



REGIONE
LAZIO



BIOFORTI

LO SVILUPPO DI NUOVE METODICHE DI ORTICOLTURA BIOLOGICA DAL VIVAIO AL CAMPO



Pubblicazione realizzata e stampata con il contributo della Regione Lazio nell'ambito del progetto: "Sviluppo di nuove metodiche di orticoltura biologica dal vivaio al campo " finanziato ai sensi del Reg (UE) n. 1305/2013 e ss. mm. e ii. PSR Lazio 2014-2020 - Mis. 16.2.1 "Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie" - Cod. CUP F59H23000010009

1. PREMESSA	4
2. IL PROGETTO	9
2.1 I modelli previsionali testati	12
<i>WP1 – Tecniche innovative per la protezione di alcune colture orticole rispetto ad alcuni patogeni chiave</i>	
<i>WP2 – Tecniche innovative per la coltivazione e la fitoregolazione</i>	
<i>WP3 – Protocolli colturali per le principali orticole</i>	
<i>WP4 – Protocolli colturali in vivaio per le principali colture realizzate</i>	
3 MONITORAGGI EFFETTUATI	14
3.1 Az. Agr. Liotti	18
3.2 Az. Agr. Milito	20
3.3 Az. Agr. Turcato	23
3.4 Az. Agr. Liotti	23
4. IL GESTIONALE FITOPERATIVO	29
5. CONCLUSIONI	30
6. BIBLIOGRAFIA	33
7. I PARTNER	34

1. PREMESSA

Nell'areale in cui si sono realizzate le attività sperimentali, una tecnica consolidata dalla fine degli anni novanta, prevalentemente in coltura protetta, è la solarizzazione dei suoli. Negli ultimi trenta anni, tale pratica ha consentito agli agricoltori un notevole risparmio di input chimici per la sterilizzazione dei suoli (Vapam, DD Soil, Bromuro di metile, ecc.) e di conseguenza un notevole riduzione dell'impatto ambientale in termini di riduzione di inquinamento, contaminazione delle produzioni, minori rischi per i lavoratori e non ultimo un notevole risparmio in termini economici.

Tuttavia, nel corso degli anni, terminata quella fase di introduzione della tecnica ad opera di personale tecnico indipendente (sia divulgatori agricoli della Regione Lazio, che tecnici indipendenti nell'ambito di programmi regionali di Lotta biologica ed integrata), la tecnica non sempre si è realizzata attenendosi ai canoni di efficienza dettati dai risultati di ricerca e sperimentali.

Infatti, in alcune aziende si è pensato che la semplice chiusura ermetica della serra durante i mesi più caldi (giugno e agosto) potesse avere effetti simili in termini di riduzione del potenziale di inoculo dei suoli, in altri casi, numerose aziende usualmente aggiungono dei fitofarmaci (Vapam, DD soil, ecc) a basso dosaggio allo scopo di potenziarne gli effetti contro le malerbe. Altra variante è la realizzazione della solarizzazione senza la copertura con film plastico, ma ondulando il terreno con delle assolcature ravvicinate, allo scopo di potenziare l'incidenza dei raggi solari.

Tutte queste modifiche della tecnica, oltre ad alterarne l'efficacia, hanno in alcuni casi portato all'abbandono della tecnica stessa da parte degli agricoltori

Tuttavia, in sistemi colturali intensivi, è indubbio che la tecnica della solarizzazione potrebbe contribuire alla riduzione della sostanza organica nei suoli, in particolare della componente rappresentata da organismi viventi (funghi, batteri, nematodi, alghe, ecc), e questo potrebbe determinare la disaffezione degli operatori nei riguardi di questa tecnica che negli ultimi anni ha dato e continua a dare ottimi risultati in termini di efficienza ed efficacia.

Tenendo conto di questo contesto, l'attività svolta nel WP3 si è focalizzata sullo studio dell'impatto della solarizzazione sulle componenti microbiche dei suoli, effettuando delle analisi chimico fisiche e microbiologiche degli stessi prima e dopo la realizzazione della tecnica.

Tale sperimentazione, potrebbe contribuire alla diffusione e all'ulteriore consolidamento di una tecnica che risulta essere a pieno titolo una pratica consentita in agricoltura biologica, ma anche ampiamente utilizzata dalle aziende convenzionali, che eventualmente possono prevedere una più agevole conversione al biologico.

Un ulteriore approfondimento dell'indagine potrebbe consentire di individuare, nei terreni dopo la solarizzazione, eventuali impatti sui gruppi di microrganismi utili per le colture in generale o per delle specifiche famiglie di vegetali coltivati, al fine di un

eventuale potenziamento delle popolazioni microbiche carenti.

In Agro Pontino, l'espansione dell'orticoltura intensiva e delle colture protette ha determinato una notevole riduzione della biodiversità del macrobiota tellurico e quindi delle popolazioni di organismi benefici che popolano i suoli.

L'incremento della biodiversità della vegetazione associata alle colture ortive oggetto di indagine sperimentale è stato pertanto l'elemento fondamentale del protocollo di gestione biologica implementato nelle aziende del Gruppo Operativo

WP1 –Tecniche innovative per la protezione

“Applicazione di una strategia agro-ecologica per il controllo di insetti dannosi alle colture di pomodoro, zucchini e anguria in Pianura Pontina”

1. Premessa

In Pianura Pontina, le strategie di difesa convenzionali per il controllo degli insetti fitofagi chiave delle colture orticole, basate prevalentemente sull'impiego di insetticidi chimici, risultano sovente non risolutive per la parziale inefficacia dei principi attivi utilizzati, i pochi principi attivi registrati per la coltura da difendere, l'insorgenza di fenomeni di resistenza nelle popolazioni di insetti fitofagi. In aggiunta, gli effetti indesiderati per l'ambiente dell'uso eccessivo degli insetticidi chimici possono essere elevati: tossicità verso gli artropodi entomofagi (predatori e parassitoidi) ovvero i nemici naturali degli insetti dannosi; tossicità verso gli insetti impollinatori; inquinamento del suolo e dei corsi d'acqua con ripercussioni negative sulla fauna selvatica; residui nei prodotti raccolti; problemi di ordine igienico-sanitario per gli operatori del settore agricolo e per gli abitanti in zone ad agricoltura intensiva convenzionale.

Tenendo conto di questo contesto, l'attività svolta nel WP1 si è focalizzata sull'implementazione di strategie alternative di controllo degli insetti fitofagi, che potessero essere di efficacia comparabile alle strategie convenzionali, compatibili con la salvaguardia dell'ambiente e sostenibili economicamente. Le strategie sperimentate avevano l'obiettivo di sviluppare un approccio di gestione della difesa applicabile in agricoltura biologica, allo scopo di favorirne la diffusione in Pianura Pontina, ma allo stesso tempo di rendere la strategia applicabile anche in un contesto convenzionale. Ciò affinché quest'ultimo possa risultare meno impattante sull'ambiente e per traghettare la conversione da convenzionale a biologico.

Un aspetto di rilievo nei protocolli di difesa in agricoltura biologica è lo sfruttamento degli antagonismi naturali per il controllo di insetti ed acari dannosi alle colture. L'impiego di artropodi predatori e imenotteri parassitoidi, mediante lanci inondativi o inoculativi stagionali, per il controllo di fitofagi di colture in serra è una pratica consolidata in numerose realtà produttive, incluso le serre fredde in ambiente mediterraneo (van Lenteren 2001, van der Velden et al. 2012, Perez-Hedo et al. 2017, van Lenteren et al. 2018), ma richiede adattamenti alle specifiche realtà produttive.

La strategia che si è sperimentata nel WP1 intendeva perseguire il suo obiettivo massimizzando l'attività degli antagonisti naturali, non solo attraverso l'abbandono degli insetticidi chimici di sintesi non selettivi e l'uso di agenti di controllo biologi-

co disponibili commercialmente, ma anche attraverso strategie di conservazione delle popolazioni selvatiche di predatori e parassitoidi, promuovendo la biodiversità della vegetazione ai bordi ed all'interno degli appezzamenti coltivati.

In natura, la vegetazione spontanea garantisce la presenza di ospiti alternativi per le specie di imenotteri parassitoidi e fornisce agli stessi alimento (nettare, liquidi zuccherini) necessario alla sopravvivenza degli adulti e alla loro attività riproduttiva. Sulla vegetazione spontanea le specie predatrici permangono grazie alla disponibilità di prede; alcune piante sono poi indispensabili per la riproduzione di alcuni predatori (ad es., i miridi sono predatori generalisti attivi su numerose piante, sia erbacee che arboree, che hanno bisogno di alcune specie erbacee per riprodursi, deponendo le uova nei loro tessuti fogliari). La vegetazione spontanea rappresenta un'area rifugio all'interno della quale gli insetti entomofagi possono svernare e/o trovare protezione in occasione di eventi climatici avversi o quando sono effettuati interventi con pesticidi nei campi coltivati. Le fioriture delle essenze spontanee garantiscono una fonte alimentare per i pronubi e quindi una maggiore presenza di impollinatori nelle colture ad impollinazione entomofila, con incremento della quantità e qualità dei frutti. Il polline, inoltre, è utilizzato da alcuni predatori come alimento alternativo in assenza di prede.

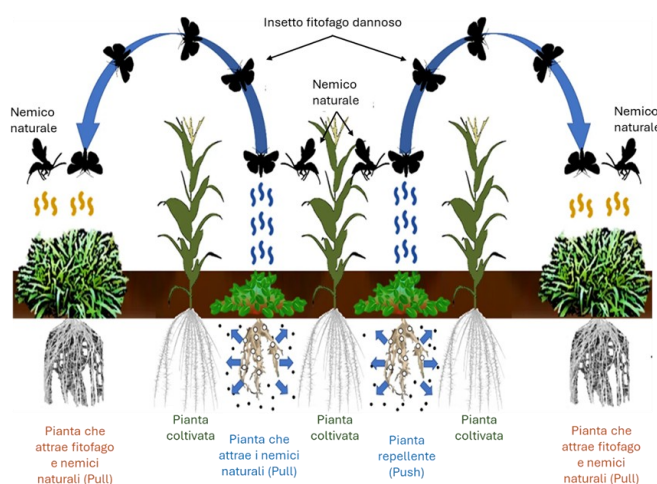
La gestione delle colture attraverso l'incremento della biodiversità funzionale e dei servizi ecosistemici rappresenta una strategia fondamentale per ridurre e prevenire l'esplosione di popolazioni fitofaghe economicamente dannose, per incrementare la produttività e la resilienza delle colture e salvaguardare l'ambiente (Wratten et al. 2012, Gurr et al. 2017, Perez-Hedo et al. 2017, Perovic et al. 2018), attraverso il riequilibrio delle catene trofiche negli agroecosistemi, all'interno ed all'esterno dei campi coltivati, e l'incremento della biodiversità e dell'attività degli antagonisti naturali (Gurr et al. 2017; Lescourret et al. 2016).

In Pianura Pontina, l'espansione dell'orticoltura intensiva e delle colture protette ha determinato una notevole riduzione della biodiversità della vegetazione naturale e quindi delle popolazioni di artropodi benefici.

L'incremento della biodiversità della vegetazione associata alle colture ortive oggetto di indagine sperimentale è stato pertanto l'elemento fondamentale del protocollo di gestione biologica implementato nelle aziende del Gruppo Operativo. La biodiversità della vegetazione è stata incrementata in fasce di terreno perimetrali o marginali alle colture (border-crop management) e attraverso la semina/trapianto di essenze erbacee e non effettuando interventi di diserbo. Per il border-cropping sono state utilizzate due tipologie di essenze erbacee: (i) piante con spiccata attività pollinifera e nettarifera che potessero garantire un supporto alimentare idoneo per la sopravvi-

venza delle popolazioni di antagonisti naturali e degli impollinatori; (ii) specie vegetali che favoriscono la riproduzione di predatori (es. miridi, che depongono le uova nei tessuti di alcune piante); (iii) specie vegetali infestate da insetti non dannosi alla coltura che sono utilizzati, per l'alimentazione o la riproduzione, dagli antagonisti naturali (predatori e parassitoidi) degli insetti dannosi. All'interno delle coltivazioni (in-crop management) è stata attuata la consociazione con essenze vegetali ad attività repellente nei confronti di insetti fitofagi, anche in combinazione con specie di piante che favoriscono l'attività degli antagonisti naturali.

L'approccio agro-ecologico implementato in Bioforti per la protezione delle colture è noto a livello internazionale come "Push and Pull" (Khan et al. 2016, Xu et al. 2018), che sfrutta la capacità delle piante di produrre composti chimici volatili



Rappresentazione schematica della strategia agroecologica di protezione della coltura con l'approccio "Push and Pull" (da Libran-Embidi et al. 2023)

(odori) che possono repellere gli insetti fitofagi o attrarre gli antagonisti naturali. Questa strategia viene realizzata consociando la coltura con piante ad effetto repellente, che respingono (Push) i fitofagi dal campo coltivato e piante che attraggono (Pull) gli antagonisti naturali nella coltura o i fitofagi all'esterno della coltivazione.

2. Metodologia sperimentale

Colture ortive e insetti fitofagi oggetto di sperimentazione

L'attività sperimentale è stata focalizzata sui fitofagi chiave, in Pianura Pontina, di pomodoro da mensa, zucchino e anguria. Gli insetti fitofagi per i quali è stato sviluppato l'approccio agro-ecologico di difesa sono stati: le mosche bianche *Trialeurodes vaporariorum* e *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), su pomodoro e zucchino; la minatrice sud-americana *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) su pomodoro; l'afide *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) su zucchino e anguria.

I danni arrecati da questi insetti possono essere ingenti in Pianura Pontina. L'ecces-

siva proliferazione di mosche bianche e afidi può debilitare le piante infestate per la sottrazione di linfa, la produzione di melata e lo sviluppo di fumaggine, con riduzione della produzione sia quantitativa che qualitativa (imbrattamento dei frutti). Su anguria, forti infestazioni di *A. gossypii* possono compromettere l'accrescimento delle piante (accartoccamento dei germogli) e rendere improduttiva la coltivazione. Mosche bianche e afidi sono inoltre vettori di virus fitopatogeni la cui diffusione può compromettere la redditività delle colture, in particolare delle cucurbitacee. Sebbene l'attività trofica delle larve di *T. absoluta* possa compromettere seriamente lo sviluppo delle piante di pomodoro, nella generalità dei casi il maggior danno è a carico dei frutti, che nelle annate peggiori ha interessato oltre il 50% dei frutti raccolti, per lo più non commercializzabili. Per il controllo di questi fitofagi gli imprenditori agricoli della Pianura Pontina ricorrono a più interventi con insetticidi chimici nel corso del ciclo colturale, sovente in combinazione con misure preventive di tipo fisico, rappresentate da rete anti-insetto o tessuto non tessuto applicati alle aperture delle serre o direttamente sulla coltivazione, durante le fasi iniziali di sviluppo di quest'ultima.

I cicli colturali durante i quali sono state condotte le attività sperimentali sono stati:

Zucchini in serra: autunno-primaverile, invernale-primaverile e primaverile-estivo;

Pomodoro in serra: primaverile-estivo;

Anguria in pieno campo: primaverile-estivo.

Strategia agro-ecologica per la difesa delle colture

L'approccio seguito per lo sviluppo della strategia agro-ecologica oggetto di sperimentazione è consistito nel combinare differenti metodologie di difesa, attuabili in biologico, in modo da ottenere un contemporaneo ridimensionamento delle popolazioni dei fitofagi chiave, ma anche di eventuali altre specie dannose.

L'approccio agro-ecologico intendeva ottenere un incremento delle popolazioni naturali di antagonisti naturali attraverso l'aumento della biodiversità vegetazionale, sia perimetralmente (border-crop management) che all'interno (in-crop management) delle coltivazioni sperimentali. In caso di necessità (es. antagonisti naturali poco numerosi o assenti, popolazioni degli insetti dannosi molto elevate), è stata prevista (i) l'introduzione di agenti di controllo biologico commercializzati da biofabbriche, includendo sia specie generaliste, quindi attive su più fitofagi (es. il predatore *Macrolophus pygmaeus* per il controllo di aleirodidi, *T. absoluta* e afidi), o più specializzate come i parassitoidi di afidi (es. *Aphidius colemani* per il controllo di *A. gossypii*) o il *Bacillus thuringiensis* per il controllo dei lepidotteri; (ii) l'impiego di formulati insetticidi di origine naturale ammessi in agricoltura biologica.

La **pianta repellente** utilizzata per l'in-crop management di zucchini e pomodoro è stata la specie *Tagetes erecta* (Asteraceae). Osservazioni di laboratorio e di campo hanno evidenziato che i composti chimici volatili (composti odorosi) prodotti dalle piante di *Tagetes* hanno un'azione repellente verso alcuni insetti fitofagi, tra cui mosche bianche e *Tuta absoluta*, proteggendo la coltura consociata, senza interferire negativamente sull'attività degli antagonisti naturali (ad es. dei miridi predatori). In aggiunta, gli essudati radicali di *Tagetes* hanno un'attività soppressiva verso i nematodi galligeni *Meleoidogyne incognita* (Conboy et al. 2019, Matu et al. 2021, Adams et al. 2023). Pertanto, piante di *Tagetes* sono state consociate nelle coltivazioni di zucchini e pomodoro, allo scopo di ottenere una riduzione della presenza di mosche bianche e su pomodoro, di *T. absoluta*. La consociazione è stata realizzata trapiantando *Tagetes* sulle file di pomodoro e zucchine, in corrispondenza del trapianto della coltura. Le modalità sono dettagliate nella descrizione delle prove sperimentali.

Per favorire l'attività degli antagonisti naturali, nelle coltivazioni oggetto dell'applicazione della strategia agro-ecologica, sono state introdotte perimetralmente alla superficie coltivata specie vegetali diverse, scelte in relazione alla coltura sperimentale (pomodoro o cucurbitacee).

Piante da fiore utilizzate in Bioforti in consociazione con zucchini o pomodoro in serra

Consociazione nella coltura
Azione repellente su mosche bianche
e *Tuta absoluta*

Tagetes erecta (Asteraceae)



Piante utilizzate per bordura (border-cropping)
Attrazione degli antagonisti naturali



Calendula officinalis (Asteraceae)



Verbena x Hybrida (Verbenaceae)



Lobularia maritima (Brassicaceae)

Nel caso di **zucchini** e **anguria**, le specie vegetali scelte per il **border-cropping** sono state **orzo** e **grano** (Graminacee). Queste piante, in natura, sono infestate da diverse specie di afidi (*Ropalosiphon padi*, *Sitobion avenae*, ed altre), che non sviluppano sulle colture ortive e le cui colonie sono frequentate da numerosi antagonisti naturali. Tra questi, alcuni Imenotteri parassitoidi (ad es. *Aphidius colemani* e *Aphidius ervi*) e diversi gruppi di predatori (Coccinellidi, Crisopidi, Sirfidi) sono

importanti agenti di controllo biologico dell'afide delle cucurbitacee, *A. gossypii*. A campo aperto, è noto che le coltivazioni di anguria in prossimità di campi di grano beneficiano grandemente degli antagonisti naturali degli afidi delle graminacee, che contribuiscono a mantenere basso il livello di infestazione di *A. gossypii*. Alcuni di questi antagonisti naturali (es. *Aphidius colemani*, *Chrisoperla carnea*, *Adalia bipunctata*, *Aphidoletes aphidimyza*) sono prodotti da biofabbriche e commercializzati per inoculazioni in coltura protetta per il controllo biologico di *A. gossypii*. Per favorire lo sviluppo delle popolazioni degli antagonisti inoculati in serra, si può fare ricorso alla contemporanea introduzione in serra di piante-banca (**banker plants**), rappresentate da graminacee allevate su terriccio in vaso e infestate da afidi, sui quali gli antagonisti possono riprodursi anche se l'*A. gossypii* è presente a bassa densità sulla coltura. Un'estensione del concetto di banker plant è il border-cropping con graminacee. Questa tecnica è da molti anni utilizzata, particolarmente in aziende biologiche, in alcuni comprensori orticoli sia in Italia (es. Piana del Sele) che all'estero (Spagna), ma non ha trovato ancora applicazione in Pianura Pontina. L'attività sperimentale di Bioforti ha previsto il border-cropping di graminacee sia in serra, per lo zucchino, che a pieno campo, per l'anguria. Le modalità di realizzazione del border-cropping sono dettagliate nella descrizione delle singole prove sperimentali. Allo scopo di favorire una rapida colonizzazione della coltura da parte degli antagonisti naturali di *A. gossypii*, la bordura è stata inoculata, durante la prima metà del suo sviluppo, con l'afide *Ropalosiphon padi*. L'allevamento di *R. padi* è stato mantenuto presso il laboratorio del CNR-IPSP di Portici, dove sono stati preparati gli inoculi da introdurre nelle serre. Gli inoculi consistevano di giovani piantine di orzo in vaso (banker plants), infestate da afidi, che poi venivano trapiantate all'interno della bordura.

