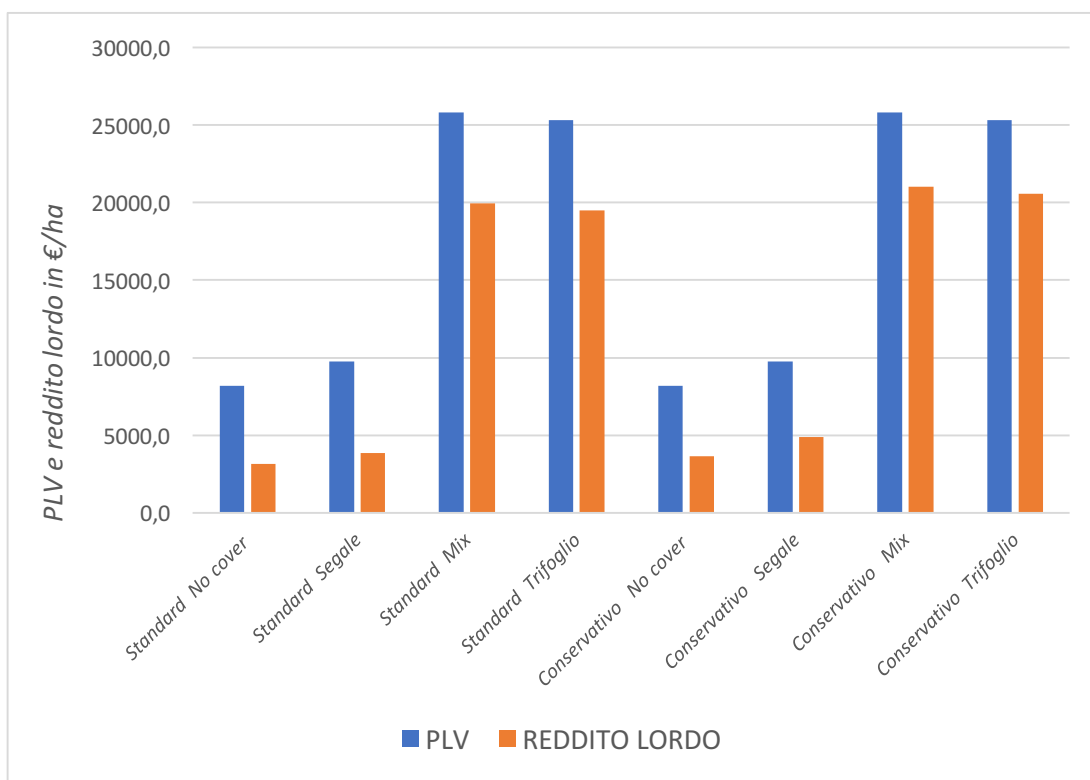


Fig. 50 – Valori della PLV e del reddito lordo relativi a tutti gli itinerari tecnici a confronto.

4) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE PROVE SPERIMENTALI “ON FARM” e “ON STATION”

Riguardo alla prova sperimentale on-farm, tutte le attività di ricerca previste dal progetto sono state svolte, nonostante le numerose difficoltà causate dall'emergenza sanitaria dovuta all'epidemia di COVID-19. Nel caso della sperimentazione da effettuare presso l'azienda Pasquini di Suvereto (LI), l'inizio delle operazioni in campo non ha potuto che essere successivo alla comunicazione ufficiale del finanziamento del progetto MEORBICO da parte del Ministero. Il ritardo è stato comunque compensato dalla tempestività della gestione delle diverse operazioni e dell'effettuazione dei relativi rilievi, anche durante il periodo di lockdown, attraverso contatti frequenti con l'agricoltore sia telefonici che in videoconferenza. La prova sperimentale

non ha subito sostanziali ritardi a causa della pandemia, dal momento che il lockdown è avvenuto in un momento transitorio del ciclo colturale (crescita vegetativa della cover crop) in cui non erano previsti né interventi colturali né rilievi sperimentali.