Inoculazione dell'afide *Ropalosiphon padi* nelle fasce perimetrali di graminacee mediante trapianto di banker plant

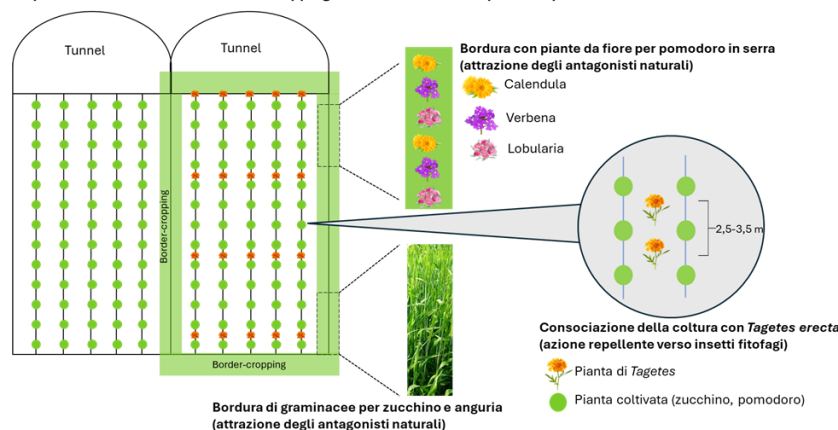


Per il **pomodoro in serra**, obiettivo del **border-crop management** era quello di favorire l'**attività dei principali antagonisti naturali** di mosche bianche e *Tuta absoluta*, tra cui i Miridi predatori, principalmente rappresentati dalle specie *Nesidiocoris tenuis* e *Macrolophus pygmaeus*.

I **Miridi predatori** sono insetti zoo-fitofagi che si nutrono prevalentemente di artropodi, predando stadi giovanili e adulti di mosche bianche, uova e piccole larve di lepidotteri, afidi, larve minatrici di ditteri ed in minor misura tripidi e acari. Tuttavia, possono alimentarsi anche dei succhi vegetali pungendo i vari organi della pianta. Quando le popolazioni di miridi diventano molto numerose, se vi è carenza di prede, la loro attività trofica sulla coltura può aumentare sensibilmente e causare anche danni economici. Le punture di alimentazione causano la formazione di anelli necrotici sugli steli, inibendo l'accrescimento della pianta, e sui peduncoli fiorali, causando la cascola di fiori e frutticini. In linea generale, i benefici legati all'attività dei miridi predatori sono superiori ai potenziali rischi ed il loro uso su pomodoro in serra è molto diffuso in ambiente Mediterraneo, in considerazione della costante presenza di insetti fitofagi sulle colture, e quindi di prede (Perez-Hedo et al. 2017, Giorgini et al. 2019). I miridi sono commercializzati da biofabbriche ed inoculati in serra su pomodoro, talora già durante lo sviluppo in vivaio, per il controllo biologico di mosche bianche e *T. absoluta*.

Il **border-cropping su pomodoro in serra** è stato, pertanto, realizzato utilizzando tre essenze floristiche, con l'obiettivo di fornire ai miridi predatori piante su cui riprodursi (i miridi depongono le uova nei tessuti fogliari di numerose piante, incluso il pomodoro coltivato), rifugiarsi e alimentarsi, riducendo il rischio associato al potenziale danno da punture di alimentazione sulle piante di pomodoro. Sono state introdotte, perimetralmente alla coltura, piante delle specie *Calendula officinalis* (Asteracee), *Verbena hybrida* (Verbenacee) e *Lobularia maritima* (Brassicacee), che oltre a favorire la presenza e l'attività dei miridi predatori, costituiscono fonti di polline e nettare di cui si nutrono numerosi **insetti benefici**. La presenza di queste piante può favorire una maggiore presenza in serra di antagonisti naturali in genere (Imenotteri parassitoidi, insetti e acari predatori) e impollinatori. Le modalità di realizzazione del border-cropping con calendula, verbena e lobularia sono dettagliate nella descrizione delle singole prove sperimentali. Le stesse piante sono state utilizzate anche in consociazione al pomodoro lungo le file di coltivazione (in-crop management).

Schema generale di incremento della biodiversità funzionale, adottato nel modello agroecologico Bioforti di protezione delle colture: border-cropping e consociazione con piante repellenti



Oltre all'incremento della biodiversità della vegetazione, attraverso border-cropping e consociazione, le altre **componenti della strategia agro-ecologica** sono state:

- assenza di trattamenti con insetticidi chimici di sintesi;
- utilizzo di insetticidi di derivazione naturale autorizzati in agricoltura biologica solo se strettamente necessario;
- inoculazione in serra di agenti di controllo biologico se le popolazioni naturali di parassitoidi e predatori fossero state di scarsa entità.

Per ciascuna coltura oggetto di sperimentazione la strategia agroecologica Bioforti è stata messa a **confronto con la strategia di difesa convenzionale** adottata dall'imprenditore agricolo per il controllo di insetti ed acari. Le **due tesi sperimentali**, ovvero strategia Bioforti e strategia convenzionale, sono state realizzate su due appezzamenti contigui. Modalità di impianto, cultivar, tecnica di coltivazione e difesa da funghi e batteri patogeni non si sono differenziate tra le due tesi sperimentali.

Modalità di campionamento

Per ogni coltura oggetto di sperimentazione, al fine di valutare l'efficacia della strategia agroecologica Bioforti rispetto a quella convenzionale di riferimento, sono stati effettuati campionamenti nei due appezzamenti adibiti ciascuno ad una delle due tesi sperimentali, durante tutto il ciclo culturale. I campionamenti sono stati condotti su un numero rappresentativo di piante distribuite uniformemente nella coltivazione ogni 7-10 giorni; per ogni pianta è stato osservato un numero rappresentativo di organi. Le due tesi sperimentali, Bioforti e convenzionale, sono state confrontate tanto per il livello di infestazione degli insetti fitofagi e il danno associato, che per il livello di attività degli antagonisti naturali. Sulle piante campionate è stata valutata la presenza

di insetti e acari fitofagi, il numero di individui delle specie dannose chiave oggetto di indagine (mosche bianche, *A. gossypii* e *T. absoluta*), il numero di antagonisti naturali (parassitoidi e predatori), l'entità del danno sui frutti alla raccolta. I dettagli della modalità di campionamento sono riportati nella descrizione delle singole prove sperimentali.

I campionamenti sono stati realizzati dal personale tecnico del partner capofila, la SIA, con la supervisione, attraverso sopralluoghi periodici nelle colture sperimentali, dei ricercatori del CNR-IPSP. Questi hanno anche provveduto alla formazione del personale SIA, in merito alla tecnica di campionamento ed alla corretta identificazione sul campo dei diversi stadi di sviluppo degli insetti fitofagi e degli antagonisti naturali.

3. Attività sperimentali e Risultati

La descrizione delle varie prove di campo e dei relativi risultati è presentata per coltura e per azienda del Gruppo Operativo coinvolta.

3.1 Zucchino

Obiettivo

Valutazione dell'effetto del border-cropping con graminacee e della consociazione con piante repellenti sul controllo di *Aphis gossypii* e mosche bianche su zucchino in coltura protetta

Metodologia sperimentale

La sperimentazione è stata condotta su zucchino in serra sia a ciclo autunno-primaverile che a ciclo invernale-estivo.

Lo sviluppo delle popolazioni di insetti fitofagi, il livello di infestazione e il danno arrecato alla produzione, oltre alla presenza e all'attività degli antagonisti naturali, sono stati valutati nelle colture oggetto di studio, confrontando quanto osservato nella coltura gestita in modo convenzionale dall'imprenditore agricolo (controllo aziendale) con i risultati ottenuti nella parte della coltura gestita con la strategia agroecologica Bioforti. L'afide *Aphis gossypii* e le mosche bianche *Bemisia tabaci* e *Trialeurodes vaporariorum* sono stati gli insetti target della sperimentazione, in qualità di fitofagi chiave della coltura di zucchino in serra.

Nell'appezzamento Bioforti, la **consociazione con la pianta repellente** verso le mosche bianche è stata realizzata trapiantando piantine di *Tagetes* lungo le file di coltivazione dello zucchino e contestualmente al trapianto della coltura (da 7 giorni prima a 7 giorni dopo il trapianto dello zucchino). Le piantine di *Tagetes* sono state

trapiantate tra due piantine di zucchini, senza alterare il sesto di impianto della coltura e diminuirne la densità; in aggiunta, piante di *Tagetes* sono state collocate alle due testate di tutte le file di zucchini. Lungo la fila il *Tagetes* è stato trapiantato ogni 4-5 piante di zucchini, in modo da realizzare una spaziatura tra le piante di *Tagetes* di 3-3,5 m.

Post-trapianto del *Tagetes* e fase iniziale della coltura di zucchini



La **bordura di graminacee** è stata realizzata, nell'appezzamento Bioforti, seminando orzo e grano (per alimentazione zootecnica) all'interno della serra, tra tunnel consecutivi, lungo la linea di gronda e dove possibile anche in testata. Allo scopo di favorire l'instaurarsi nella serra di popolazioni di antagonisti naturali, in particolare di imenotteri parassitoidi (es. *Aphidius colemani*) attivi su *Aphis gossypii* e di predatori (es. coccinellidi, crisopidi, sirfidi) attivi su *A. gossypii* e altri insetti fitofagi, [la bordura è stata inoculata, durante la prima metà dello sviluppo della graminacea, con l'afide *Ropalosiphon padi*, utilizzato come preda dagli antagonisti naturali e non dannoso alla coltura. L'afide *R. padi* è stato allevato presso il laboratorio del CNR-IPSP di Portici, dove sono stati preparate le baker plant \(inoculi\) da trapiantare all'interno della bordura.](#)

Per ogni coltivazione di zucchini oggetto di sperimentazione, sono state realizzate **due tesi sperimentali**, ovvero controllo aziendale in un appezzamento e Bioforti in un altro. Rispetto al controllo aziendale, nell'appezzamento Bioforti, oltre alla consociazione con piante repellenti e alla bordura di graminacee, non sono stati eseguiti trattamenti insetticidi con principi attivi di sintesi. La difesa anticrittogamica per il controllo di oidio, peronospora e batteriosi è stata identica tra le due tesi sperimentali.

Il **campionamento** degli insetti fitofagi e degli antagonisti naturali è stato realizzato durante tutto il ciclo colturale con frequenza di 7-10 giorni. Ad ogni campionamento sono state osservate 60-64 piante/trattamento, distribuite uniformemente negli appezzamenti monitorati (8-12 piante/fila di zucchini all'interno di ciascun tunnel). Su ciascuna pianta il numero di mosche bianche (adulti) e il numero di afidi (forme attere e alate) è stato contato su quattro organi: il germoglio apicale, la prima foglia apicale distesa, una foglia intermedia ed una foglia basale. Ciascuna pianta è stata osservata poi per la presenza di fitofagi e di antagonisti naturali (mummie di afidi parassitizzati e adulti di parassitoidi; uova, larve e adulti di predatori).

L'attività sperimentale è stata condotta nella stagione 2023-2024 su due coltivazioni di zucchini a ciclo autunno-primaverile, mentre nella stagione 2024-2025 su due coltivazioni di zucchini a ciclo autunno-primaverile, una a ciclo invernale-estivo ed una a ciclo primaverile-estivo.

3.1.1. Azienda Donnarumma Gaetano, Terracina (LT)

3.1.1.1. Zucchini ciclo autunno-primaverile 2023-2024



Superficie totale 2800 m²

BIOFORTI 560 m² (2 tunnel)

Controllo Aziendale 2200 m² (8 tunnel)

Bordura Orzo: esterno serra

Bordura Orzo: interno serra



coltivazione di zucchini oggetto di sperimentazione insisteva in una serra multi-tunnel della superficie di 2800 m² (10 tunnel, ciascuno di 280 m², 35 m x 8 m). All'interno di ciascun tunnel lo zucchini era coltivato su quattro file, di cui due binate al centro e due laterali singole. La varietà utilizzata è stata Sibilla (Clause) con trapianto 23/11/2023. La raccolta è terminata a fine giugno 2024.

Allo scopo di limitare la colonizzazione della coltura in post-trapianto, nel periodo autunnale, da parte di insetti, in particolare *B. tabaci* e afidi, entrambi vettori di virus fitopatogeni, tutte le finestre e le porte della serra sono state sigillate con tessuto

La

non tessuto, che è stato rimosso ai primi di febbraio.

L'appezzamento Bioforti occupava due tunnel affiancati, su un lato della serra (560 m²). Il campionamento è stato eseguito nei due tunnel Bioforti, campionando 8 piante di zucchini/fila, per un totale di 64 piante. Degli 8 tunnel del controllo aziendale (2200 m²), due sono stati scelti per il campionamento, uno sul lato della serra opposto a quello dei tunnel Bioforti ed uno al centro, all'interno dei quali sono state campionate 64 piante (32 piante/tunnel).

La semina dell'orzo è avvenuta lungo la linea di gronda dei tunnel Bioforti e lungo la finestratura laterale contestualmente al trapianto dello zucchini e del tagete.

Nei tunnel Bioforti non sono stati eseguiti trattamenti con insetticidi chimici. [La strategia di difesa utilizzata dall'imprenditore agricolo per il controllo di insetti ed acari fitofagi è stata attuata con tre](#)

Fasce perimetrali di orzo tra tunnel e lungo la finestratura laterale



[trattamenti alle dosi di etichetta, secondo il seguente calendario:](#)

Piante di *Tagetes* in pieno sviluppo sulle file ed in testata



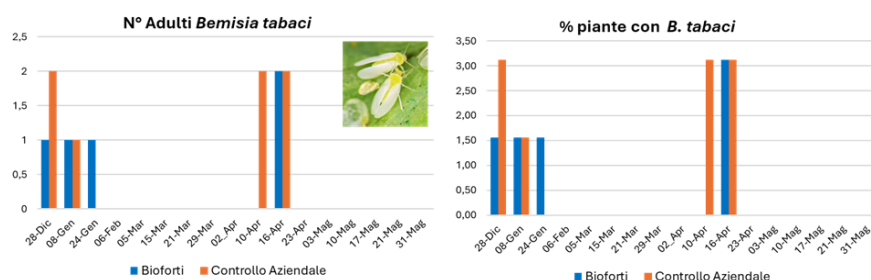
27/12/2023: Vertimec (Abamectina) e Teppeki (Flonicamid)
12/02/2024: Teppeki (Flonicamid)
15/03/2024: Epik (Acetamiprid).

La strategia di difesa anti-crittogamica nel controllo aziendale ed in Bioforti è avvenuta con trattamenti a base di zolfo bagnabile e due trattamenti (inizio e fine marzo 2024) a base di Ortiva (Azoxystrobin).

Risultati

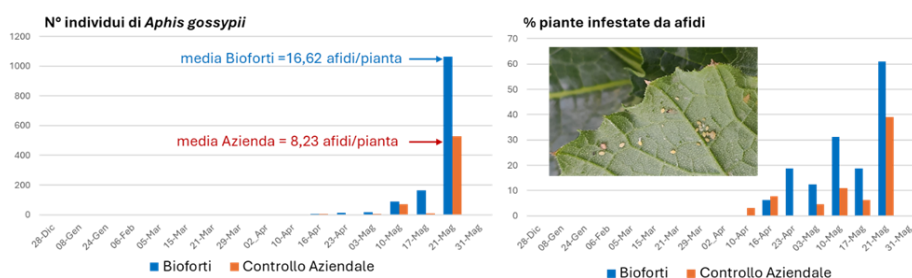
L'infestazione di mosche bianche, rappresentate esclusivamente da *Bemisia*

tabaci, è stata molto contenuta, sia come numero di adulti osservati che come % di piante infestate, e non sono emerse differenze tra controllo aziendale e tunnel Bioforti.

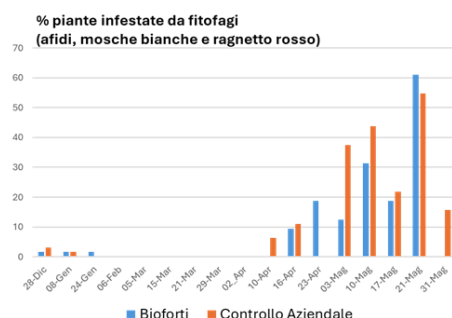


La presenza di afidi (*Aphis gossypii*) è stata bassa nel corso dell'intero ciclo colturale, risultando evidente a partire dalla primavera, con un consistente incremento nella seconda metà del mese di maggio, per poi ridursi drasticamente nel mese di giugno. Nel complesso la popolazione di afidi è risultata più bassa nel controllo aziendale (picco di 8 afidi/pianta e 39% di piante infestate). Tuttavia, il livello di infestazione nei tunnel Bioforti è stato comunque contenuto (picco di 17 afidi/pianta e 61% di piante infestate) e di non dannosità economica.

Nel controllo aziendale è stata osservata un'infestazione di raghetto rosso



(*Tetranychus urticae*) durante il mese di maggio, con una diffusione sul 15-30% delle piante campionate, ma ad un livello che non ha richiesto interventi di controllo.



Considerando tutti i fitofagi campionati (mosche bianche, afidi e raghetto rosso), non sono emerse differenze significative tra controllo aziendale e tunnel Bioforti nella distribuzione dei fitofagi all'interno della coltura.

COMPOST E COMPOSTAGGIO

Il compost

Il compost è un ammendante organico ricco di humus, elementi minerali indispensabili e microrganismi utili per la crescita e la difesa delle piante, ottenuto dalla trasformazione controllata di residui organici di origine vegetale o animale.

Il compost è un pilastro dell'agricoltura sostenibile in quanto migliora la fertilità chimica, fisica e microbiologica del suolo nel quale viene somministrato, con conseguente riduzione della somministrazione di concimi chimici e fitofarmaci di sintesi. Inoltre, il compost è il prodotto migliore in un sistema agricolo basato sulla valorizzazione degli scarti agricoli e/o zootecnici aziendali, secondo i principi dell'economia circolare.

Il processo di compostaggio e le sue fasi

Il compostaggio è un processo biologico prevalentemente aerobico attraverso il quale residui organici di origine vegetale e/o animale vengono trasformati, grazie a batteri, actinomiceti e funghi, in un ammendante organico stabilizzato e igienizzato denominato compost, molto utile in agricoltura.

Il processo di compostaggio avviene temporalmente attraverso tre fasi:

- 1) fase iniziale mesofila, dove la temperatura è simile a quella ambientale (20–40°C) e nel corso della quale prevalgono i processi degradativi a carico di zuccheri e proteine meno complesse, ad opera soprattutto di batteri e secondariamente di funghi;
- 2) fase intermedia termofila (50–65°C), nel corso della quale avviene la degradazione di carboidrati complessi quali cellulosa ed emicellulosa e di proteine complesse per azione di microrganismi termofili. Durante questa fase, grazie all'innalzamento della temperatura, si assiste all'uccisione di patogeni delle piante, degli animali e dell'uomo e alla devitalizzazione dei semi di infestanti;
- 3) fase di maturazione, dove la temperatura si è ormai abbassata a livello di quella ambientale (<40°C) e nel corso della quale si assiste ad una notevole colonizzazione del cumulo soprattutto da parte di funghi e actinomiceti. Durante questa terza fase si



assiste all'umificazione, cioè alla formazione di acidi umici e fulvici. Per la loro formazione un ruolo cruciale è svolto dai funghi.

Tecniche di compostaggio

Per l'esecuzione di un corretto compostaggio bisogna innanzitutto individuare e raccogliere il materiale che si intende compostare. In linea di principio servono due tipologie di materiale: materiale ricco di carbonio, come ad esempio paglia e cippato di legno e materiale ricco di azoto, come ad esempio letame, erba fresca, residui dell'orto e della cucina e scarti agroindustriali. Questi vari residui organici vanno mescolati in modo da avere un rapporto ottimale $C/N = 25-30/1$, assicurando che almeno 1/3 del volume del cumulo sia costituito da cippato di legno. Inoltre, il cumulo deve avere un'umidità del 50–60% e bisogna garantire una sua adeguata ossigenazione o mediante il periodico rivoltamento della biomassa o mediante un sistema di ventilazione forzata posta al disotto del cumulo, sistema costituito da tubazioni forate collegate ad una ventola preposta all'insufflazione di aria. In quest'ultimo caso, se il cumulo è ben dotato di cippato di legno, non è necessario ricorrere al suo rivoltamento.

Vantaggi agronomici del compost

L'ammendamento nel suolo con compost di qualità determina una serie di vantaggi che si riflettono positivamente sulla resa agronomica delle colture.