I risultati emersi dalle due prove sperimentali 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. 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. Nonostante le difficoltà riscontrate l'erpice a dischi attivi, la sarchiatrice di precisione e l'operatrice per il pirodiserbo utilizzate nella prova on-farm hanno dimostrato un'elevata adattabilità alle diverse condizioni colturali e un'ottima efficacia. 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 su sodo nella prova on-station hanno prodotto risultati molto soddisfacenti in termini di efficacia dei trattamenti. Pertanto, per quanto riguarda gli aspetti meccanici e operativi è possibile concludere che la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria, con l'utilizzo di strategie e di macchine innovative, appare decisamente promettente ed è supportata da valide soluzioni meccaniche che nel prossimo futuro potrebbero permetterne una maggiore diffusione su larga scala.

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. La prova on-farm ha inoltre confermato il valore chiave del suolo nella realizzazione di tali sistemi. 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 miscugli bilanciati di leguminose e di graminacee dotate di rilevanti proprietà allelopatiche, come è stato possibile osservare soprattutto nella prova on station.

La capacità delle leguminose di fissare l'azoto atmosferico è sfruttata in modo molto efficace da colture come il pomodoro le cui prime fasi di crescita avvengono in periodi generalmente caratterizzati da una buona disponibilità idrica e da temperature miti con elevato tasso di mineralizzazione della sostanza organica. A conferma di ciò, come già ricordato, i risultati migliori sono stati ottenuti, nella prova on-station, dai sistemi in cui è stato previsto l'utilizzo di una leguminosa, in purezza o in miscuglio, come cover crop. Questo aspetto, nonostante non supportato dai dati di cui è stato possibile disporre, è stato rilevato visivamente anche nella prova on-farm: la cover crop, a causa della semina tardiva e delle condizioni non ideali per il suo sviluppo, ha prodotto una biomassa composta quasi esclusivamente dalla graminacea (orzo) e con presenza decisamente esigua della leguminosa (veccia). In questa prova l'effetto stimolante per la crescita che doveva essere fornito dalla presenza della veccia non è stato riscontrato e ciò ha avuto evidenti ricadute sulle performance della coltura.

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 e a formare croste superficiali, 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 crop, 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. Un altro aspetto molto interessante che è emerso dalla valutazione dei risultati ottenuti in entrambe le prove sperimentali, riguarda la profondità di lavorazione del terreno effettuata prima dell'impianto sia delle le cover crop che della coltura principale. In tutti i sistemi messi a confronto, infatti, la profondità di lavoro non ha influenzato le performance tecniche ed economiche del pomodoro. L'utilizzo di strategie più "convenzionali" basate su lavorazioni profonde è risultata invece correlata 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 di entrambe le prove sperimentali sembrano confermare la sostenibilità dell'adozione di una gestione conservativa, a condizione che le scelte tecniche vengano valutate e 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 agroecologici forniti dalla gestione conservativa. Anche nei casi in cui i redditi non sono risultati soddisfacenti, come nei sistemi innovativi 1 e 2 della prova on-farm, l'adozione di tecniche conservative ha comunque fatto registrare costi di produzione inferiori a quelli dei sistemi convenzionali.

Considerati tutti gli aspetti sopra commentati e tenendo presente l'importanza dell'introduzione di tecniche conservative in agricoltura biologica, è possibile concludere che l'adozione di strategie basate sull'utilizzo di macchine innovative per la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria rappresenta una strada promettente e praticabile, sebbene sia necessario proseguire con un intenso lavoro di ricerca che consenta di acquisire maggiori conoscenze utili per limitare le problematiche legate alla coltivazione in ambienti "più difficili", e per la definizione di strategie appropriate in grado di permettere di ottenere performance agronomiche ed economiche elevate e pienamente soddisfacenti per gli agricoltori.

Tutto questo dovrà ovviamente trovare conferma nei risultati che saranno ottenuti nel secondo anno di sperimentazione che è attualmente in corso di svolgimento.

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

5.1 Descrizione del layout sperimentale e dei trattamenti

Nell'ambito del WP2 (Aspetti agronomici e gestionali), l'UU.OO. 2 (CiRAA) ha 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. Poiché l'effettuazione dei campionamenti di suolo necessari all'analisi di questi parametri 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), saranno 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, ritenuta un valido indicatore della biodiversità dell'agroecosistema.