Innanzitutto si ha un aumento della sostanza organica umificata stabile nel suolo, con conseguenti riflessi positivi sulle caratteristiche fisiche del suolo stesso, quali la creazione di una struttura glomerulare stabile, con conseguente miglioramento del rapporto tra micro e microporosità, un aumento della ritenzione idrica e una minore compattazione del terreno, così che le radici possano essere meglio ossigenate.

Inoltre, con il compost vengono apportati molti nutrienti a rilascio graduale, sia macro (N, P, K) che meso e microelementi (Ca, S, Mg, Zn, Fe, Mo ecc.), favorendo così la nutrizione delle piante.

Inoltre, con il compost vengono apportati molti microrganismi utili soprattutto per la biostimolazione della crescita delle piante (PGPR) e per la loro protezione da patogeni (microrganismi antagonisti) e innumerevoli nutrienti organici utilissimi per la crescita dei microrganismi del suolo.

Riguardo le dosi da applicare, per gli ortaggi sono consigliate 20–30 t/ha da interrare con le ultime lavorazioni del terreno. In genere, con queste dosi, è necessario integrare con concimi minerali azotati (quindi di sintesi) somministrati con vari interventi di fertirrigazione durante il ciclo di sviluppo delle colture. Se invece si utilizzano dosi più elevate (60 t/ha) potrebbe non essere necessario integrare con azoto minerale.

Per il vivaismo, è possibile miscelare il compost con la torba utilizzata come ~~sub~~ substrato.

to per le piantine, in quantità pari al 25-30% del volume complessivo del substrato. Dal punto di vista normativo, il compost da rifiuti organici deve rispettare i requisiti del D.Lgs. 75/2010 (decreto ammendanti), con il quale vengono fissati i parametri principali che un compost deve rispettare: umidità <50%, pH 6–8, assenza di patogeni e contributo in metalli pesanti entro i limiti prefissati per legge.

IL TÈ DI COMPOST E LE SUE APPLICAZIONI

Il tè di compost

Il tè di compost è un formulato organico liquido ricco di microrganismi, sostanze organiche di varia natura e sali minerali, derivati dall'estrazione e dalla fermentazione di un compost maturo di qualità immerso in un liquido estraente, generalmente acqua, per un certo numero di ore o di giorni, in condizioni possibilmente controllate di temperatura. Un tè di compost può essere areato o non areato a seconda se si ricorre o meno all'insufflazione di aria durante il periodo di produzione del tè. Tra le molecole organiche presenti nei tè di compost vi sono acidi umici e fulvici e molecole ad azione fitormonale quali acido indolacetico, citochinine e gibberelline, che stimolano la crescita delle radici e dei germogli, la fioritura, l'allegagione dei frutticini, la fotosintesi e la resistenza a stress biotici e abiotici. Come detto inizialmente, i tè di compost sono ricchi di microrganismi molti dei quali benefici, in quanto promuovono la crescita delle piante e le proteggono da patogeni fungini e batterici, oltre che da nematodi, essendo tali microrganismi degli antagonisti (agenti di biocontrollo).

Il tè di compost è un prodotto complesso nella sua composizione ma che può essere prodotto da ogni azienda agricola, in quanto il protocollo di produzione è molto semplice. L'importante è avere a disposizione degli scarti organici da compostare, in modo da produrre un compost di buona qualità da valorizzare ulteriormente attraverso la produzione di tè di compost.

Produzione del tè di compost

Per produrre un tè di compost bisogna innanzitutto inserire del compost dentro una sacca permeabile all'acqua. Generalmente la sacca viene realizzata con tessuto non tessuto o con una rete antiafidica o antizanzara. Quando si prepara la sacca contenente il compost, è fondamentale evitare la compattazione del compost stesso, poiché potrebbe essere ostacolata la penetrazione dell'acqua al suo interno e, quindi, l'estrazione di nutrienti e microrganismi. La sacca con il compost, opportunamente chiusa, viene inserita in un bidone contenente generalmente acqua (volendo si può utilizzare anche del siero di latte). Durante o dopo la preparazione del tè di compost, è possibile aggiungere degli additivi, come ad es. melassa, zucchero di canna, farine di pesce, siero di latte, ecc. Bisogna però tener presente che non sempre l'aggiunta di questi additivi migliora la qualità di un tè

di compost, soprattutto per gli aspetti di sicurezza microbiologica.

Per ottenere un tè di compost di elevata qualità, è fondamentale utilizzare un compost di buona qualità.

I tè di compost non aerati non richiedono l'aerazione del liquido di macerazione e l'estrazione/fermentazione dura, generalmente, 7 giorni. I tè non aerati presentano il vantaggio di poter essere prodotti anche dove non vi è disponibilità di corrente elettrica e per la loro produzione non è necessario disporre di una pompa per acquari e di un timer. Per produrre un tè di compost aerato, invece, bisogna avere i dispositivi su menzionati e l'estrazione/fermentazione dura da generalmente 7 giorni. I contenitori impiegati per la produzione dei tè di compost possono avere dimensioni diverse, cioè da pochi litri fino ad alcune centinaia. E' molto importante utilizzare attrezzature pulite per prevenire la formazione di biofilm microbici indesiderati, che potrebbe compromettere la qualità del tè di compost. Le condizioni ideali per produrre un buon tè di compost sono le seguenti: rapporto compost:acqua di 1:5; uso di compost di buona qualità, come quelli ottenuti da residui vegetali; una temperatura costante di 28 °C durante il processo di estrazione/fermentazione, temperatura che è possibile mantenere utilizzando una resistenza riscaldante come quella impiegata per gli acquari. Nel caso dei tè di compost aerati, l'ossigenazione generalmente è di 5 minuti ogni 3 ore o di 15 minuti ogni 6 ore.

Impiego agronomico del tè di compost

I tè di compost possiedono le proprietà di biostimolare la crescita e la nutrizione delle piante e posseggono anche la capacità di proteggere queste ultime da molte malattie, soprattutto quelle di origine fungina e batterica.

Le proprietà biostimolanti si evidenziano con la stimolazione della crescita delle radici e dei germogli, l'aumento del numero e della superficie delle foglie e l'aumento della fioritura e dell'allegagione dei frutti. Inoltre, l'impiego di tè di compost può determinare anche un incremento del contenuto di clorofilla e dell'attività fotosintetica, oltre ad un miglio-
23



to della quantità dei frutti.

Trattamenti con tè di compost hanno evidenziato effetti positivi sull'incremento dei caratteri di crescita e sviluppo vegetativo di piantine di pomodoro, peperone e melone coltivate in vivaio.

In coltura protetta, trattamenti con tè di compost aerati hanno determinato incrementi di produzione del 22% su peperone, del 24% su lattuga, del 32% su cavolo rapa e del 41% su ravanella.

I tè di compost rappresentano una valida alternativa alla difesa chimica per il controllo dei patogeni fungini e batterici delle piante. Diversi studi hanno ad esempio evidenziato la capacità dei tè di compost di controllare funghi fitopatogeni quali alternaria, botrite, verticilliosi, fusariosi, elmintosporiosi, septoriosi, rizottoniosi, radice suberosa, marciumi molli dovuti a sclerotinia e a *Sclerotium rolfsii*, oidi e peronospora. Questa protezione è possibile grazie alla presenza di microrganismi antagonisti vitali e attivi nell'espletare i diversi meccanismi di azione (antibiosi, produzione di siderofori, competizione per lo spazio e i nutrienti, parassitismo diretto, induzione di resistenza). Generalmente i compost più soppressivi sono i migliori per generare tè di compost maggiormente soppressivi. Inoltre, per produrre un buon tè di compost, è importante utilizzare compost non vecchi. E' possibile incrementare la soppressività di un tè di compost aggiungendo alcuni additivi, come ad esempio acidi umici, siero di latte, antagonisti microbici, andando così a produrre i così detti tè di compost fortificati. Talvolta anche piccole dosi di additivi possono avere effetti significativi. Ad esempio, l'aggiunta di siero di latte a un tè di compost al momento del trattamento ad una concentrazione finale dell'1%, ha ridotto significativamente i sintomi di peronospora su patata.

I tè di compost contengono anche macronutrienti essenziali per le piante (azoto, fosforo e potassio) e meso e micronutrienti quali calcio, magnesio, manganese, ferro, zolfo, rame.

I tè di compost vengono generalmente utilizzati diluendoli in acqua dieci o

venti volte e possono essere somministrati sia in fertirrigazione che per irrorazione fogliare.



Da quanto detto, è evidente come i tè di compost siano sicuramente consigliabili per chi vuole realizzare un'agricoltura sostenibile, in quanto consente di migliorare la crescita e la salute delle piante grazie alle proprietà biostimolanti, soppressive e nutritive di questi straordinari prodotti.



MICRORGANISMI UTILI IN AGRICOLTURA

Negli ultimi anni, sempre più agricoltori e sempre più frequentemente si sta ricorrendo all'impiego di microrganismi utili nella coltivazione di specie di interesse agrario, sia perché la legislazione sull'impiego di prodotti chimici sulle piante ad uso alimentare è sempre più restrittiva per motivi salutistici e ambientali, sia perché sempre maggiore è la richiesta di alimenti prodotti senza o con ridotto impiego di fitofarmaci.

Infatti, in commercio, tra i prodotti impiegabili in agricoltura, esistono molti formulati a base di microrganismi. A volte questi formulati sono a base di singoli ceppi microbici (es. *Trichoderma viridae*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Pseudomonas fluorescens*) ma, più spesso, sono costituiti da consorzi microbici (generalmente batteri della rizosfera del genere *Bacillus* e *Pseudomonas*, funghi del genere *Trichoderma* e funghi micorrizici). In generale, questi microrganismi utili in agricoltura svolgono funzioni di bioprotezione (o biocontrollo), di biostimolazione e di biofertilizzazione.

Microrganismi agenti di biocontrollo

I microrganismi agenti di biocontrollo, definiti anche microrganismi antagonisti, sono quei microrganismi in grado di contrastare lo sviluppo degli insetti fitofagi e di funghi e batteri fitopatogeni.

I meccanismi messi in atto dagli antagonisti microbici di funghi e batteri fitopatogeni possono essere i seguenti:

- 1) competizione per lo spazio e i nutrienti, quando il microrganismo antagonista possiede un rapido ritmo di crescita e/o produce molte spore e colonizza molto rapidamente la superficie delle radici o delle foglie e il terreno intorno alle radici (suolo rizosferico);
- 2) produzione di sostanze antifungine o antibatteriche, cioè di sostanze che risultano

tossiche o biocide per i patogeni. Essenzialmente appartengono a questa categoria tre tipologie di sostanze: a) sostanze antifungine e antibiotiche, quali bacilisina, lipopeptidi, iturina, 2,4-diacetilfloroglucinolo (DAPG), fenazine, pioluteorina, piocianina, pirrolnitrina; b) enzimi idrolitici, quali α -amilasi, endo α 1-4 glucosidasi, β -amilasi, eso α 1-4 glucosidasi; c) produzione di acido cianidrico (HCN) e altri composti volatili (VOCs) quali benzyloxybenzonitrile, dimethytrisulide, β -phenylethanol;

3) produzione di siderofori, cioè sostanze in grado di sequestrare nell'ambiente il ferro, impedendone il suo assorbimento da parte dei microrganismi fitopatogeni;

4) parassitismo diretto, quando l'antagonista si nutre direttamente del patogeno, come nel caso del *Trichoderma*, le cui ife penetrano direttamente all'interno del micelio del fungo fitopatogeno o nel caso dei batteriofagi, virus che si moltiplicano a spese di batteri fitopatogeni;

5) induzione di resistenza (IR), quando una pianta è capace di attivare i propri meccanismi di difesa naturale a seguito dell'applicazione di specifiche sostanze o di microrganismi benefici. L'

IR si può considerare come una sorta di "vaccinazione" di un vegetale, in quanto la pianta non elimina direttamente il patogeno ma si prepara a proteggersi più velocemente ed efficacemente in caso di attacco da parte di patogeni.



Microrganismi biostimolanti

I microrganismi biostimolanti sono quelli che stimolano la crescita delle piante, incrementando lo sviluppo delle radici e dei germogli. Questi effetti sono dovuti alla produzione diretta di sostanze fitormonali (auxine, gibberelline e citochinine) da parte dei microrganismi o all'induzione da parte dei microrganismi di cambiamenti nella concentrazione di fitormoni endogeni nella pianta, come ad esempio la riduzione dell'accumulo di etilene, ormone inibitore della crescita, a seguito del blocco della sua sintesi a partire dal suo precursore, l'amminoacido metionina, grazie all'azione dell'enzima ACC-deaminasi. I microrganismi ad azione biostimolante appartenenti ai batteri della rizosfera vengono definiti PGPR, ovvero Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. Numerosi sono i generi di PGPR, ma i più noti e utilizzati sono quelli del genere *Bacillus* e *Pseudomonas*.

Microrganismi biofertilizzanti

I microrganismi biofertilizzanti sono quei microrganismi in grado di cedere elementi nutritivi utili per la crescita e la produttività delle piante. Tra gli elementi nutritivi più utili per la crescita delle piante vi sono l'azoto, il fosforo e il potassio. I microrganismi in grado di fornire azoto alle piante sono quelli azotofissatori, cioè microrganismi che trasformano l'azoto molecolare atmosferico (N_2) in ammoniaca (NH_3), la quale ultima viene inglobata nei composti organici azotati (amminoacidi e proteine, acidi nucleici, ecc.) contenuti nelle cellule. I batteri azotofissatori possono essere sia simbiotici che liberi (non simbiotici). I batteri simbiotici, denominati rizobi, vivono liberi nel suolo ma, quando il suolo ospita una leguminosa, vanno ad infettare le radici generando la formazione di tubercoli radicali, strutture di forma sferica o polilobata ben visibili ad occhio nudo sulle radici, all'interno delle quali vivono tali batteri, ormai trasformati in batteroidi all'interno delle cellule vegetali ospiti. I batteroidi, privi di parete cellulare, sono di grandi dimensioni e accumulano al loro interno notevoli quantità del complesso enzimatico della deidrogenasi, responsabile della riduzione dell' N_2 in NH_3 e di grandi quantità di Leg-emoglobina, molecola che sequestra l'ossigeno permettendo così la riduzione dell'azoto molecolare.

I batteri azotofissatori non simbiotici vivono anch'essi liberi nel suolo e, a differenza dei rizobi, non entrano in simbiosi con le radici delle piante, sebbene alcuni, quali gli *Azospirillum*, si concentrano nella rizosfera dei cereali in quanto si nutrono dei loro essudati radicali. Un altro genere di batterio azotofissatore libero *Azotobacter*.

La trasformazione di N_2 in NH_3 richiede molta energia che, nel caso dei batteri azotofissatori simbiotici, viene fornita dai carboidrati sintetizzati dalle piante attraverso la fotosintesi mentre, nel caso degli azotofissatori liberi, viene fornita dalle sostanze organiche provenienti dagli essudati radicali o presenti nel suolo.

I microrganismi in grado di fornire fosforo alle piante sono detti microrganismi solubilizzatori del fosforo (PBS, Phosphate Solubilizing Microorganisms).

Come per gli azotofissatori, esistono microrganismi solubilizzatori del fosforo liberi e simbiotici. Tra quelli liberi si annoverano i Batteri solubilizzatori del fosforo del genere *Bacillus*, quali *B. megaterium*, che solubilizzano il fosfato di calcio insolubile mentre, tra quelli simbiotici, vi sono i funghi micorrizici, cioè funghi che vivono in simbiosi con le radici delle piante, formando le così dette micorrize (simbiosi fungo-radici). Le micorrize vescicolo-arbuscolari, caratteristiche delle piante erbacee, oltre a incrementare l'assorbimento del fosforo, incrementano anche l'assorbimento dell'acqua e di altri elementi nutritivi, grazie al micelio del fungo, che si estende nel suolo intorno all'apparato radicale. Grazie a ciò, aumenta la tolleranza delle piante alla siccità. Inoltre, le piante micorrizzate risultano essere più resistenti alla salinità e ai patogeni e il fungo simbiote, grazie alla produzione di glomalina, incrementa la

stabilità degli aggregati del suolo.

Oltre ai microrganismi solubilizzatori del fosforo, esistono anche quelli solubilizzatori del potassio. I microrganismi solubilizzatori del potassio (KSM, Potassium Solubilizing Microorganisms) sono batteri e funghi in grado di rendere disponibile il potassio presente nei minerali del suolo sotto forme insolubili, trasformandolo in forme assimilabili dalle piante (come K^+ in soluzione). I PSM e i KSM solubilizzano rispettivamente P e K principalmente tramite la produzione di acidi organici (come acido citrico, ossalico, lattico, gluconico) che abbassano il pH localmente, oppure tramite molecole chelanti i minerali contenenti P e K o, ancora, mediante la produzione di enzimi e metaboliti che alterano la struttura minerale o, infine, mediante la secrezione di sostanze che favoriscono la disgregazione fisica di minerali contenenti potassio (come feldspati, miche, illite).



Applicazione in campo dei formulati a base di microrganismi utili

I formulati a base di microrganismi utili in agricoltura possono essere somministrati:

- 1) al seme prima della semina mediante trattamento di concia;
- 2) alla rizosfera dopo il trapianto mediante fertirrigazione;
- 3) alla parte aerea delle piante mediante irrorazioni alle foglie e ai frutti.

I formulati commerciali presentano tutte le etichette nelle quali sono descritte in dettaglio le dosi da utilizzare a seconda delle modalità di somministrazione e a seconda della specie coltivata.

In sintesi, possiamo affermare che i microrganismi utili in agricoltura consentono di arricchire il suolo e le piante di microrganismi in grado di incrementare la fertilità del terreno e la crescita, la nutrizione e la protezione delle colture consentendo, di fatto, la riduzione degli input chimici (concimi e antiparassitari).

Impostazione generale delle prove

Nell'ambito del progetto BIOFORTI sono state condotte diverse prove agronomiche principalmente su zucchino e, secondariamente, su ravanella e pomodoro, in diverse aziende dell'Agro-Pontino Partner del progetto. Le prove sono consistite nell'ammendamento del suolo con compost, nell'impiego di tè di compost e nell'impiego di un formulato a base di microrganismi messo a punto dal Partner CREA-Centro di ricerca Orticoltura e Florovivaismo, sede di Pontecagnano (SA), nel corso di un precedente progetto. Nell'ambito del progetto BIOFORTI il CREA è stato responsabile del WP2 dal titolo: "Tecniche innovative per la coltivazione e la fitoregolazione".

Il compost utilizzato è stato ottenuto dalla frazione organica dei residui solidi urbani (f.o.r.s.u.), cioè dal compostaggio dell'umido proveniente dalla raccolta differenziata, avvenuto presso l'impianto Biowaste s.r.l. di Anzio (RM). I compost da f.o.r.s.u. sono tra i compost maggiormente nutrienti per le piante, in quanto tra i più ricchi di sali minerali. Sul compost utilizzato sono state eseguite analisi di pH, conducibilità elettrica (EC) e del contenuto di alcuni microrganismi, tra i quali quelli potenzialmente utili in agricoltura (es. batteri produttori di siderofori e batteri termoresistenti). I risultati di queste analisi sono illustrati in **Tabella 1**.

Tabella 1. Analisi chimico-fisiche e microbiologiche del compost da f.o.r.s.u. impiegato nelle prove di ammendamento.

pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Batteri totali (UFC/ml)	Batteri produttori di siderofori (UFC/ml)
8,37	3.591	$1,2 \times 10^7$	$2,8 \times 10^6$
Batteri termoresistenti (UFC/ml)	lieviti (UFC/ml)	muffe (UFC/ml)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/ml)
$4,4 \times 10^6$	$5,2 \times 10^3$	$6,1 \times 10^3$	0

Il tè di compost utilizzato è stato prodotto presso il Capofila del progetto S.I.A. e distribuito alle aziende Partner che hanno ospitato le prove. Per la produzione del tè di compost è stato utilizzato il compost da f.o.r.s.u. proveniente dall'impianto di compostaggio Biowaste s.r.l. di Anzio (RM). In dettaglio, per la produzione del tè si è proceduto a inserire in una sacca di tessuto non tessuto del compost e ad immergere la sacca contenente il compost in un bidone da 200 L contenente a sua volta acqua di pozzo, in quanto priva di cloro. Il rapporto compost/acqua utilizzato è stato di 1:5 v/v, cioè 20 dm³ di compost in 80 L di acqua. Il processo di estrazione e moltiplicazione dei microrganismi è durato una settimana, nel corso della quale è stata assicurata una temperatura costante di 28 °C grazie ad una termosonda riscaldante ad alimentazione elettrica e ad un'aerazione periodica dell'acqua mediante una pompa per

acquario temporizzata con un timer meccanico, in modo da assicurare un'aerazione forzata del liquido di 15 min ogni 6 ore. Sul tè di compost prodotto sono state eseguite analisi di pH, di conducibilità elettrica (EC) e del contenuto di alcuni microrganismi, tra i quali quelli potenzialmente utili in agricoltura, in quanto potenzialmente antagonisti e/o promotori della crescita delle piante (es. batteri produttori di siderofori e batteri termoresistenti). I risultati di queste analisi sono riportati in **Tabella 2**.