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). , In particolare, nella ricerca si è avviato il confronto tra i seguenti sistemi:

- a. SISTEMA ORGANICO STANDARD (ORG): gestione delle cover crop come colture da sovescio (green manure) prima del trapianto delle colture orticole da reddito su terreno lavorato con zappatrici rotative, aiuolatrici o vangatrici. Controllo delle infestanti mediante sarchiatura di precisione nell'interfila, pirodiserbo e scerbatura manuale. Difesa delle colture mediante applicazione di mezzi tecnici ammessi ai sensi dell'allegato 2 del Reg. CE 2008/889. Fertilizzazione con prodotti solidi (pre-trapianto o nel solco di trapianto) o liquidi (fertirrigazione con impianto di irrigazione a goccia) utilizzando prodotti ammessi ai sensi dell'allegato 1 del Reg. CE 2008/889.
- b. SISTEMA ORGANICO CONSERVATIVO BASATO SU STRIP-TILLAGE (RED): coltivazione permanente di un living mulch di trifoglio bianco (*Trifolium repens* L. var. pipolina) su terreno lavorato con strip tillage a mezzo di una macchina appositamente realizzata dall'azienda CMA costruzioni di Forlì

(Figura 51). Controllo delle infestanti mediante sfalcatura periodica dell'interfila, pirodiserbo e scerbatura manuale. Difesa delle colture mediante applicazione di mezzi tecnici ammessi ai sensi dell'allegato 2 del Reg. CE 2008/889. Fertilizzazione con prodotti solidi (pre-trapianto o nel solco di trapianto) o liquidi (fertirrigazione con impianto di irrigazione a goccia) utilizzando prodotti ammessi ai sensi dell'allegato 1 del Reg. CE 2008/889.

- c. SISTEMA ORGANICO CONSERVATIVO BASATO SU NO-TILLAGE (PER): coltivazione permanente di un living mulch di trifoglio bianco (*Trifolium repens* L. var. pipolina) su terreno non lavorato, in abbinamento a trapianto diretto delle colture orticole da reddito mediante trapiantatrice diretta modificata (Figura 52). Controllo delle infestanti mediante sfalcatura periodica dell'interfila, pirodiserbo e scerbatura manuale. Difesa delle colture mediante applicazione di mezzi tecnici ammessi ai sensi dell'allegato 2 del Reg. CE 2008/889. Fertilizzazione con prodotti solidi (pre-trapianto o nel solco di trapianto) o liquidi (fertirrigazione con impianto di irrigazione a goccia) utilizzando prodotti ammessi ai sensi dell'allegato 1 del Reg. CE 2008/889, fatta eccezione per i concimi fosfatici, sostituiti con l'applicazione intra-solco al trapianto di un preparato a base di funghi micorrizici arbuscolari (Aegis®).



Fig. 51 – Macchina per lo strip-tillage



Fig. 52 – Macchina per il trapianto diretto degli ortaggi, equipaggiata con tramoggia per l'applicazione intra-solco di fertilizzanti.

Il dispositivo sperimentale, avviato nel triennio 2014-2017 nell'ambito del progetto FIRB SMOCA, coordinato dal DiSAAA-a dell'Università di Pisa, è tuttora oggetto del progetto H2020 IWMPraise (2017-2022).

Per MEORBICO, è previsto di utilizzare il dispositivo per lo studio di lungo termine degli effetti delle combinazioni testate su diversi aspetti della biodiversità (es. banca semi del suolo, qualità biologica del suolo, lombrichi, ecc.), aspetti che non è possibile analizzare sui dispositivi di breve termine messi in atto sia on-farm che on-station.

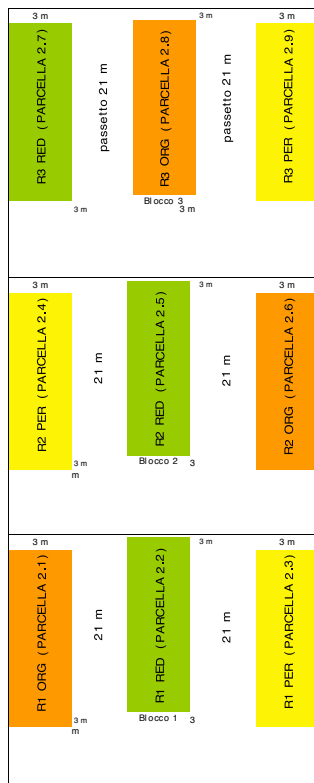
La rotazione colturale applicata nel dispositivo SMOCA è di durata triennale e prevede la successione tra le seguenti colture:

- Pomodoro da industria (*Solanum lycopersicum* L. cv. Brixsol)
- Radicchio Pan di Zucchero (*Cichorium intybus* L. var. Pan di Zucchero cv. Uranus)
- Melone (*Cucumis melo* L. cv. Bacir)
- Fava (*Vicia faba* var. maior cv. Aguadulce Supersimonia)
- Finocchio (*Foeniculum vulgare* L. cv. Montebianco)

Il campo sperimentale è diviso in due metà (Campo 1 e Campo 2), sulle quali è replicata la rotazione partendo da momenti sfalsati (pomodoro nel 2018 su campo 1, melone nel 2018 sul campo 2), in modo da ottenere due complete repliche della rotazione nell'arco di un triennio.

Ciascun campo è 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) (Figura 53).

Campo 2



Campo 1

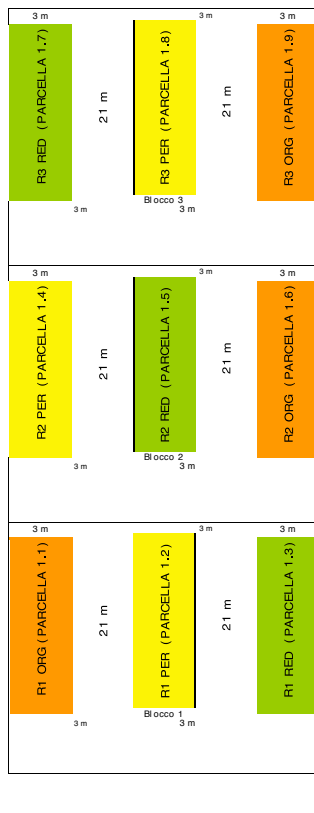


Fig. 53– Dispositivo sperimentale SMOCA: layout sperimentale

5.2 Rilievi ed elaborazioni sulla densità della flora spontanea

Nell'ambito del WP3, l'UO 3 (SSSA) ha effettuato nella prova on farm realizzata presso l'Azienda agricola Pasquini le seguenti misurazioni: analisi della biomassa della coltura di copertura e della vegetazione spontanea, al termine del ciclo della coltura di copertura, separando e pesando le biomasse di ciascuna specie presente, utilizzando i 6 campioni (0,5 m²) prelevati dall'UU.OO. 2. Il 12 maggio 2020. Dall'U.O. 3 sono stati effettuati due rilievi di densità (il 23/06/2020 e il 20/07/2020) della composizione floristica durante lo sviluppo della coltura di pomodoro, su aree di saggio di 50 x 50 cm, monitorando 12 aree per tesi, per ogni data di rilievo. In accordo con l'U.O. 2 sono stati determinati i valori di biomassa delle infestanti alla raccolta del pomodoro suddivise nelle singole specie spontanee presenti.

I dati così raccolti sono stati quindi elaborati e sottoposti alle seguenti analisi statistiche: calcolo dei valori di diversità floristica per quanto riguarda gli indici di Shannon, Pielou, Simpson e la ricchezza di specie. Tali valori sono stati sottoposti ad analisi della varianza, con uno schema sperimentale a blocchi. La tecnica della PERMANOVA ("Permutational analysis of variance") è stata impiegata per quantificare in che misura le tesi applicate hanno influenzato la composizione floristica espressa in campo. Utilizzando dei confronti incrociati, con l'opportuna correzione per i confronti multipli, è stato possibile verificare quale tesi si distinguesse per composizione floristica dalle altre. Successivamente una rappresentazione multidimensionale della composizione floristica è stata realizzata attraverso la tecnica della NMDS ("Non-metric multidimensional scaling") così da consentire una interpretazione immediata dei dati analizzati. Nel secondo anno di sperimentazione, i dati raccolti utilizzando gli stessi protocolli permetteranno di creare un database sufficientemente robusto per classificare ogni specie in accordo con le proprie caratteristiche funzionali o con i servizi/disservizi eco-sistemici associati. Tale database sarà utilizzato per realizzare analisi funzionali della composizione floristica, andando a misurare l'impatto di ogni tesi testata sui servizi, i disservizi e le funzioni potenzialmente svolte dalla flora selezionata.