Tabella 2. Analisi chimico-fisiche e microbiologiche del tè di compost impiegato nelle prove agronomiche.

pH	EC $\mu\text{S/cm}$	Batteri totali (UFC/ml)	Batteri produttori di siderofori (UFC/ml)
6,82	7.626	$1,3 \times 10^6$	$5,6 \times 10^5$
Batteri termoresistenti (UFC/ml)	Lieviti (UFC/ml)	Muffe (UFC/ml)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/ml)
$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$	0

Il formulato microbico CREA utilizzato consiste di un consorzio microbico formato da tre ceppi microbici: il ceppo TL35 di *Trichoderma longibrachiatum*, il ceppo 17S di *Bacillus amyloliquefaciens* e il ceppo CREA16 di *Pseudomonas fluorescens*. Questi tre ceppi sono stati selezionati nel corso di precedenti progetti per le loro proprietà di biocontrollo di funghi fitopatogeni e di biostimolazione della crescita delle piante. Nei tre paragrafi che seguono vengono riportati i principali risultati ottenuti con le diverse prove realizzate nelle varie aziende agricole.

Prove di ammendamento con compost

Queste prove sono state realizzate su zucchino e su pomodoro. Pochi giorni prima del trapianto dello zucchino, avvenuto il 7.12.2024 nell'azienda Milito (varietà Ortano), il 13.12.2024 nell'azienda Donnarumma (varietà Sibilla) e il 24.12.2024 (varietà Ortano), in ognuna delle tre aziende il compost è stato distribuito sul terreno al disotto di un arco delle strutture serricole, alla dose di 60 t/ha mediante uno spandicompost e, subito dopo, si è proceduto al suo interrimento alla profondità di 25-30 cm; un secondo arco è stato utilizzato come controllo, costituito da terreno non ammendato con compost. Le piante trapiantate sul terreno di controllo sono state regolarmente trattate con concime minerale, al contrario delle piante trapiantate sul terreno ammendato con compost, le quali non hanno ricevuto mai concime minerale. Per le prove di ammendamento su pomodoro, il compost è stato distribuito analogamente a quanto precedentemente descritto per lo zucchino; il trapianto del pomodoro (varietà Cikito) è stato eseguito il 15.02.2025.

Per ambedue le specie i rilievi bioproductivi sono stati eseguiti registrando, ad ogni raccolta, il peso complessivo dei frutti raccolti da 15 piante rappresentative della coltivazione, opportunamente prescelte e segnate con un nastro, per ognuna delle due tesi sperimentali (arco con terreno ammendato e arco con terreno non ammendato). Per ogni raccolta e per ogni tesi sperimentale, su un campione rappresentativo di 10 frutti nel caso dello zucchini e di 20 frutti nel caso del pomodoro, sono state rilevate le dimensioni dei frutti stessi (lunghezza e diametro nel caso dello zucchini e altezza e diametro nel caso del pomodoro).

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Milito, hanno evidenziato una lieve riduzione della produzione (- 11%) rispetto alla tesi di concimazione minerale. Questo risultato evidenzia come il compost riesca a surrogare abbastanza bene i concimi minerali, se distribuito in elevata quantità (circa 60 t/ha), confermando quanto già ottenuto in precedenti sperimentazioni. Eventualmente, per elevare ulteriormente la produzione dove viene distribuito il compost, è possibile eseguire delle fertirrigazioni utilizzando dosi decisamente ridotte di azoto minerale. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini



raccolti presso l'azienda Milito, hanno evidenziato una lunghezza media e un diametro medio dei frutti raccolti dalle piante trattate con compost leggermente inferiore (12,39 e 2,46 cm) rispetto a quelli raccolti dalla tesi minerale (12,94 e 2,55 cm).

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Donnarumma, hanno evidenziato un incremento di produzione dello zucchini assolutamente rilevante (42,8%) per la tesi ammendata con compost rispetto a quella minerale. Dato che un risultato del genere non è stato mai conseguito in precedenti sperimentazioni, è molto probabile che il terreno di questa azienda avesse già di per sé un elevato quantitativo di azoto facilmente disponibile per le piante. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini raccolti presso l'azienda Don-

narumma, hanno evidenziato una maggiore lunghezza media e diametro medio dei frutti raccolti dalle piante ammendate con compost (14,78 e 3,08 cm) rispetto ai frutti raccolti dalla tesi minerale (13,68 e 2,83 cm).

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini hanno evidenziato come l'ammendamento con compost sia stato in grado di determinare una produzione assolutamente comparabile con quella ottenuta con la concimazione minerale confermando, ancora una volta, gli effetti positivi dell'impegno di compost di buona qualità in agricoltura. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini, non hanno evidenziato differenze per la lunghezza e il diametro dei frutti raccolti dalla tesi ammendata con compost (16,38 e 3,01 cm) rispetto a quella trattata con concimi minerali (16,45 e 3,06 cm).

Prove di impiego del tè di compost

Le prove di impiego del tè di compost sono state condotte su ravanella, su pomodoro e su zucchini. Le tesi sperimentali erano costituite da due tesi dove le piante sono state trattate periodicamente con tè di compost e da una tesi di controllo, ovvero piante non trattate con tè di compost. Ogni tesi è stata realizzata sotto un arco delle strutture serricole.

I trattamenti con tè di compost su ravanella (varietà Junon) sono stati tre: il primo è stato eseguito 22 giorni dopo la semina, avvenuta il 28.12.2023; il secondo 32 giorni dopo la semina; il terzo 45 giorni dopo la semina.

Il tè di compost è stato diluito 10 volte, nel caso di una prima tesi e 50 volte, nel caso di una seconda tesi, al momento della somministrazione.

I trattamenti con tè di compost su pomodoro (varietà Cikito) sono stati eseguiti dapprima bagnando le piantine nei contenitori alveolari un giorno prima del trapianto, avvenuto il 15.02.2025 mentre, in campo, sono stati eseguiti altri cinque trattamenti fogliari, precisamente il 25.02.2025, il 10, il 20 e il 30.03.2025 e il 30.04.2025. Il tè di compost è stato diluito 10 volte al momento della somministrazione.



I trattamenti con tè di compost su zucchino sono stati eseguiti, come per il pomodoro, dapprima bagnando le piantine nei contenitori alveolati un giorno prima del trapianto, avvenuto il 7.12.2024 presso l'azienda Milito (varietà Ortano), il 13.12.2024 presso l'azienda Donnarumma (varietà Sibilla) e l'8.01.2025 presso l'azienda Pacchiarini (varietà Logos); successivamente, a partire da 15-20 giorni dopo il trapianto e ogni 10-20 giorni, sono stati eseguiti 5 trattamenti mediante irrorazioni fogliari, eccetto che per l'Azienda Milito, dove i trattamenti sono stati eseguiti in fertirrigazione. Anche in questo caso, il tè di compost è stato diluito 10 volte al momento della somministrazione.

I rilievi bioproductivi su ravanello, eseguiti alla raccolta avvenuta dal 17 al 19.02.2024, hanno evidenziato un incremento produttivo del 23% utilizzando il tè di compost diluito 1:10 rispetto al tè di compost diluito 1:50 e rispetto al controllo (non trattato). Tale incremento era dovuto ad un aumento della dimensione dei ravanelli.

I rilievi bioproductivi su pomodoro e zucchino sono stati eseguiti registrando, ad ogni raccolta, il peso complessivo dei frutti raccolti da 15 piante rappresentative opportunamente prescelte e segnate con un nastro bianco e rosso, per ognuna delle due tesi sperimentali (trattato e controllo) e, per ogni raccolta e per ogni tesi sperimentale, su un campione rappresentativo di 20 frutti, nel caso del pomodoro e di 10 frutti, nel caso dello zucchino, sono state rilevate le dimensioni dei frutti stessi (altezza e diametro nel caso del pomodoro e lunghezza e diametro nel caso dello zucchino).

I risultati produttivi eseguiti su pomodoro non hanno evidenziato incrementi di produzione per effetto dei trattamenti con il tè di compost, contrariamente a quanto osservato in precedenti sperimentazioni eseguite su pomodoro da industria, cioè su pomodoro a crescita determinata. Probabilmente, come in genere osservato in altre sperimentazioni condotte su pomodoro a crescita indeterminata, i tè di compost non influenzano in modo sostanziale l'entità della fioritura e dell'allegagione delle piante di pomodoro indeterminate, rispetto a quelle determinate. Va comunque considerato che, in questa sperimentazione, il numero dei trattamenti sono stati volutamente ridotti rispetto a quelli eseguiti in precedenti sperimentazioni. Inoltre, è bene ricordare come i trattamenti fogliari con tè di compost siano in grado di sostituire abbastanza bene i fungicidi di origine chimica.

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchino coltivato presso l'azienda Milito non hanno evidenziato significativi incrementi di produzione (solo 1%) per effetto della somministrazione del tè di compost. Sarebbe pertanto opportuno verificare, in future sperimentazioni, se aumentando il numero di somministrazioni risulti possibile incrementare le produzioni per effetto della somministrazione dei tè di compost. I ri-

sultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini raccolti presso l'azienda Milito hanno però evidenziato un significativo incremento medio della lunghezza e del diametro dei frutti trattati con il tè di compost (16,65 e 2,93 cm) rispetto ai frutti non trattati (12,94 e 2,55 cm). Questo incremento importante della dimensione dei frutti per effetto del trattamento con il tè di compost, non spiega però come mai sia stato registrato un incremento di produzione insignificante (ricordiamo, appena l'1%), considerando che l'incremento medio della lunghezza e del diametro dei frutti raccolti dalle piante trattate con il tè di compost sono stati, rispettivamente, del 28,67% e del 14,90%, rispetto ai frutti raccolti dalle piante non trattate con il tè. Di certo, il sensibile incremento della dimensione dei frutti è da attribuire all'effetto biostimolante esercitato dal tè di compost: in sostanza, il tè di compost ha accelerato la crescita dei frutti.

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Donnarumma hanno evidenziato un significativo incremento della produzione di zucchine (+ 24%) dove sono stati eseguiti i trattamenti con il tè di compost. Probabilmente, in questo caso, il tè di compost ha favorito in modo significativo la fioritura e l'allegagione, determinando un incremento del numero dei frutti. Tuttavia, gli incrementi di produzione sono anche da attribuire all'incremento della dimensione dei frutti raccolti dalle piante trattate con il tè di compost (lunghezza e diametro medi 14,29 e 3,05 cm, contro i 13,68 e 2,83 cm registrati per i frutti raccolti dalle piante non trattate con il tè di compost).

I risultati produttivi registrati sullo zucchini coltivato presso l'azienda Pacchiarini, non hanno evidenziato incrementi di produzione per effetto dei trattamenti con il tè di compost. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini raccolti presso l'azienda Pacchiarini, non hanno infatti evidenziato incrementi significativi della dimensione di frutti provenienti dalle piante trattate con il tè di compost (lunghezza e diametro medi 20,58 e 4,13 cm) rispetto ai frutti provenienti dalle piante non trattate (20,72 e 4,11 cm).



Prove di impiego del formulato microbico CREA

Le prove di impiego del formulato microbico CREA sono state condotte su pomodoro e su zucchini

Le tesi sperimentali erano costituite da una tesi le cui piante venivano trattate periodica-

mente con il consorzio microbico messo a punto dal CREA e da una tesi di controllo, ovvero piante non trattate con il consorzio. Ogni tesi è stata realizzata sotto un arco delle strutture serricole.

I trattamenti con consorzio microbico CREA su pomodoro (varietà Cikito) sono stati eseguiti dapprima bagnando le piantine nei contenitori alveolati un giorno prima del trapianto, avvenuto il 15.02.2025 mentre, in campo, sono stati eseguiti altri 5 trattamenti fogliari ogni 15 giorni a partire da 15 giorni dopo il trapianto.

I trattamenti con il consorzio microbico su zucchini sono stati eseguiti, come per il pomodoro, dapprima bagnando le piantine nei contenitori alveolati un giorno prima del trapianto, avvenuto il 7.12.2024 presso l'azienda Milito (varietà Ortano), il 13.12.2024 presso l'azienda Donnarumma (varietà Sibilla) e l'8.01.2025 presso l'azienda Pacchiarini

(varietà Logos); successivamente, a partire da 15 giorni dopo il trapianto, sono stati eseguiti 5 trattamenti fogliari ogni 15 giorni, eccetto che per l'Azienda Milito, dove i trattamenti sono stati eseguiti in fertirrigazione.

I rilievi bioproductivi su pomodoro e zucchini sono stati eseguiti registrando, ad ogni raccolta, il peso complessivo dei frutti raccolti da 15 piante rappresentative opportunamente prescelte e segnate con un nastro, per ognuna delle due tesi sperimentali (trattato e controllo) e, per ogni raccolta e per ogni tesi sperimentale, su un campione rappresentativo di 20 frutti, nel caso del pomodoro e di 10 frutti, nel caso dello zucchini, sono state rilevate le dimensioni dei frutti stessi (altezza e diametro nel caso del pomodoro e lunghezza e diametro nel caso dello zucchini).

I risultati produttivi eseguiti su pomodoro non hanno evidenziato incrementi di produzione per effetto dei trattamenti con il formulato microbico CREA, contrariamente a quanto osservato in precedenti sperimentazioni condotte, però, su rucola.

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Milito non hanno evidenziato incrementi di produzione significativi per effetto del formulato microbico CREA. Infatti, i risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchi-



no raccolti presso la suddetta azienda, non hanno evidenziato differenze significative nella dimensione dei frutti raccolti dalle piante trattate con il formulato microbico CREA (lunghezza e diametro medi 13,03 e 2,50 cm) rispetto a quelli raccolti dalle piante non trattate (lunghezza e diametro medi 12,94 e 2,55).

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Donnarumma, hanno evidenziato un incremento decisamente elevato della produzione di zucchine (+ 34,5%) dove è stato utilizzato il formulato microbico CREA. Probabilmente, come accaduto per il tè di compost, il formulato CREA ha favorito in modo significativo la fioritura e l'allegagione, determinando un significativo incremento del numero e della dimensione dei frutti. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini raccolti presso la suddetta azienda hanno infatti evidenziato un incremento medio delle dimensioni dei frutti raccolti dalle piante trattate (lunghezza e diametro medi 14,97 e 3,13 cm) rispetto a quelli raccolti dalle piante non trattate con il formulato microbico CREA (lunghezza e diametro medi 13,68 e 2,83 cm).

I risultati produttivi eseguiti sullo zucchini coltivato presso l'azienda Pacchiarini, hanno evidenziato incrementi di produzione modesti (+ 6%) dove è stato utilizzato il formulato microbico CREA, rispetto alla tesi non trattata. I risultati dei rilievi biometrici eseguiti sui frutti di zucchini raccolti presso l'azienda Pacchiarini hanno evidenziato solo piccole differenze nella dimensione dei frutti raccolti dalle piante trattate con il formulato microbico (lunghezza e diametro medi 20,53 cm e 4,10 cm) e dalle piante non trattate (lunghezza e diametro medi 20,72 e 4,11 cm).

I risultati di queste sperimentazioni evidenziano, in modo inequivocabile, come il compost sia in grado di surrogare perfettamente i concimi minerali di sintesi, quando utilizzato ad elevate dosi.

Il tè di compost, invece, non sempre è stato in grado di determinare incrementi produttivi su tutte le colture oggetto di sperimentazione. In particolare, gli effetti del tè di compost sulla produzione sono risultati interessanti soprattutto su ravanella e su zucchini. Su pomodoro a crescita indeterminata, cioè rampicante, non sono stati invece registrati effetti sulla quantità di produzione, contrariamente a quanto riscontrato in precedenti sperimentazioni.

Il consorzio microbico CREA ha dato risultati molto interessanti nel caso di una prova condotta su zucchini.

WP3 – Protocolli culturali per le principali orticole

“Valutazione dell’impatto della tecnica della “solarizzazione” sul microbiota dei suoli in coltura protetta in Pianura Pontina”

2. Metodologia sperimentale

Culture ortive e patogeni oggetto di sperimentazione

L’attività sperimentale è stata focalizzata su nove aziende orticole in coltura protetta localizzate in agro Pontino, che realizzano coltivazioni sia invernali (cavoli rapa, ravanelli, insalate, rape bianche, ecc.) che primaverili (cocomeri, pomodori, melanzane, zucchine) e che adottano da oltre 25 anni la tecnica della solarizzazione per la sterilizzazione selettiva dei suoli coltivati, che sono in prevalenza sabbiosi o sabbioso-limoso).

Negli ultimi anni, oltre al riaffiorare delle problematiche legate ad alcuni patogeni tellurici (a causa sia della discontinua che dell’erronea applicazione della tecnica della solarizzazione) si è osservato un progressivo impoverimento della componente organica dei suoli, nonostante i notevoli e costanti apporti di ammendanti (circa 60-70 q.l./ha) che di letame (circa 1000 q.l./ ha ogni due anni). Tale impoverimento della sostanza organica, e quindi della fertilità dei suoli, ha delle conseguenti ripercussioni sulla quantità e qualità delle produzioni, soprattutto sugli ortaggi a foglia, che sono molto più esigenti in termini nutrizionali.

Pertanto, talvolta si creano delle **condizioni** tali da compromettere lo sviluppo delle colture e che:

- inducono gli agricoltori o a ritornare ai prodotti chimici per la disinfezione dei suoli o a eccedere nelle fertilizzazioni con ammendanti organici e
- determinano una rapida mineralizzazione della Sostanza organica
- spingono gli agricoltori a integrare la pratica del sovescio in sostituzione della solarizzazione.

Prima di procedere oltre è opportuno precisare alcuni elementi riguardo la tecnica della solarizzazione.

La tecnica della Solarizzazione

Le moderne orticole intensive risultano caratterizzate da input legati ai fattori produttivi, in particolare chimici e da notevoli rese quanti-qualitative, ciò ha portato a l’esigenza della sterilizzazione del sub-strato produttivo.

In passato, fino all’inizio del terzo millennio, le soluzioni più adottate sono state l’utilizzo di mezzi chimici (bromuro di metilene, Vapam ecc), che tuttavia provocavano un notevole impatto ambientale, oppure mezzi fisici (Vapore), caratterizzata da elevati costi per le culture orticole in piena terra. Una tecnica innovativa che ha consentito di coniugare costi sostenibili e buoni risultati produttivi è stata la Solarizzazione.

La Solarizzazione è una tecnica usata in orticoltura per disinfestare il terreno sfruttando il calore del sole. I primi studi risalgono agli anni '70 (soprattutto in Israele, ad opera di Katan) e, grazie ai risultati sperimentali positivi, dagli anni '90 ha cominciato a diffondersi anche in Italia.

Questa tecnica permette di ridurre molti problemi fitosanitari del suolo legati a funghi, batteri, nematodi, infestanti, senza l'uso di prodotti chimici, quindi con minore impatto ambientale. Inoltre, è efficace anche per il miglioramento della struttura del terreno aumentandone la produttività.



Nonostante gli indiscutibili vantaggi, in Italia, la sua diffusione inizialmente è stata limitata a causa di alcuni fattori chiave quali:

Carenza di informazioni

Esistenza di limiti ambientali

Ordinamenti che non consentivano di disporre del terreno libero nei mesi estivi.

Negli ultimi decenni, sia le intervenute limitazioni nell'uso di molti prodotti usati per il trattamento dei suoli (es. Bromuro di Metile), sia le numerose attività di divulgazione e assistenza tecnica ne hanno favorito una maggiore applicazione, soprattutto in serra, ma anche in pieno campo.

Un esempio virtuoso di diffusione della Solarizzazione ha interessato il territorio di Borgo Montenero/ San Vito, situato tra i comuni di San Felice Circeo e Terracina, i fattori determinanti per questo successo sono stati prevalentemente, le condizioni climatiche favorevoli (caldo estivo), la limitata diffusione delle colti-

vazioni nel periodo estivo, ma soprattutto la presenza diffusa di una rete di tecnici e cooperative agricole che hanno promosso la pratica. Infatti, dal 1993 al 1998 le superfici solarizzate sono aumentate da 54 a oltre 650 ettari, fino a raggiungere ai giorni nostri, la quasi totalità delle aziende orticole in coltura protetta. **Modalità Operative**

L'efficacia della Solarizzazione dipende soprattutto dai livelli di temperatura raggiunti nel suolo e il rapporto Temperatura-Tempo, di fatto la vita di un patogeno dipende dai livelli termici raggiunti nel suolo alle diverse profondità e dal tempo di mantenimento di tali valori, per migliorare o monitorare ciò le modalità operative

sono le seguenti:

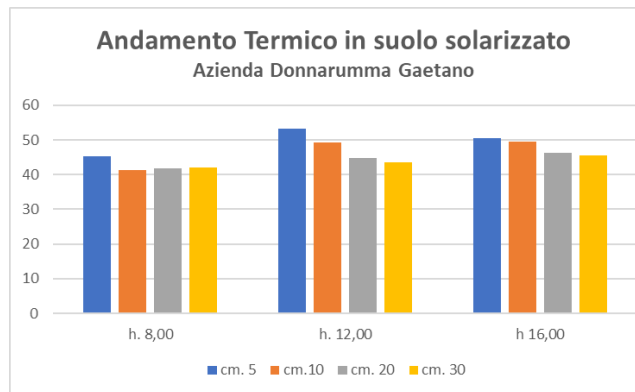
- il terreno deve essere ben lavorato, e libero dai residui colturali a trattamenti passati e sufficientemente umido, così da condurre meglio il calore verso gli strati profondi.
 - Il periodo migliore per effettuare la solarizzazione va dal 20 giugno a fine agosto, quando l'intensità della radiazione solare è massima.
 - Prima della posa del film plastico è necessario eliminare i residui colturali e livellare il terreno. Il riscaldamento del suolo sotto il telo avviene grazie all'assorbimento della radiazione solare.
 - Il film plastico trasparente deve essere sottile(0,05mm), ben aderente al terreno e privo di pieghe, così da massimizzare la trasparenza e l'effetto serra. Un film troppo spesso riduce l'entrata della luce e quindi l'efficienza del trattamento, inoltre bisogna evitare la presenza di acqua sopra il telo, perché l'acqua raffredda il suolo e ostacola la trasmissione del calore.
 - In caso di letamazione va effettuata prima del trattamento per evitare contaminazioni
 - La calce non influenza l'innalzamento delle temperature, anche se non esistono ancora prove sperimentali
- In sintesi, gli aspetti fondamentali per una buona solarizzazione sono:
forte irraggiamento solare, terreno ben lavorato e umido, e soprattutto perfettamente piano
copertura plastica sottile, trasparente e ben tesa,
assenza di acqua sulla superficie del telo.



Azioni della solarizzazione

Le ricerche condotte in Italia, sia in campo aperto che in serra, hanno dimostrato che la solarizzazione è efficace nel ridurre numerosi patogeni del terreno che colpiscono diverse colture orticole (come lattuga, spinacio, pomodoro, fragola, fagiolo, peperone, patata e molte altre). Le alte temperature raggiunte sotto il film plastico permettono di eliminare o indebolire funghi, batteri, nematodi e anche molte infestanti, non è un processo di tipo drastico ma ha bisogno di più applicazioni per la riduzione dei patogeni presenti. Quando la Solarizzazione è applicata in serra chiusa le temperature elevate che si raggiungono all'in-

terno dell'ambiente (maggiori di 60°), consentono l'eliminazione o la riduzione drastica delle forme patogene presenti anche al di fuori del terreno, sulle strutture e sulle canne di sostegno.



L'azione della solarizzazione è dovuta principalmente: All'aumento della temperatura del terreno, che riduce le popolazioni patogene e i semi di infestanti, le temperature che vengono attuate nell'azione fisica permettono di eliminare i patogeni termosensibili risparmiando molti organismi termoresistenti, portando spesso a un incremento dell'attività di organismi antagonisti, un grande impatto è dovuto anche dall'effetto sinergico tra calore e umidità, che potenzia l'azione sterilizzante, di fatto i risultati prodotti della Solarizzazione per casi di contenimento di malattie sono risultati analoghi se non superiori rispetto alla fumigazione del terreno. L'unico aspetto che dovrà essere approfondito è l'efficacia nei confronti dei Nematodi, anche se l'applicazione del trattamento ha consentito significative riduzioni di popolazioni di Nematodi, che variano da un 42 al 100%, con danni significativamente ridotti e rese incrementate dopo il trattamento, integrato però dall'uso di disinfestazione chimica del terreno e l'utilizzo di nematocidi a dosi ridotte. Si può comunque giungere alla conclusione che la solarizzazione rappresenta un metodo ecologico che combina l'effetto diretto del calore con quello indiretto dell'attività biologica, contribuendo a rendere il suolo più sano e produttivo.

miando molti organismi termoresistenti, portando spesso a un incremento dell'attività di organismi antagonisti, un grande impatto è dovuto anche dall'effetto sinergico tra calore e umidità, che potenzia l'azione sterilizzante, di fatto i risultati prodotti della Solarizzazione per casi di contenimento di malattie sono risultati analoghi se non superiori rispetto alla fumigazione del terreno. L'unico aspetto che dovrà essere approfondito è l'efficacia nei confronti dei Nematodi, anche se l'applicazione del trattamento ha consentito significative riduzioni di popolazioni di Nematodi, che variano da un 42 al 100%, con danni significativamente ridotti e rese incrementate dopo il trattamento, integrato però dall'uso di disinfestazione chimica del terreno e l'utilizzo di nematocidi a dosi ridotte. Si può comunque giungere alla conclusione che la solarizzazione rappresenta un metodo ecologico che combina l'effetto diretto del calore con quello indiretto dell'attività biologica, contribuendo a rendere il suolo più sano e produttivo.

Aziende coinvolte

Per valutare l'impatto della Solarizzazione sulla fertilità dei suoli sono state prese in considerazione nove aziende campionesse, che ordinariamente realizzano la solarizzazione nella modalità classica, quindi si prepara adeguatamente il terreno dopo aver effettuato la concimazione organica con diverse modalità di fertilizzante i prelievi dei suoli si sono effettuati prima della solarizzazione sul terreno lavorato ma non fertilizzato, e successivamente dopo l'esecuzione della fertilizzazione (o dell'interramento dei residui colturali) e della solarizzazione, si è effettuato il prelievo per l'analisi del suolo finale post-solarizzazione (generalmente dopo 30-60 gg.).

I parametri analizzati per ogni campione di terreno prelevato sono stati

- analisi chimico-fisiche
- analisi microbiologiche

Modalità di campionamento

Per ogni azienda oggetto di sperimentazione, al fine di valutare l'efficacia della tecnica della solarizzazione a livello agroecologico sono stati effettuati campionamenti seguendo la metodologia classica del prelievo di 5 sottocampioni uno all'incrocio delle due diagonali e quattro sui punti mediani delle 4 semidiagonali

Successivamente i 5 sub-campioni sono mescolati e dal campione ottenuto si preleva un kg di terreno

I campionamenti sono stati realizzati dal personale tecnico del partner capofila, la SIA, con la supervisione, attraverso sopralluoghi periodici nelle colture sperimentali, dei ricercatori del CNR-IPSP. Questi hanno anche provveduto alla formazione del personale SIA, in merito alla tecnica di campionamento.



Valutazione dei suoli solarizzati

I campioni raccolti nelle aziende prima della solarizzazione (giugno 2025) e dopo la solarizzazione (agosto 2025) sono stati sottoposti sia ad analisi fisico-chimiche che microbiologiche

Determinazioni Chimico-Fisiche

L'utilizzo dell'analisi Chimico -fisiche all'interno del trattamento risulta fondamentale, in quanto esse servano a comprendere la composizione chimico-fisica del terreno per caratterizzarlo dal punto di vista funzionale e produttivo al fine di ottimizzare le pratiche agricole (concimazione, irrigazione e lavorazioni), la salute del suolo e la produzione, oltre che a verificare la presenza di contaminanti. Alcuni parametri presenti in esse sono fondamentali per la produzione agricola e anche una piccola variazione può portare a cambiamenti significativi per un produttore. I valori presi in considerazione, in quanto variabili tra un prima e un post trattamento, sono

Granulometria

La Tessitura: È un'analisi di tipo fisica, ed indica la percentuale di sabbia, limo e argilla, all'interno di un terreno. Risulta essere comunque un fattore importante nella

Solarizzazione poiché influenza quanto calore il suolo riesce ad assorbire, trattenere e trasmettere in profondità, portando a delle differenze significative
un terreno sabbioso: tende a scaldarsi più velocemente ed ha raggiungere temperature più alte, penetra più facilmente il calore ma ha bisogno di irrigazione costante e presentano meno sostanza organica
un terreno argilloso si scalda più lentamente e raggiunge temperature inferiori, la penetrazione del calore risulta più complessa, l'irrigazione è minore vista la capacità di trattenere acqua, e presentano maggiore S.O.

Reazione del Suolo (pH)

E' uno dei parametri fondamentali, insieme alla conducibilità elettrica, che caratterizza un terreno agrario. Il livello di pH ottimale per le colture è quello compreso tra il sub-acido (pH 6,5) ed il neutro (pH 7), ed è in questo range che si verifica la massima disponibilità nel suolo di Microelementi e Macroelementi: Sono fattori che non vengono significativamente influenzati dal trattamento, ma sono comunque fondamentali per lo sviluppo delle piante e per un successivo piano di concimazione,

Sostanza organica(SO)

La sostanza organica è fondamentale per il terreno perché svolge molte funzioni che migliorano la fertilità, la struttura e la salute del suolo, essa infatti fa da "collante" tra le particelle del suolo, formando aggregati stabili, questo rende il terreno più soffice, arioso e facile da lavorare, inoltre, la sostanza organica funziona come una spugna e quindi, i terreni ricchi di sostanza organica assorbono più acqua e la rilasciano lentamente, utile soprattutto in periodi di siccità. Si occupa della decomposizione libera dei nutrienti, tra i quali (Azoto, fosforo, zolfo), portando così anche ad un aumento la capacità di scambio cationico (CSC), visto che trattiene ioni come Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , NH_4^{+} . Una caratteristica fondamentale della sostanza organica è che nutre i microrganismi del suolo tra i quali Batteri, funghi e lombrichi, delle volte può anche portare a un effetto tampone, riducendo e stabilizzando il Ph del suolo.

L'azoto (N)

E' uno degli elementi più importanti per le piante perché è alla base della loro crescita e delle funzioni vitali. E' in grado di formare proteine cosa essenziale per le piante che lo utilizzano per crescere, produrre nuovi tessuti e rinforzare le cellule stimolando così, la formazione di foglie e fusti (L'azoto è presente nel DNA e nell'RNA.).
L'azoto, inoltre è il componente principale della clorofilla che è la sostanza che rende le foglie verdi e permette la fotosintesi. È fondamentale nel metabolismo, poiché fa parte di molte molecole che regolano: enzimi, ormoni vegetali, processi di sviluppo.

Carbonio organico:

Il Carbonio Organico è un valore fondamentale poiché rappresenta l'energia dei microrganismi (batteri, funghi e lombrichi), oltre a garantire la loro sopravvivenza, riproduzione e trasformazione in sostanza organica ed in nutrienti utili alle piante, il carbonio organico aiuta a formare aggregati stabili. Un terreno con più carbonio è più soffice, meno compatto, più drenante, più resistente all'erosione. Il carbonio organico da una parte trattiene nutrienti come azoto, fosforo, potassio e microelementi dall'altra si mineralizza, rilasciando nutrienti nel tempo oltre a funzionare come una spugna naturale portando così a un meno stress idrico. E' un indicatore della "salute" del suolo, poiché molti parametri dipendono da esso:

attività biologica

porosità

fertilità

capacità di scambio cationico

Se il contenuto di carbonio è basso possono riscontrarsi diversi problemi quali: terreno povero e poco fertile, maggiore erosione, minore ritenzione idrica, minore attività microbica e infine Struttura debole

Determinazioni Microbiologiche

Come indice della attività microbica dei suoli, ai fini della valutazione della fertilità, si è analizzata l'attività metabolica dei microrganismi contenuti nei suoli attraverso un metodo sierologico e quindi attraverso la classica tecnica ELISA.

Dopo l'estrazione delle cellule formanti le comunità microbiche dai campioni di terreno, le sospensioni risultanti sono state utilizzate per inoculare le piastre a 96 pozzetti contenenti substrati di carbonio per valutare lo sviluppo selettivo dei microrganismi presenti nel suolo

La piastra è costituita da 96 pozzetti contenenti 31 diverse fonti di carbonio e un bianco come controllo, in triplicato. Ogni fonte di carbonio è caratterizzata da un colorante (tetrazolium), che si riduce generando un colore viola una volta che la fonte di carbonio è utilizzata dai microorganismi. I microorganismi del suolo ossidano il substrato e formano NADH, che può essere quantificato con uno spettrofotometro, con lettura a 595 nm.

Tramite un processo ciclico con durata di 5 giorni, i batteri si nutrono dei substrati dei diversi pozzetti contenenti diverse fonti di carbonio caratterizzanti i diversi gruppi funzionali, e successivamente alla colorazione di un determinato pozzetto segue la rivelazione della presenza di un determinato gruppo cenotico nel nostro campione.

Una piastra contiene fonti di carbonio utili ai fini dell'analisi della comunità microbica estratta da un substrato di coltivazione che può essere vario (Suolo, compost,

torba), questo è possibile poiché le comunità microbiche danno un pattern caratteristico di utilizzazione chiamato Fingerprint metabolico.

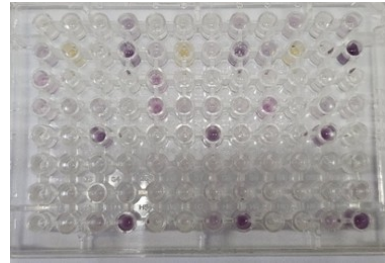
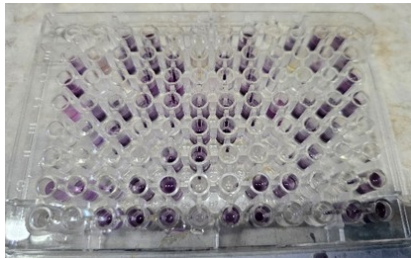
Le letture ricavate dalla spettrofotometria sono elaborate per determinare i 3 indici:

[Attività Microbica Totale \(AT\)](#)

Equilibrio Funzionale (EF)

Diversità Microbica (N).

L'AT (Attività Microbica Totale): rappresenta il valore medio di colorazione dei pozzetti, ed è l'indice più evidente senza l'ausilio del lettore per piastre tra i tre. La sua misurazione rivela la misura dell'attività totale che riassume per ogni piastra e per ciascun tempo di incubazione la risposta metabolica dei microrganismi, il suo calcolo viene fatto tramite la media delle assorbanze corrette dei pozzi (escludendo i bianchi):



Più alto sarà il valore finale più substrati vengono metabolizzati dai microrganismi, in genere il suo valore non ha una scala assoluta ma possiamo dividerlo in:

Valori fino a 0 = Nessuna attività

Valori da 1 a 2 = Metabolismo molto attivo

Equilibrio Funzionale (EF)

Rappresenta la diversità funzionale e misura la biodiversità in base al numero di differenti substrati che sono utilizzati da una comunità microbica, dando un valore non solo di quanti substrati sono metabolizzati ma anche quanto equamente i microrganismi si nutrono in tutto il pozzetto, dei diversi gruppi funzionali. Il

Se il valore dell'indice di Equilibrio funzionale (EF) è alto allora vuol dire che la comunità microbica usa i substrati in modo bilanciato, cioè con valori simili, mentre se il valore è basso vuol dire che la comunità non utilizza i substrati in modo bilanciato e solo alcuni substrati dominano. Il valore dell'EF varia tra 0 e 3.43

Esistono però delle eccezioni, nel caso in cui vengono utilizzate le assorbanze non si sta calcolando la Shannon classica di biodiversità (con frequenze), ma una versione funzionale/metabolica e quindi i suoi valori possono anche superare 4

I range dei valori per determinare la EF sono i seguenti:

$EF \approx 0$: la comunità usa solo 1 o pochi substrati → bassa diversità metabolica.

EF medio (2–3.5) → diversità moderata (molti substrati usati, ma non tutti).

EF > 4: i substrati sono usati e in modo bilanciato → alta diversità funzionale.

Diversità Microbica (N).

Rappresenta Il numero di substrati metabolizzati attivamente, indica quindi la quantità di pozzetti che vengono impiegati nell'analisi, più il suo valore è alto è più substrati vengono impiegati. I suoi valori vengono dati dalla conta di pozzi con assorbanza corretta > 0.25

I suoi valori variano da 0 a N, dove N = numero di substrati esclusi i bianchi (es. 31 – 3 = 28).

< 10 → bassa attività metabolica

> 20 → attività molto estesa

Ogni pozzetto rappresenta un diverso gruppo funzionale, e la colorazione di esso indica la presenza del microrganismo.

Risultati del trattamento della Solarizzazione

Per ogni azienda coinvolta nella sperimentazione sottoposta a solarizzazione per un periodo che va da 45 ai 60 gg, si è provveduto ad effettuare un'analisi del terreno pre e post solarizzazione

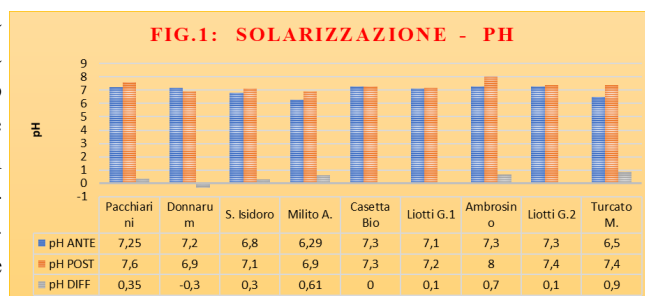
Analisi parametri Chimico-fisici

È emerso che i valori delle analisi chimico fisiche sono variati dal pre e il post trattamento, come emerge dalla seguente tabella

Azienda	pH			So. Org.			Azoto			Carbonio		
	ANTE	POST	DIFF	ANTE	POST	DIFF	ANTE	POST	DIFF	ANTE	POST	DIFF
Pacchiariini	7,25	7,6	0,35	1,12	2,24	1,12	0,073	0,03	-0,043	0,75	1,3	0,55
Donnarum	7,2	6,9	-0,3	0,6	1,86	1,26	0,06	0,04	-0,02	0,35	1,08	0,73
S. Isidoro	6,8	7,1	0,3	0,3	2,98	2,68	0,05	0,04	-0,01	0,17	1,73	1,56
Milito A.	6,29	6,9	0,61	0,15	2,98	2,83	0,04	0,08	0,04	0,09	1,73	1,64
Casetta Bi	7,3	7,3	0	0,37	2,24	1,87	0,05	0,03	-0,02	0,22	1,3	1,08
Liotti G.1	7,1	7,2	0,1	0,15	2,39	2,24	0,07	0,07	0	0,09	1,39	1,3
Ambrosino	7,3	8	0,7	0,3	1,86	1,56	0,04	0,04	0	0,17	1,08	0,91
Liotti G.2	7,3	7,4	0,1	2,39	2,01	-0,38	0,04	0,07	0,03	1,39	1,17	-0,22
Turcato M.	6,5	7,4	0,9	0,37	1,71	1,34	0,07	0,03	-0,04	0,22	1	0,78

Impatto della solarizzazione sul pH dei suoli

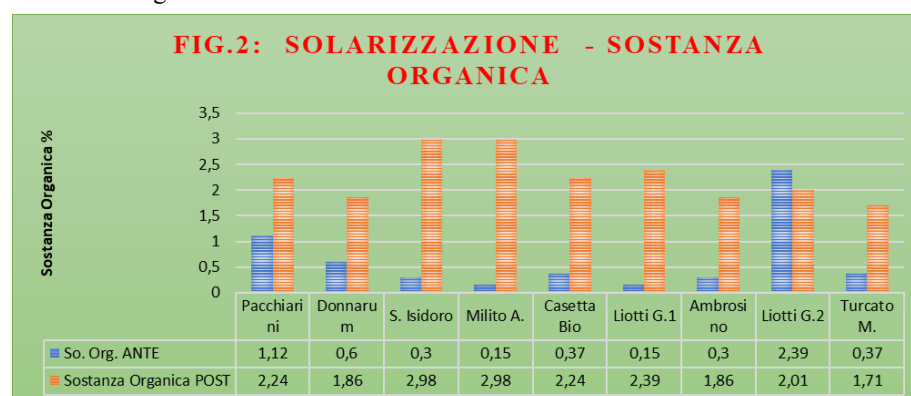
Per quanto riguarda la determinazione della reazione del terreno (pH) esso può variare dopo il trattamento (in genere presenta un aumento) per diversi motivi, a causa del calore



o all'attività biologica del suolo, le cause come già riportato possono essere varie tra cui: la degradazione della sostanza organica, che libera Sali minerali e ioni (calcio, magnesio, potassio), la riduzione di alcuni microorganismi tra i quali risultano esserci quelli che producono acidi nel terreno, l'aumento dell'attività dei microorganismi termoresistenti e la mineralizzazione intensificata poiché con il calore, molti nutrienti presenti in forma organica passano a forma minerale. Infatti, si osserva un incremento del valore assoluto dei macroelementi, in quanto prima della copertura del suolo per l'effettuazione della solarizzazione, generalmente le aziende effettuano una concimazione organica, e di conseguenza i valori dei macroelementi in aumento non sono rilevati dalla analisi pre-solarizzazione, in quanto il prelievo nella stragrande maggioranza delle aziende, è stato effettuato prima della concimazione

Impatto della solarizzazione sulla Sostanza organica

Sostanza organica(S.O): questo fattore è influenzato poiché le temperature elevate e la forte umidità alterano i processi biologici e chimici, le cause, come per il Ph, possono essere varie : L'aumento della decomposizione (mineralizzazione), a causa delle alte temperature il processo della decomposizione è velocizzato da parte dei microorganismi che sopravvivono al calore, trasformando la S.O in nutrienti minerali, inoltre il calore rompe alcune molecole complesse(lignina e humus) rendendole più labili alla trasformazione . il trattamento elimina molti microorganismi mesofili (che vivono a temperature di tipo moderate), cambiando così non solo la quantità della S.O. ma anche la qualità, un'altra alterazione è l'aumento di ossigeno dato grazie alla parziale asciugatura dei primi strati di terreno che porta all'accelerazione della trasformazione della sostanza organica. Al fine del trattamento, cioè quando il terreno risulta freddo alcuni microorganismi utili ricolonizzano il suolo.