Le stesse tecniche di caratterizzazione e analisi saranno applicate anche ai dati raccolti dall'U.O. 2 nell'ambito della prova on-station realizzata presso il CiRAA.

6) EVENTI DI DIVULGAZIONE E TRASFERIBILITA'

La trasferibilità dei risultati sarà garantita sia dall'interazione tra le esperienze di ricerca maturate nel corso degli anni dal partenariato e le esperienze pratiche del titolare dell'Azienda agricola biologica Pasquini (operatore sensibile all'innovazione e da tempo coinvolto da Università e Centri di ricerca in attività di trasferimento), sia dalle attività di divulgazione e di disseminazione dei risultati ottenuti nel primo anno e nel biennio di sperimentazione, che potranno aver luogo come previsto soltanto durante il secondo anno, con la speranza che le restrizioni dovute alla pandemia da Covid-19 possano attenuarsi e sia possibile organizzare giornate dimostrative, seminari e convegni in presenza. Come già riportato in precedenza, proprio per gli effetti della pandemia (lungi periodi di lockdown totale o parziale, operatività ridotta delle strutture di ricerca a causa dei contagi e dei periodi di quarantena, necessità di mantenimento di distanziamento sociale in ottemperanza alle norme anticontagio, etc.), il Coordinatore, di comune accordo con i responsabili delle altre due UU.OO., chiederà al Ministero una proroga di 6 mesi del progetto, in modo tale da poter mettere in atto una efficace e capillare opera di disseminazione delle conoscenze acquisite e dei risultati ottenuti, che permetta una larga diffusione delle strategie e delle macchine innovative per la gestione biologica e conservativa del pomodoro da industria.

Al riguardo, infatti, le iniziative previste nel progetto relativamente al trasferimento e alla divulgazione dei risultati ottenuti (quali la definizione, la realizzazione e l'illustrazione di una guida per l'impiego e la scelta delle macchine operatrici e delle cover crops e della loro gestione e per l'impianto delle colture orticole dopo minima lavorazione e su terreno sodo, incontri di ricerca-azione partecipativa tra gli agricoltori coinvolti nel progetto e i ricercatori, l'organizzazione di field-days con coinvolgimento di agricoltori, tecnici del settore bio e ricercatori, l'organizzazione di convegni e seminari a carattere nazionale e Incremento delle informazioni tecniche a supporto della normativa bio, l'illustrazione pratica delle nuove strategie e delle macchine innovative utilizzate al fine di ottenere un miglioramento della meccanizzazione per la gestione delle cover crop e per il trapianto su sodo, etc.) destinate a ricercatori, agricoltori, tecnici, costruttori di macchine agricole, imprese sementiere, imprese agro-meccaniche, consumatori, etc., potranno aver luogo soltanto nel secondo anno ed essere completate grazie alla concessione di un adeguato periodo di proroga. Nel corso del primo anno di attuazione del progetto MEORBICO, comunque, è risultato possibile soltanto organizzare e realizzare, oltre ai

previsti incontri partecipati con l'agricoltore Alessandro Pasquini atti alla definizione condivisa delle strategie adottabili nella sua azienda e della loro modalità di gestione nel corso del ciclo produttivo del pomodoro da industria nel 2020, alcuni piccoli eventi dimostrativi e informali presso sia l'azienda Pasquini che il CiRAA che hanno coinvolto un numero ridotto di agricoltori e tecnici nel rispetto delle norme anti-contagio e che hanno avuto luogo in occasione degli interventi effettuati con le macchine agricole innovative per la gestione conservativa e biologica del pomodoro (coltivatore combinato, operatrice per il pirodiserbo, sarchiatrice di precisione, rullo a lame, trapiantatrice da sodo, etc.)

Come Coordinatore Nazionale mi ritengo infine decisamente soddisfatto delle attività di ricerca svolte on farm e on station, 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, al termine del Progetto MEORBICO, 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, 14/02/2021

Il Coordinatore Nazionale del Progetto

(Prof. Andrea Peruzzi)
Firmato digitalmente