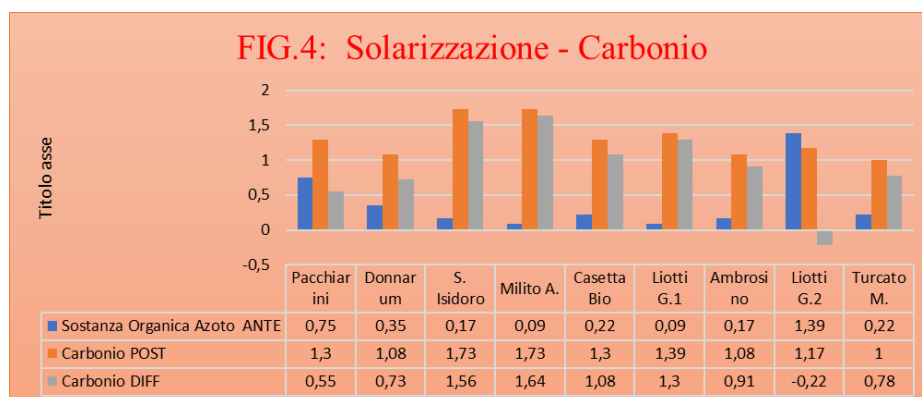
Nel nostro caso, nella quasi totalità dei campioni effettuati si evidenzia un aumento della sostanza organica dopo la solarizzazione in quanto tra i due campionamenti è stata fatta una concimazione organica ammendante. Nel caso delle aziende (Pacchiarini, S. Isidoro, Donnarumma, Ambrosino, La Casetta Bio), mentre altre hanno fatto dei sovesci (Turcato massimo con *Crotolaria* spp), e altre aziende hanno interrato i residui delle colture precedenti (Az. Liotti 1 pack choi, Az. Milito con zucchine), Invece l'Azienda Liotti Giuseppe 2 è stata fatta il prelievo di analisi prima dopo che il terreno era stato a riposo per oltre 30 gg, dopo l'interramento dei residui delle colture, mentre la successiva analisi è stata effettuata

dopo la solarizzazione.

Impatto della solarizzazione sul Carbonio

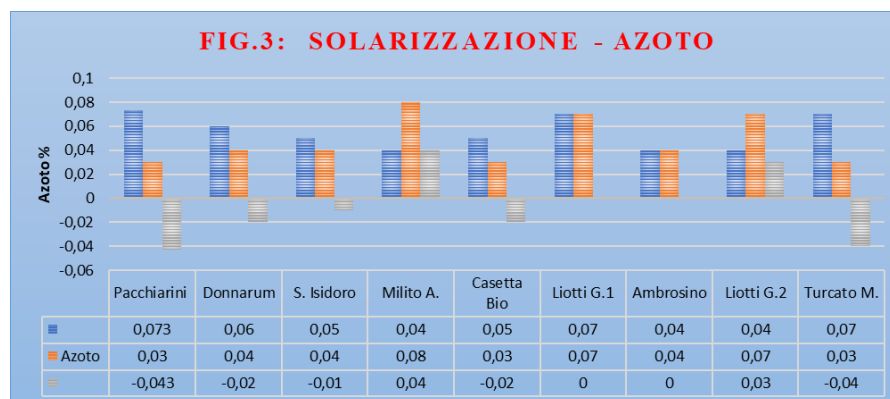
Il contenuto di carbonio tende a cambiare vista la sua stretta correlazione con la S.O. di cui è il componente principale, le cause sono principalmente analoghe: Mineralizzazione che porta ad un aumento della S.O, Rottura di strutture organiche complesse portando a una diminuzione del carbonio stabile, aumento di un'attività microbica termoresistenti, inoltre anche se il carbonio organico non "evapora", i processi accelerati dal calore aumentano la respirazione microbica e l'emissione di CO₂ dal terreno.

Tuttavia, nel nostro caso, nella maggior parte delle aziende si evidenzia un aumento del C.org. legato alla effettuazione di concimazioni organiche tra le due analisi.



Impatto della solarizzazione sull'Azoto

La solarizzazione del suolo ha un impatto misto sull'azoto disponibile: può aumentare temporaneamente la disponibilità di azoto tramite la mineralizzazione della sostanza organica, ma può anche causare perdite di azoto per lisciviazione (specialmente in forma nitrica) a causa dell'aumento delle temperature che stimolano la nitrificazione e l'evaporazione. La solarizzazione favorisce inoltre l'attività microbica benefica, che a sua volta può contribuire a migliorare la disponibilità dei nutrienti. In genere viene riscontrato un aumento di Azoto, dopo una Solarizzazione poiché le nuove condizioni modificano i processi che lo trasformano. Con l'aumento della mineralizzazione l'azoto organico si trasforma in azoto minerale (NH_4^+ e NO_3^-), aumentando così la quantità di azoto disponibile per le piante e l'aumento della formazione ammoniacale dell'Azoto, tramite la riduzione dei batteri nitrificatori, di fatto, molti organismi, che utilizzano l'Azoto, come gli Azotofissatori per esempio, vengono ridotti notevolmente dal calore, ma non i batteri coinvolti nei processi di denitrificazione che è un processo che trasforma i nitrati in gas ($\text{N}_2, \text{N}_2\text{O}$).



Pertanto sarebbe opportuno approfondire quali sono le tipologie di batteri coinvolti nel ciclo dell'azoto e quali sono gli effetti su di essi della tecnica della solarizzazione

Analisi Microbiologica

Per le analisi microbiologiche si sono prese in considerazione gli indici evidenziati in precedenza, ma prima di procedere con la discussione dei risultati è opportuno considerare le situazioni dei singoli suoli prelevati, che tuttavia hanno dato risultati analitici analoghi.

E' da considerare che il campione è stato effettuato nei terreni immediatamente prima che questi venissero coperti con il telo, e soprattutto prima che questi venissero concimati, in quanto i terreni sono prima fertilizzati e immediatamente dopo coperti,

quindi nonostante nei terreni si osserva un incremento della sostanza organica nei suoli, tuttavia si osserva un calo di tutti gli indicatori di attività microbica.

Di conseguenza al termine della solarizzazione si hanno dei terreni che sono più ricchi di sostanza organica, ma con un microbiota meno attivo

Azienda	Diversità Microbica			Equilibrio Funzionale			Attività Totale		
	ANTE	POST	Δ	ANTE	POST	Δ	ANTE	POST	Δ
Pacchiarini	28	25	-3	1,468	1,433	-0,035	0,591	0,503	-0,088
Donnarum	21	14	-7	1,376	1,269	-0,107	0,338	0,208	-0,13
S. Isidoro	28	24	-4	1,468	1,433	-0,035	0,606	0,538	-0,068
Milito A.	26	5	-21	1,439	1,045	-0,394	0,368	0,096	-0,272
La casetta Bio	27	10	-17	1,463	1,148	-0,315	0,584	0,176	-0,408
Liotti G.1	27	26	-1	1,46	1,434	-0,026	0,594	0,474	-0,12
Ambrosino	28	26	-2	1,469	1,438	-0,031	0,625	0,363	-0,262
Liotti G.2	28	8	-20	1,482	1,16	-0,322	0,646	0,114	-0,532
Turcato M.	27	10	-17	1,458	1,148	-0,31	0,515	0,131	-0,384

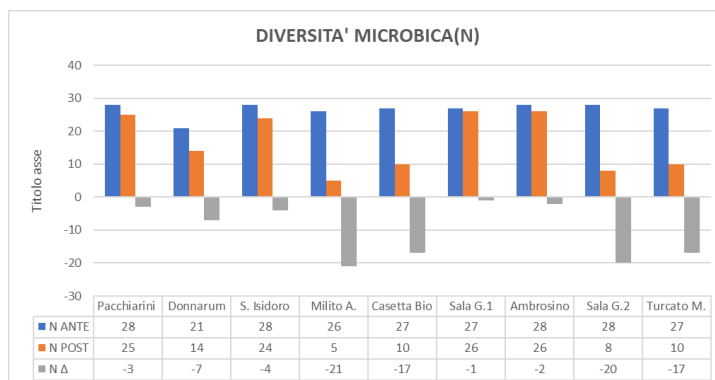
Diversità Microbica

Rappresenta le tipologie di microrganismi che riescono a svilupparsi nei 28 diversi substrati, quindi maggiore è questo indice, che può variare in un range da 0 a 28, e maggiore sarà la variabilità del microbiota del suolo.

Dai risultati della nostra indagine, risulta che al termine della coltivazione delle colture orticole protette, nonostante la spinta specializzazione produttiva e l'intensità culturale, risulta un'elevata variabilità nei gruppi cenotici di microrganismi.

Tuttavia, questa buona "biodiversità", viene compromessa, dopo il trattamento con la solarizzazione, che tuttavia ha un effetto diversificato nelle varie aziende, a seconda delle tecniche culturali adottate.

A titolo di esempio, l'azienda Pacchiarini Marinella, utilizza Rizocore (bacillus megaterium, trichoderma e micorrize) ed altre tipologie di microrganismi effettivi attivi del suolo, prima di ogni ciclo culturale





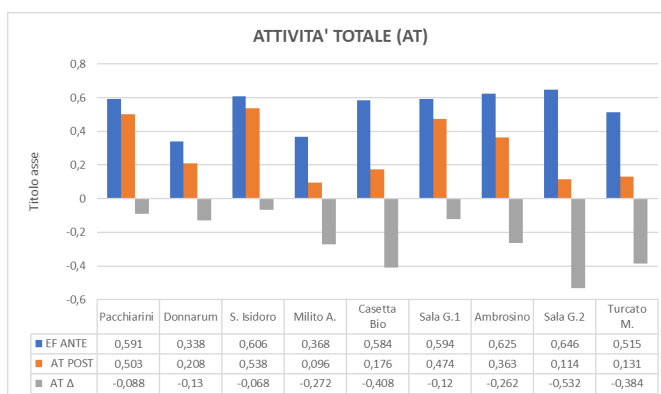
Stesso discorso per l'azienda Liotti, dove nell'appezzamento 1, vi era stato un precessione colturale di Pack Choi, che lascia una grande quantità di residui nel suolo che sono stati trinciati prima di essere fresati nel suolo, oltre che anche in questo caso un abituale utilizzo di microrganismi per arricchire i suoli, d'altro canto nell'appezzamento 2 dove anche si riscontra un elevata biodiversità prima della solarizzazione, tale dato si riduce drasticamente alla fine del trattamento di solarizzazione, potrebbe essere dovuto al fatto che vi sono state temperature più elevate, o soprattutto perché vi è stata in quell'appezzamento una durata del periodo di solarizzazione molto più lungo, oltre 60 gg.

Attività Totale

E' legato alla quantità totale di microrganismi presenti nel campione di suolo

Per questo parametro l'azione della solarizzazione è evidente su tutte le tipologie di aziende sperimentali, in tutti i casi si osserva una riduzione della attività microbica, dove più e dove meno accentuata.

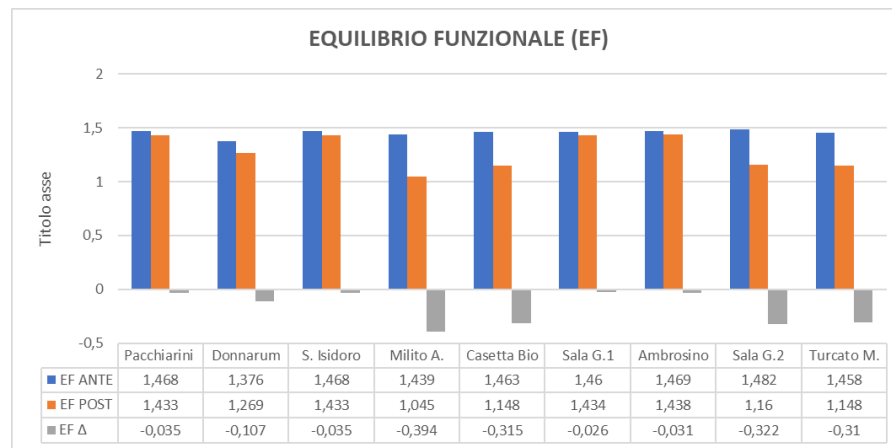
Come già detto in precedenza la solarizzazione, soprattutto in base alla sua azione fisica di aumento di temperatura, è noto che realizza una sorta di "sterilizzazione selettiva" del macrobiota dei suoli. Generalmente la pressione selettiva è maggiore sui patogeni delle piante, che hanno esigenze termiche del tutto omologhe a quelle delle piante ospiti,, e quindi raramente resistono oltre ai 50° di temperatura, soprattutto per un periodo prolungato di tempo



Equilibrio Funzionale

Tale indice, mostra anch'esso una riduzione generalizzata nei campioni post-solarizzazione, s dimostrazione di quanto detto in precedenza, e cioè che la solarizzazione esercita sul terreno una sterilizzazione selettiva, e quindi riduce in modo più

deciso alcune tipologie microbiche, caratterizzate da determinate esigenze nutrizionali, lasciando sostanzialmente indisturbate altre tipologie microbiche



Conclusioni

L'analisi del microbiota del suolo è un fattore determinante per lo sviluppo colturale e produttivo non solo per le aziende che operano in regime di agricoltura biologica, ma piuttosto è di fondamentale per le aziende convenzionali molto intensive, nelle quali l'agro-ecosistema è sconvolto dalle pratiche colturali impattanti e dal notevole utilizzo di input chimici per la difesa e la nutrizione.

Nello specifico tale sperimentazione sembra emergere che la solarizzazione sembra non avere un impatto tanto significativo sul livello di sostanza organica nei suoli, ma soprattutto nella sua trasformazione (in carbonio e azoto disponibile) e sulla sostanza organica vivente dei suoli sia in termini di numerosità che di attività totale.

Un interessante sviluppo dello studio, potrebbe essere rappresentato dall'analisi più specifica di quali sono i gruppi cenotici funzionali che variano nei suoli, ante e post solarizzazione, al fine anche di suggerire poi quali sono le tipologie di microrganismi da reintegrare nei suoli al fine di ripristinarne la fertilità

**WP4 – Protocolli colturali in vivaio per le principali colture realizzate
“Impiego di formulati a base di microrganismi simbiotici della rizosfera
per migliorare la qualità della produzione vivaistica di colture orticole
nella Pianura Pontina”**

L'agricoltura biologica non può prescindere dall'utilizzo di microrganismi utili, definiti comunemente come MBCA (Microbial BioControl Agent). È ampiamente riportato che le piante quando coltivate in suoli supplementati con miscele di MBCA crescono più sane e forti, e sono maggiormente capaci di contrastare eventuali attacchi di funghi e batteri fitopatogeni (Schlaeppli & Bulgarelli 2014). Quest'ultima capacità può essere dovuta alla maggiore presenza di microrganismi promotori della crescita delle piante e induttori di resistenza sistemica. I microrganismi appartenenti a queste categorie sono molteplici, principalmente di origine fungina e batterica. Tra quelli più comunemente utilizzati in preparati commerciali ricordiamo i funghi appartenenti al genere *Trichoderma* (Zeilinger et al. 2016), le micorrize (Balestrini et al. 2015) e diverse specie di batteri appartenenti principalmente ai generi *Pseudomonas* e *Bacillus*. Non a caso, la maggior parte dei preparati commerciali venduti come biostimolanti sono costituiti da uno o più microrganismi (consorzi microbici), tra cui batteri che promuovono la crescita delle piante (PGPR, plant-growth promoting rhizobacteria), batteri che inducono resistenza sistemica e funghi benefici (*Trichoderma* spp. e micorrize). Mentre le specie di *Trichoderma* risultano essere agenti di biocontrollo di funghi fitopatogeni e promotori della crescita e resistenza delle piante (Mastouri et al. 2010), le micorrize sono funghi simbiotici che, colonizzando le radici, aumentano l'assorbimento dell'acqua, del fosforo e di altri elementi minerali. Alcuni strain di funghi benefici possono risultare utili anche per il biocontrollo di insetti fitofagi, attraverso l'induzione di diversi meccanismi di resistenza (Lara et al. 2018).

Il raggiungimento di elevati livelli produttivi delle colture orticole, sia dal punto di vista delle rese che della qualità, non può prescindere dall'impiego di materiale vivaistico di elevata qualità. Il trapianto deve essere realizzato con semenzali esenti da agenti biotici di danno (microrganismi patogeni, virus, insetti, acari e nematodi). Le giovani piantine al trapianto, inoltre, dovrebbero essere in uno stato fisiologico tale da consentire alla piantina di (i) adattarsi ad eventuali stress abiotici in post-trapianto, favorendo sia il rapido attecchimento dell'apparato radicale che lo sviluppo della parte aerea, e (ii) rispondere prontamente all'attacco di agenti biotici di danno, attraverso la rapida attivazione dei meccanismi di resistenza.

Il trapianto di semenzali di elevata qualità è particolarmente importante in agricoltura biologica, rappresentando una delle strategie preventive di difesa della coltura più importanti, non potendo intervenire con mezzi di lotta (trattamenti fitosanitari) di

tipo curativo, in particolare per il controllo di funghi e batteri patogeni.

La fase di trapianto può rappresentare anche il mezzo con il quale migliorare la fertilità microbiologica del terreno, attraverso l'impiego di sementali allevati in substrati di coltura arricchiti con microrganismi benefici.

Pertanto, **obiettivo dell'attività sperimentale di Bioforti** è stato valutare se l'impiego di formulati a base di microrganismi simbiotici della rizosfera potesse migliorare la qualità della produzione vivaistica di alcune colture orticole di rilevante importanza economica nella Pianura Pontina, nell'ottica di favorire una maggiore diffusione e redditività dell'agricoltura biologica.

2. Metodologia Sperimentale

La sperimentazione è stata condotta nell'azienda vivaistica M.G. Vivai Società Agricola A.R.L. con sede a Fondi (LT), partner del G.O.

Le colture oggetto di indagine sono state pomodoro, anguria e cavolo rapa. In particolare, sono state utilizzate le seguenti cultivar:

- [pomodoro a grappolo tipologia Plum, cv Mabell](#) F1 (Blumem Vegetable Seeds);
- anguria tipologia Crimson Sweet, cv Godulia F1 (Takii Seed);
- cavolo rapa a ciclo autunno-invernale, [cv Spinet \(ex 592\) \(Takii Seed\)](#).

Le performance di due consorzi microbici, caratterizzanti due diversi formulati biostimolanti, [RIZ e PEP](#), sono state valutate nella produzione di sementali delle tre colture. RIZ è stato scelto in quanto già in uso come biostimolante dal vivaista. PEP è stato scelto per la diversa composizione del consorzio microbico. Il nome di etichetta dei due formulati commerciali non viene espressamente indicato allo scopo di evitare una qualsiasi forma di pubblicità verso l'uno o l'altro.

Il consorzio microbico del formulato RIZ era costituito da: micorrize 5%, batteri della rizosfera (*Bacillus megaterium*) 1×10^4 UFC/g, *Trichoderma harzianum* 1×10^{10} UFC/g. Il consorzio microbico del formulato PEP era costituito da: micorrize 1%, batteri della rizosfera (*Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Pseudomonas* sp.) 1×10^8 UFC/g, *Trichoderma* spp. (*T. gamsi* e *T. asperellum*) 1×10^8 UFC/g.

I due formulati sono stati utilizzati alle dosi di etichetta per unità di superficie di contenitori alveolati: RIZ alla dose di 60 gr/ha; PEP alla dose di 5 litri/ha.

L'inoculazione del terriccio di semina (Potgrond H della ditta Klasmann) è stata effettuata, alle dosi indicate, in contenitori alveolati di polistirolo, delle dimensioni di 52 x 32 x 6,7 cm (numero di fori variabili in funzione delle specie vegetali), subito dopo la semina, utilizzando una piccola pompa irroratrice a spalla. Avvenuta la semina, i vassoi alveolati sono stati alloggiati all'interno di una serra dell'azienda adibita alla produzione di materiale vivaistico per l'agricoltura biologica. Dopo 15 giorni

dalla semina, quando erano presenti le giovani piantine in post-emergenza, è stato eseguito un secondo trattamento con la stessa modalità di somministrazione.

Per ciascuna specie/varietà di coltura ortiva, l'esperimento ha previsto il confronto di tre tesi sperimentali: il consorzio microbico RIZ, il consorzio microbico PEP ed il Controllo (trattamento dei contenitori alveolati in post-semina e post-emergenza solo con acqua, allo stesso volume utilizzato per distribuire i due formulati microbici).

Le tre tesi sperimentali sono state confrontate per i parametri fenotipici caratterizzanti lo sviluppo dell'apparato radicale e della parte aerea delle piantine in allevamento, nonché per il livello di attacco di patogeni, insetti e acari eventualmente presenti.

Durante la fase di allevamento delle piantine in vivaio non sono stati pervisti trattamenti preventivi con rame o altri prodotti anticrittogamici, non sono stati eseguiti trattamenti insetticidi, né sono state praticate concimazioni fogliari. Ciò allo scopo di valutare la risposta delle piante inoculate con i consorzi microbici all'eventuale attacco di agenti biotici di danno e di non avere interferenze della concimazione fogliare sullo sviluppo delle piantine.

2.1. Disegno sperimentale e parametri fenotipici campionati

Pomodoro

La semina della cv Mabell è stata effettuata il 3 marzo in vassoi alveolati da 60 fori. Per ciascuna delle tre tesi sperimentali sono stati trattati 2 vassoi alveolati, per un totale di 120 piante/tesi.

Per ogni tesi sperimentale sono state sottoposte ad analisi di laboratorio due gruppi di 20 piantine di pomodoro, campionate rispettivamente a un mese dalla semina (03 aprile) e a piantina finita (15 aprile).

Per ogni tesi e data di campionamento, sono state prelevate 10 piantine da ognuno dei due vassoi alveolati, distribuite uniformemente nel vassoio ed escludendo le piantine disposte lungo le fila perimetrali.

Per ciascuna pianta campionata sono stati misurati i seguenti parametri fenotipici: peso fresco, peso secco, altezza del fusto, sviluppo in lunghezza delle radici.

Anguria

La semina della cv Godulia è stata effettuata il 07 aprile in vassoi alveolati da 60 fori. Per ciascuna delle tre tesi sperimentali sono stati trattati 4 vassoi alveolati, per un totale di 240 piante/tesi.

Per ogni tesi sperimentale sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio quattro gruppi di 40 piantine di anguria, campionate rispettivamente a un mese dalla semina (07

maggio) e a piantina finita (22 maggio). Per ogni tesi e data di campionamento, sono state prelevate 10 piantine da ognuno dei quattro vassoi alveolati, distribuite uniformemente nel vassoio ed escludendo le piantine disposte lungo le fila perimetrali. Per ciascuna pianta campionata sono stati misurati i seguenti parametri fenotipici: peso fresco, peso secco, lunghezza e larghezza della prima foglia vera, sviluppo in lunghezza delle radici.

Cavolo rapa

La semina della cv Spinet è stata effettuata il 7 ottobre in vassoi alveolati da 91 fori. Per ciascuna delle tre tesi sperimentali sono stati trattati 4 vassoi alveolati, per un totale di 364 piante/tesi.

Per ogni tesi sperimentale sono state sottoposte ad analisi di laboratorio quattro gruppi di 40 piantine di cavolo rapa, campionate a un mese dalla semina a piantina finita (11 novembre). Per ogni tesi e data di campionamento, sono state prelevate 10 piantine da ognuno dei quattro vassoi alveolati, distribuite uniformemente nel vassoio ed escludendo le piantine disposte lungo le fila perimetrali.

Per ciascuna pianta campionata sono stati misurati i seguenti parametri fenotipici: peso fresco, peso secco, altezza fusto, lunghezza e larghezza della prima foglia vera, sviluppo in lunghezza delle radici.

2.2. Modalità di determinazione dei parametri fenotipici delle piante

I campioni di semenzali prodotti in vivaio sono stati trasportati presso il laboratorio del CNR-IPSP Sede di Portici dove sono state eseguite le misurazioni dei parametri fenotipici.

Il processamento di ciascuna piantina ha avuto inizio con l'allontanamento del pane di terra dalle radici, sottoponendole ad un flusso moderato di acqua corrente. La piantina è stata quindi tamponata e asciugata con carta assorbente per la misura del peso fresco con bilancia elettronica di precisione.

Subito dopo si è proceduto al rilievo degli altri parametri fenotipici. Altezza del fusto, lunghezza e larghezza della prima foglia vera e lunghezza delle radici sono stati misurati con l'ausilio di un righello tecnico. L'altezza del fusto è stata misurata come distanza dal colletto all'inserzione sul fusticino del picciolo della prima foglia vera. La misura di lunghezza e larghezza della prima foglia vera (anguria e cavolo rapa) ha compreso rispettivamente la distanza tra l'innesto del picciolo sulla lamina e l'apice fogliare, e la distanza tra i due vertici laterali della lamina. La lunghezza delle radici è stata misurata come distanza dal colletto all'apice del pane di radici. In

Figura 1 sono rappresentati i parametri fenotipici misurati.

Dopo le misurazioni sulle piantine vegetanti, è stata effettuata la determinazione del peso secco. Le piantine sono state inserite, chiuse singolarmente in bustine di carta per alimenti, all'interno di una stufa ventilata a 100 °C per 48h. Al termine di questo periodo, la determinazione del peso delle piante essiccate è stata fatta con una bilancia elettronica di precisione.

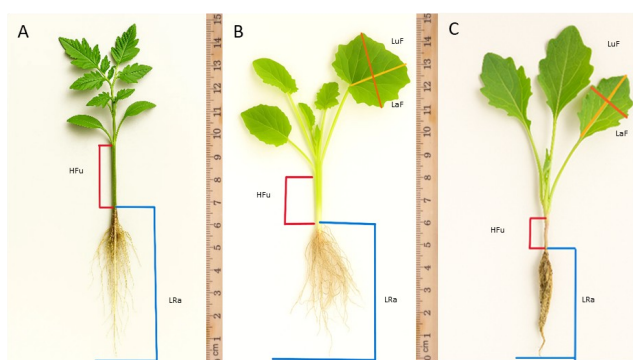


Figura 1. **Parametri fenotipici** misurati su di piantine di **pomodoro (A)**, **anguria (B)** e **cavolo rapa (C)**: altezza del fusto (HFu), lunghezza (LuF) e larghezza (LaF) della prima foglia vera, lunghezza delle radici (LRa)

Per ciascuna delle colture oggetto di indagine, i parametri fenotipici sono stati confrontati tra le tre tesi sperimentali (RIZ, PEP e Controllo). La significatività statistica della differenza tra le medie è stata valutata mediante l'analisi della varianza (ANOVA) ad una via e successivo post hoc Test di Tukey-Kramer della minima differenza

significativa ($P < 0,05$) per i confronti a coppia tra le medie.

3. Risultati

I dati ottenuti nei tre esperimenti condotti in vivaio, rispettivamente su pomodoro da mensa, anguria e cavolo rapa, sono riportati nelle figure 2-3-7-8-11 e nelle tabelle 1-3. In esse, è anche riportato il risultato dell'analisi statistica che ha valutato, per ciascuna delle tre specie vegetali, la significatività della differenza tra le medie di tutti i parametri fenotipici misurati.

Pomodoro

Per il pomodoro (tabella 1, figure 2-3), il trattamento con il consorzio microbico PEP è quello che ha maggiormente influenzato positivamente tutti i parametri fenotipici, differenziandosi in modo significativo sia rispetto al Controllo che rispetto al trattamento RIZ. L'effetto di quest'ultimo non si è invece differenziato dal controllo (solo acqua). Una rappresentazione fotografica dei risultati è riportata nelle figure 4-6. Differenze statisticamente significative sono emerse tra RIZ e PEP per il peso fresco, altezza fusto e lunghezza radici, sia a metà (figura 4) che a fine ciclo di produzione dei semenzali (figure 5 e 6), mentre per il peso secco la differenza è apparsa statisti-

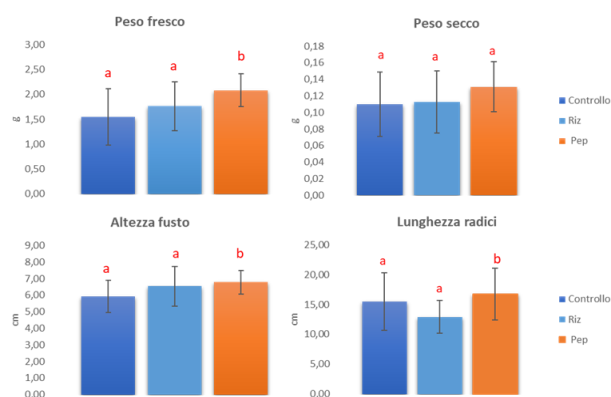


Figura 2. Produzione vivaistica di **pomodoro**. Effetto di microrganismi simbiotici sui principali parametri fenologici a metà ciclo produttivo

co PEP, rispetto alle altre due tesi sperimentali, ha maggiormente influenzato positivamente i parametri fenotipici, differenziandosi in modo significativo sia rispetto al Controllo che rispetto al trattamento RIZ (figure 7 e 8). L'effetto di quest'ultimo non si è invece differenziato dal Controllo (solo acqua). Come dimostra la rappresentazione fotografica dei risultati nelle figure 9-10, nella tesi PEP, i parametri peso fresco, peso secco, altezza fusto (solo a metà ciclo), lunghezza radici (solo metà ciclo), lunghezza e larghezza della prima foglia vera sono risultati significativamente più elevati sia rispetto al Controllo che alla tesi RIZ. Quest'ultima non ha fatto registrare un effetto diverso dal Controllo, tranne a fine ciclo per la lunghezza delle radici (figura 10). Rispetto al controllo, la tesi PEP ha consentito in media un incremento a fine ciclo del 17% del peso fresco, del 18% del peso secco, del 10,20% della lunghezza della foglia e del 13% della larghezza della foglia. L'unico parametro influenzato positivamente a fine ciclo dal trattamento RIZ è stato la lunghezza delle radici (+8,26% rispetto al controllo, +1,97% rispetto alla tesi PEP).

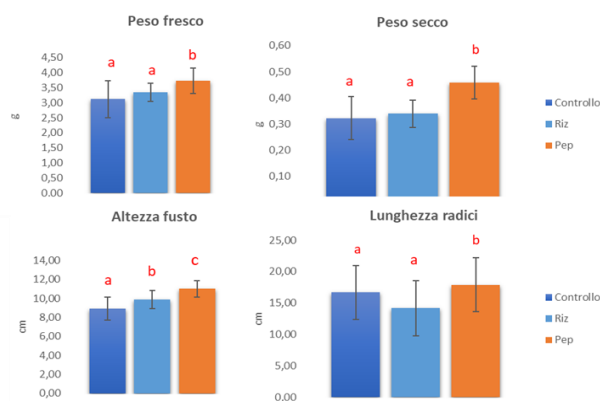


Figura 3. Produzione vivaistica di **pomodoro**. Effetto di microrganismi simbiotici sui principali parametri fenologici a fine ciclo produttivo

camente significativa solo a fine ciclo. Rispetto al controllo, la tesi PEP ha consentito in media un incremento a fine ciclo del 19% del peso fresco, del 43% del peso secco, del 23% dell'altezza del fusto e del 7% dello sviluppo radicale.

Anguria

Anche per l'anguria (tabella 2), il trattamento con il consorzio microbi-

Cavolo rapa

Per il cavolo rapa (tabella 3), al contrario di quanto riscontrato per pomodoro e anguria, il consorzio microbico più performante è stato quello della tesi RIZ (figura 11). Tuttavia, le maggiori performance delle piantine trattate con RIZ non sono state così evidenti. Infatti, rispetto al controllo (sola acqua), a seguito del trattamento RIZ le piantine presentavano valori più elevati di peso fresco (+5,6%), di lunghezza (+5,77%) e larghezza (+21,4%) della prima foglia vera (figura 12); invece, altezza fusto e lunghezza radici non si differenziavano significativamente), mentre il peso secco delle piante RIZ era significativamente più basso (-6,6%) rispetto al controllo. Il trattamento con il consorzio microbico PEP non ha indotto alcun miglioramento dei parametri fenotipici rispetto al controllo.

Per l'ottimale gestione da parte dell'azienda vivaistica dei parametri climatici (temperatura e umidità), l'adozione di idonee pratiche agronomiche (in particolare l'irrigazione) e di prevenzione verso gli insetti fitofagi (reti anti-insetto, rimozione residui vegetali ed altre pratiche di sanitizzazione) nella serra adibita alla produzione di semenzali per l'agricoltura biologica, nel corso delle prove di valutazione dei consorzi microbici,

non sono state riscontrate infezioni di agenti patogeni, né attacchi da parte di insetti fitofagi, nelle tre tesi sperimentali.



*Figura 4. Confronto tra i tre trattamenti sperimentali dei parametri fenotipici misurati su piantine di **pomodoro a metà ciclo produttivo**. Lunghezza delle radici (A-B): piante con la maggiore lunghezza delle radici (A) e con la minore lunghezza (B). Altezza del fusto (C-D): piante la maggiore altezza (C) e con la minore altezza. (D)*



Figura 5. Confronto tra i tre trattamenti sperimentali dei parametri fenotipici misurati su piantine di **pomodoro a fine ciclo produttivo**. Lunghezza delle radici (A-B-C): piante con la maggiore lunghezza delle radici (A-B) e con la minore lunghezza (C). Altezza del fusto (D-E): piante la maggiore altezza (D) e con la minore altezza (E)



Figura 6. Confronto dei parametri fenotipici misurati su piantine di **pomodoro a fine ciclo produttivo**. Piantine campionate in vivaio per le tre tesi sperimentali (A-B). Radici di piantine di pomodoro con pane di terra a confronto (B).

Tabella 1. Effetto di formulati a base di consorzi microbici sullo sviluppo in vivaio di semenzali di **pomodoro**.

Pomodoro									
Campionamento metà ciclo					Campionamento fine ciclo				
Tesi ¹	Parametri fenologici	media ± ds ²	Anova ³	Test di Tukey ⁴	% Inc ⁵	media ± ds ²	Anova ³	Test di Tukey ⁴	% Inc ⁵
Peso fresco									
	(g)		P=0.002				P=0.002		
A		1.55 ± 0.57		a		3.12 ± 0.61		a	
RIZ		1.76 ± 0.49		a		3.34 ± 0.30		a	
PEP		2.08 ± 0.33		b	+ 34,2%	3.72 ± 0.41		b	+ 19%
Peso secco									
	(g)		P=0.12				P=0.0001		
A		0.11 ± 0.04		a		0.32 ±0.08		a	
RIZ		0.11 ± 0.04		a		0.34 ±0.05		a	
PEP		0.13 ± 0.03		a		0.46 ±0.06		b	+43%
Altezza fusto									
	(cm)		P=0.02				P=0.0001		
A		5.93 ± 0.98		a		8.89 ± 1.21		a	
RIZ		6.54 ± 1.21		a		9.89 ± 0.96		b	+11%
PEP		6.79 ± 0.71		b	+14%	11 ± 0.88		c	+23%
Lunghezza radici (cm)									
			P=0.01				P=0.003		
A		15.49 ± 4.84		a		16.67 ± 4.30		a	
RIZ		12.93 ± 2.74		a		14.16 ± 4.43		a	
PEP		16.76 ± 4.31		b	+8.20%	17.90 ± 4.27		b	+7.23%

Legenda:

¹ Tesi sperimentali: A, controllo (acqua); RIZ; PEP.

² Media $\pm$ Deviazione Standard.

³ Analisi della varianza ad una via, livello di significatività P.

⁴ Test HSD di Tukey: lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa tra le medie (P<0,05), lettere uguali indicano nessuna differenza statisticamente significativa tra le medie.

⁵ % Inc, percentuale media di incremento del parametro fenologico rispetto al controllo.

Tabella 2. Effetto di formulati a base di consorzi microbici sullo sviluppo in vivaio di semenzali di *anguria*.

Anguria									

Legenda:

¹ Tesi sperimentali: A, controllo (acqua); RIZ; PEP.

² Media ± Deviazione Standard.

³ Analisi della varianza ad una via, livello di significatività P.

⁴ Test HSD di Tukey: lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa tra le medie (P<0,05), lettere uguali indicano nessuna differenza statisticamente significativa tra le medie.

⁵ % Inc, percentuale media di incremento del parametro fenologico rispetto al controllo.

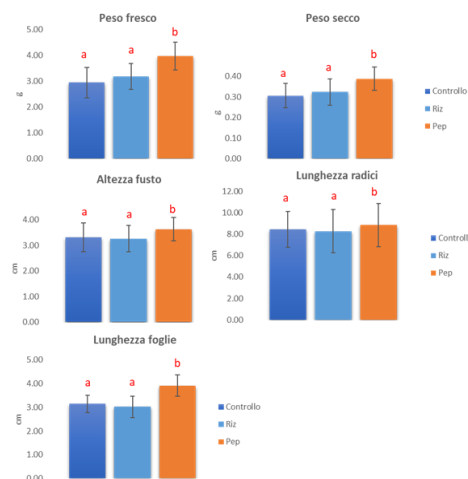


Figura 7. Produzione vivaistica di **anguria**. Effetto di microrganismi simbiotici sui principali parametri fenolo-

Figura 8. Produzione vivaistica di **anguria**. Effetto di microrganismi simbiotici sui principali parametri fenologici a **fine ciclo produttivo**

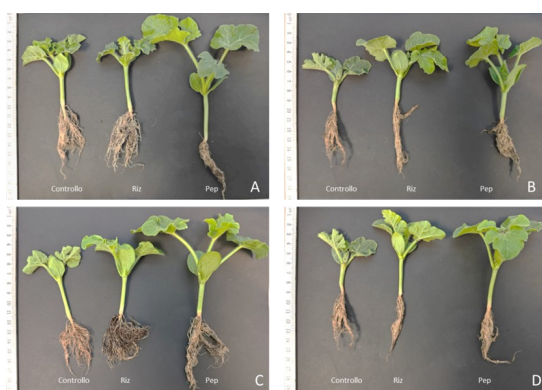
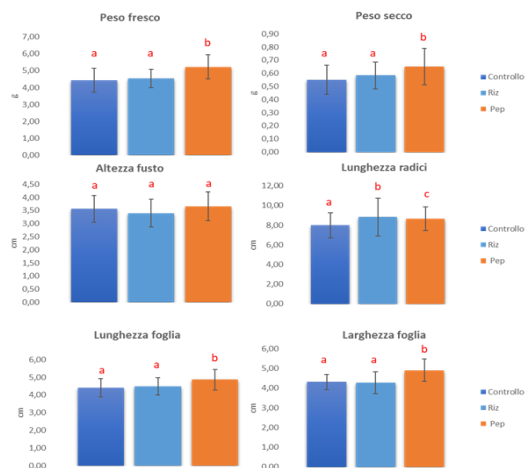


Figura 9. Confronto tra i tre trattamenti sperimentali dei parametri fenotipici misurati su piantine di **anguria** a **metà ciclo produttivo**. Altezza fusto (A-B): piante con la maggiore altezza del fusto (A) e con la minore altezza (B). Peso fresco (C-D): piante con il maggiore peso fresco (C) e con il minore peso fresco. (D)

Figura 10. Confronto tra i tre trattamenti sperimentali dei parametri fenotipici misurati su piantine di **anguria** a **fine ciclo produttivo**. Altezza fusto (A-B piante con maggiore altezza del fusto (A) e con minore altezza (B). Peso fresco (C-D): piante con il maggiore peso fresco (C) e con il minore peso fresco (D)

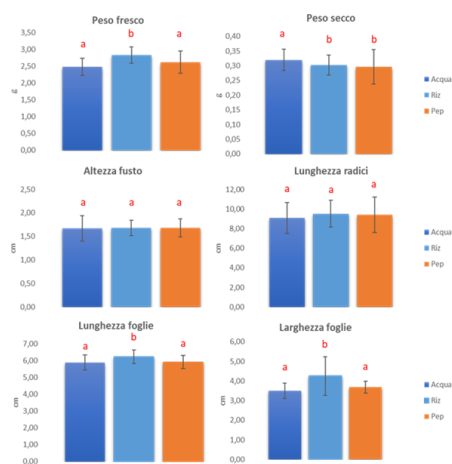


Figura 11. Produzione vivaistica del **cavolo rapa**. Effetto di microrganismi simbiotici sui principali parametri fenologici a **fine ciclo produttivo**

Figura 12. Confronto tra i tre trattamenti sperimentali dei parametri fenotipici misurati su piantine di **cavolo rapa** a **fine ciclo produttivo**. Lunghezza delle radici (A-B): piante con la maggiore lunghezza delle radici (A) e con la minore lunghezza (B). Altezza del fusto (C-D): piante con la maggiore altezza (C) e con la minore altezza (D)



Tabella 3. Effetto di formulati a base di consorzi microbici sullo sviluppo in vivaio di sementali di *cavolo rapa*.

Cavolo rapa					
Campionamento fine ciclo					
Tesi ¹	Parametri fenologici	media $\pm$ ds ²	Anova ³	Test di Tukey ⁴	% Inc ⁵
Peso fresco					
	(g)		P=0.0001		
A		2.48 $\pm$ 0.25		a	
RIZ		2.83 $\pm$ 0.24		b	+5,6 %
PEP		2.62 $\pm$ 0.34		a	
Peso secco					
	(g)		P=0.02		
A		0.32 $\pm$ 0.04		a	
RIZ		0.30 $\pm$ 0.03		b	-6.6%
PEP		0.30 $\pm$ 0.06		b	-6.6%
Altezza fusto					
	(cm)		P=0.96		
A		1.67 $\pm$ 0.27		a	
RIZ		1.68 $\pm$ 0.16		a	
PEP		1.68 $\pm$ 0.19		a	
Lunghezza radici (cm)					
			P=0.47		
A		9.09 $\pm$ 1.58		a	
RIZ		9.52 $\pm$ 1.38		a	
PEP		9.39 $\pm$ 1.80		a	
Lunghezza foglie (cm)					
			P=0.004		
A		5.89 $\pm$ 0.44		a	
RIZ		6.23 $\pm$ 0.41		b	+5.77%
PEP		5.92 $\pm$ 0.38		a	
Larghezza foglie (cm)					
			P=0.0001		
A		3.50 $\pm$ 0.40		a	
RIZ		4.25 $\pm$ 0.98		b	+21.4%
PEP		3.69 $\pm$ 0.30		a	

Legenda:

¹ Tesi sperimentali: A, controllo (acqua); RIZ; PEP.

² Media $\pm$ Deviazione Standard.

³ Analisi della varianza ad una via, livello di significatività P.

⁴ Test HSD di Tukey: lettere diverse indicano una differenza statisticamente significativa tra le medie (P<0,05), lettere uguali indicano nessuna differenza statisticamente significativa tra le medie.

⁵ % Inc, percentuale media di incremento del parametro fenologico rispetto al controllo.

4. Conclusioni

I risultati ottenuti nei diversi saggi sperimentali condotti in Bioforti su pomodoro, anguria e cavolo rapa evidenziano un generale effetto positivo dei due consorzi microbici utilizzati sui parametri fenotipici misurati ma con effetti variabili a seconda della specie e del parametro fenotipico considerato.

Sia su pomodoro che su anguria, il formulato PEP ha mostrato una performance complessivamente superiore rispetto al formulato RIZ e al controllo (solo acqua). Per il pomodoro, di particolare rilievo è il notevole incremento del peso secco, tradottosi in un significativo incremento dell'altezza del fusto e dello sviluppo dell'apparato radicale. Il formulato PEP ha quindi ottenuto una significativa attività biostimolante sull'accrescimento sia della parte aerea che dell'apparato radicale. Un risultato analogo (aumento del peso secco delle radici) è stato evidenziato in un precedente lavoro sperimentale (Tucci et al. 2010) su pomodoro var. Corbarino trattato in vivaio con *T. harzianum* T22 ed altri *Trichoderma* spp.

Per l'anguria, il trattamento con il consorzio microbico PEP, ha influito positivamente sul peso secco dei semenzali, ma meno che nel pomodoro; sebbene l'effetto biostimolante sullo sviluppo della parte aerea (peso fresco, larghezza e lunghezza prima foglia vera) sia stato significativo, lo sviluppo dell'apparato radicale non sembra essere stato influenzato. A livello radicale il consorzio microbico RIZ è invece stato più performante. I risultati ottenuti confermano quelli osservati da Waheed et al. (2020), in cui l'inoculo al substrato di semina di *T. harzianum* ha determinato in piante di anguria un incremento significativo del peso fresco, peso secco, lunghezza delle radici e area fogliare denotando un'influenza positiva sulla fisiologia della pianta. Nel cavolo rapa, al contrario di pomodoro e anguria, il consorzio microbico che ha mostrato una risposta positiva è stato RIZ, determinando, rispetto al Controllo e al formulato PEP, un miglioramento del peso fresco e dello sviluppo fogliare, ma non del peso secco, dell'altezza del fusto e dello sviluppo dell'apparato radicale. Non sono stati riscontrati effetti biostimolanti del formulato PEP. Un parziale effetto biostimolante su cavolo rapa da parte di alcuni isolati di *Trichoderma* è stato anche evidenziato da Lanzi et al. (2022), dimostrando che l'effetto sul peso fresco poteva aumentare se il fungo veniva utilizzato in miscela con acidi grassi, con incrementi del peso dal 64% al 100%.

Nel complesso i risultati ottenuti evidenziano come l'uso di formulati a base di consorzi microbici possa migliorare la qualità della produzione vivaistica di sementali di colture ortive di interesse per la Pianura Pontina. Tuttavia, non tutti i consorzi microbici hanno avuto lo stesso effetto biostimolante, che è variato in funzione della combinazione specie ortiva e isolati microbici. I due formulati utilizzati nella sperimentazione Bioforti avevano una differente composizione dei consorzi microbici, uno con evidenti effetti biostimolanti su pomodoro e anguria, l'altro su cavolo rapa. Altra considerazione di rilievo è che tra i due consorzi microbici l'effetto biostimolante si è manifestato in maniera differenziata tra parte aerea e apparato radicale ed in modo variabile a seconda della specie vegetale. Su pomodoro, la risposta positiva al formulato PEP è stata significativa sia sullo sviluppo della parte aerea che sullo sviluppo delle radici. Su anguria, mentre il formulato PEP è stato quello che ha dato la migliore risposta sullo sviluppo della pianta e della parte aerea, a livello radicale è stato meno performante rispetto al formulato RIZ. Su cavolo rapa, il consorzio microbico PEP non ha prodotto effetti biostimolanti, mentre il consorzio RIZ ha evidenziato effetti contrastanti sullo sviluppo della parte aerea (incremento peso fresco e sviluppo fogliare ma decremento del peso secco) e nessun effetto a livello radicale.

L'uso di consorzi microbici può consentire di migliorare la qualità delle produzioni vivaistiche in Pianura Pontina, garantendo l'ottenimento di piantine più robuste e con apparato radicale più sviluppato, in grado pertanto di attecchire rapidamente, con minor stress da trapianto e di esprimere una maggiore resistenza all'attacco di agenti biotici ed agli stress ambientali. Tuttavia, l'uso ottimale dei formulati a base di consorzi microbici disponibili in commercio non può prescindere da una valutazione preliminare allo scopo di individuare la composizione microbica più idonea per ciascuna specie ortiva oggetto della produzione vivaistica, evitando di utilizzare formulati che sebbene abbiano effetti biostimolanti significativi su alcune specie risultano inutili per altre.

Bibliografia

Anderson A.J., Kim Y.C., 2018. Biopesticides produced by plant-probiotic *Pseudomonas chlororaphis* isolates. *Crop Prot.* 105, 62–69.

Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C., Ait Barka E., 2005. Biocontrol of plant diseases using plant growth-promoting bacteria (PGPB): Principles, mechanisms of action and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 4951–4959.

De Palma M., Scotti R., D'Agostino N., Zaccardelli M. and Tucci M., 2022. Phyto-Friendly Soil Bacteria and Fungi Provide Beneficial Outcomes in the Host Plant by Differently Modulating Its Responses through (In)Direct Mechanisms. *Plants*, 11, x. <https://doi.org/10.3390>.

Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W.J., 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front. Plant Sci.* 10, 845.

Labuschagne N., Pretorius T., Idris A.H., 2020. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biocontrol Agents Against Soil-Borne Plant Diseases. *Microbiol. Monogr.* 18, 211–230.

Pane C., Zaccardelli M., 2015. Evaluation of *Bacillus* strains isolated from solanaceous phylloplane for biocontrol of *Alternaria* early blight of tomato. *Biological Control* 84: 11–18.

Patel S., Sayyed R.Z., Saraf M., 2016. Bacterial Determinants and Plant Defense Induction: Their Role as Biocontrol Agents in Sustainable Agriculture. In *Plant, Soil and Microbes Volume 2: Mechanisms and Molecular Interactions*. Hakeem K.R., Akhtar M.S., Eds. Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 187–204.

Pérez-García A., Romero D., De Vicente A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: Biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.* 22, 187–193.

Shaikh S.S., Wani S.J., Sayyed R.Z., 2018. Impact of Interactions between Rhizosphere and Rhizobacteria: A Review. *J. Bacteriol. Mycol.* 5, 1058.

Sindhu S.S., Sehrawat A., Sharma R., Dahiya A., 2016. Biopesticides: Use of Rhizosphere Bacteria for Biological Control of Plant Pathogens. *Def. Life Sci. J.* 1, 135–148.

Zaccardelli M., Saccardi A., Gambin E. and Mazzucchi U., 1992. *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* bacteriophages on peach trees and their potential use for biological control. *Phytopath. mediterr.*, 31: 133–140.

Zaccardelli M., Sorrentino R., Caputo M., Scotti R., De Falco E., Pane C., 2020. Stepwise-Selected *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. subtilis* Strains from Composted Aromatic Plant Waste Able to Control Soil-Borne Diseases. *Agriculture*, 10, 30;

Bellino A., Baldantoni D., De Nicola F., Iovieno P., Zaccardelli M., Alfani A., 2015. Compost amendments in agricultural ecosystems: confirmatory path analysis to clarify the effects on soil chemical and biological properties. *Journal of Agricultural Science*, 153 (2): 282-295.

Bernal M. P., Albuquerque J. A. & Moral R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453.

Pane C., Vilecco D., Campanile F., Zaccardelli M., 2012. Novel strains of *Bacillus*, isolated from compost and compost-amended soils, as biological control agents against soilborne phytopathogenic fungi. *Biocontrol Science and Technology*, 22 (12): 1373-1388.

Pane C., Vilecco, D., Zaccardelli M., 2013. Short-time response of microbial communities to waste compost amendment of an intensive cultivated soil in Southern Italy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44 (15): 2344-2352.

Pane C., Piccolo A., Spaccini R., Celano G., Vilecco D., Zaccardelli M., 2013. Agricultural waste-based composts exhibiting suppressivity to disease caused by phytopathogenic soil-borne fungi *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Applied Soil Ecology*, 65: 43-51.

Pane C., Celano G., Piccolo A., Vilecco D., Spaccini R., Palese A. M., Zaccardelli M., 2015. Effects of on-farm composted tomato residues on soil biological activity and yields in a tomato cropping system. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2:4, DOI 10.1186/s40538-014-0026-9.

Pane C., Spaccini R., Piccolo A., Celano G., Zaccardelli M., 2019. Disease suppressiveness of agricultural greenwaste composts as related to chemical and bio-based properties shaped by different on-farm composting Methods. *Biological Control* 137, 104026.

Pane C., Sorrentino r., Scotti R., Molisso M., Di Matteo A., Celano G., Zaccardelli M. 2020. Alpha and Beta-diversity of Microbial Communities Associated to Plant Disease Suppressive Functions of On-farm Green Composts. *Agriculture*, 10, 113; doi:10.3390/agriculture10040113.

Ronga D., Pane C., Zaccardelli M., Pecchioni N., 2016. Use of Spent Coffee Ground Compost in Peat-Based Growing Media for the Production of Basil and Tomato Potting Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47: 356-368.

Ronga D., Francia E., Allesina G., Pedrazzi S., Zaccardelli M., Pane C., Tava A., Bignami C., 2019. Valorization of Vineyard By-Products to Obtain Composted Digestate and Biochar Suitable for Nursery Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Production. *Agronomy*, 9, 420, doi:10.3390/agronomy9080420.

Ronga D., Vilecco D., Zaccardelli M., 2019. Effects of compost and defatted oilseed

meals as sustainable organic fertilisers on cardoon (*Cynara cardunculus* L.) production in the Mediterranean basin. The Journal of Horticulture Science and Biotechnology, <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1577186>.

Scotti R., Pane C., Spaccini R., Palese A.M., Piccolo A., Celano G., Zaccardelli M., 2016. On-farm compost: a useful tool to improve soil quality under intensive farming systems. Applied Soil Ecology, 107: 13–23.

Scotti R., D’Agostino N., Pane C., Zaccardelli M., 2016. Humic acids and compost tea from compost for sustainable agriculture management. Acta Hort. 1146. ISHS 2016. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1146.15. Proc. III Int. Sym. on Organic Matter Mgt. and Compost Use in Hort. Eds.: M. Cayuela et al.

Scotti R., Mitchell L., Pane C., Finn R. D., Zaccardelli M., 2020. Microbiota Characterization of Agricultural Green Waste-Based Suppressive Composts Using Omics and Classic Approaches. Agriculture, 10, 61; doi:10.3390/agriculture10030061.

Tognetti C., Mazzarino M. J., & Laos F., 2011. Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. Compost Science & Utilization, 19(1), 16–24. Ministero delle Politiche Agricole (Italia) – D.Lgs. 75/2010.

Zaccardelli M., De Nicola F., Villecco D., Scotti R., 2013. The development and suppressive activity of soil microbial communities under compost amendment. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13 (3): 730-742.

Zaccardelli M., Pane C., Di Mola I., Ronga D., Mori M., 2021. Municipal organic waste compost replaces mineral fertilization in the horticultural cropping systems, reducing the pollution risk. Italian Journal of Agronomy, volume 16:1756.

Liguori L., Pane C., Albanese D., Celano G., Zaccardelli M., Di Matteo M., 2015. Compost and compost tea management of mini watermelon cultivations affects the chemical, physical and sensory assessment of the fruits. Agricultural Sciences, 6: 117-125.

Palese A.M., Pane C., Villecco D., Zaccardelli M., Altieri G. and Celano G., 2021. Effects of Organic Additives on Chemical, Microbiological and Plant Pathogen Suppressive Properties of Aerated Municipal Waste Compost Teas. Appl. Sci., 11, 7402. <https://doi.org/10.3390/app11167402>.

Pane C., Celano G., Villecco D., Zaccardelli M., 2012. Control of *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* and *Pyrenochaeta lycopersici* on tomato with whey compost-tea applications. Crop Protection, 38: 80-86.

Pane C., Celano G., Zaccardelli M., 2014. Metabolic patterns of bacterial communities in aerobic compost teas associated with potential biocontrol of soilborne plant diseases. Phytopathologia Mediterranea 53 (2): 277-286.

Pane C., Palese A.M., Celano G., Zaccardelli M., 2014. Effects of compost tea

treatments on productivity of lettuce and kohlrabi systems under organic cropping management. *Italian Journal of Agronomy*, 9 (3): 153-156.

Pane C., Palese A. M., Spaccini R., Piccolo A., Celano G., Zaccardelli M., 2016. Enhancing sustainability of a processing tomato cultivation system by using bioactive compost teas. *Scientia Horticulturae*, 202: 117-124.

Pergola M., Maffia A., Carlucci G., Persiani A., Palese A.M., Zaccardelli M., Altieri G., Celano G., 2023. An Environmental and Economic Analysis of Strawberry Production in Southern Italy. *Agriculture* 13, 1705. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091705>.

Pilla, N., Tranchida-Lombardo V., Gabrielli P., Aguzzi A., Caputo M., Lucarini M., Durazzo A., Zaccardelli M., 2023. Effect of Compost Tea in Horticulture. *Horticulturae* 9, 984.

Scotti, R., D'Agostino, N., Pane, C., Zaccardelli M., 2024. Transcriptional reprogramming of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) roots treated with humic acids and filter sterilized compost tea. *BMC Plant Biology* 24, 894. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05602-7>.

Villecco D., Pane C., Ronga D. and Zaccardelli M., 2020. Enhancing Sustainability of Tomato, Pepper and Melon Nursery Production Systems by Using Compost Tea Spray Applications. *Agronomy*, 10, 1336: doi:10.3390/agronomy10091336.

Zaccardelli M., Pane C., Villecco D., Palese M.A., Celano G., 2018. Compost tea spraying increases yield performance of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in greenhouse under organic farming system. *Italian Journal of Agronomy*, 13:991, doi:10.4081/ija.2018.991.

Anderson A.J., Kim Y.C., 2018. Biopesticides produced by plant-probiotic *Pseudomonas chlororaphis* isolates. *Crop Prot.* 105, 62–69.

Compant S., Duffy B., Nowak J., Clément C., Ait Barka E., 2005. Biocontrol of plant diseases using plant growth-promoting bacteria (PGPB): Principles, mechanisms of action and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 4951–4959.

De Palma M., Scotti R., D'Agostino N., Zaccardelli M. and Tucci M., 2022. Phyto-Friendly Soil Bacteria and Fungi Provide Beneficial Outcomes in the Host Plant by Differently Modulating Its Responses through (In)Direct Mechanisms. *Plants*, 11, x. <https://doi.org/10.3390>.

Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W.J., 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front. Plant Sci.* 10, 845.

Labuschagne N., Pretorius T., Idris A.H., 2020. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biocontrol Agents Against Soil-Borne Plant Diseases. *Microbiol.*

Monogr. 18, 211–230.

Pane C., Zaccardelli M., 2015. Evaluation of *Bacillus* strains isolated from solanaceous phylloplane for biocontrol of *Alternaria* early blight of tomato. *Biological Control* 84: 11–18.

Patel S., Sayyed R.Z., Saraf M., 2016. Bacterial Determinants and Plant Defense Induction: Their Role as Biocontrol Agents in Sustainable Agriculture. In *Plant, Soil and Microbes Volume 2: Mechanisms and Molecular Interactions*. Hakeem K.R., Akhtar M.S., Eds. Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 187–204.

Pérez-García A., Romero D., De Vicente A., 2011. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: Biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. *Curr. Opin. Biotechnol.* 22, 187–193.

Shaikh S.S., Wani S.J., Sayyed R.Z., 2018. Impact of Interactions between Rhizosphere and Rhizobacteria: A Review. *J. Bacteriol. Mycol.* 5, 1058.

Sindhu S.S., Sehrawat A., Sharma R., Dahiya A., 2016. Biopesticides: Use of Rhizosphere Bacteria for Biological Control of Plant Pathogens. *Def. Life Sci. J.* 1, 135–148.

Zaccardelli M., Saccardi A., Gambin E. and Mazzucchi U., 1992. *Xanthomonas campestris* pv. *pruni* bacteriophages on peach trees and their potential use for biological control. *Phytopath. mediterr.*, 31: 133–140.

Zaccardelli M., Sorrentino R., Caputo M., Scotti R., De Falco E., Pane C., 2020. Stepwise-Selected *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. subtilis* Strains from Composted Aromatic Plant Waste Able to Control Soil-Borne Diseases. *Agriculture*, 10, 30; doi:10.3390/agriculture10020030.

Zamir K. Punja, 1997. Comparative efficacy of bacteria, fungi, and yeasts as biological control agents for diseases of vegetable crops, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19:3, 315–323, DOI: 10.1080/07060669709500531.

Schlaeppli, K., & Bulgarelli, D. (2015). The plant microbiome at work. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 28(3), 212–217.

Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R., & Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in *Trichoderma*—Chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, 30(2), 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>

Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., & Bianciotto, V. (2015). Interazioni tra pianta e biota del suolo. In E. A. Paul (a cura di), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (4^a ed., pp. 311–338). Academic Press (Elsevier).

Tucci, M., Ruocco, M., De Masi, L., De Palma, M., & Lorito, M. (2011). The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology*, 12(4), 341–354.

Lanzuise, S., Manganiello, G., Guastaferro, V. M., Vincenzo, C., Vitaglione, P., Ferracane, R., Vecchi, A., Vinale, F., Kamau, S., Lorito, M., & Woo, S. L. (2022). Combined Biostimulant Applications of *Trichoderma* spp. with Fatty Acid Mixtures Improve Biocontrol Activity, Horticultural Crop Yield and Nutritional Quality. *Agronomy*, 12(2), 275. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020275>

Harman, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I.; Lorito, M. *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat.Rev. Microbiol.* 2004, 2, 43–56

Yedidia, I.; Benhamou, N.; Chet, I. Induction of Defense Responses in Cucumber Plants (*Cucumis sativus* L.) by the Biocontrol Agent *Trichoderma Harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1999, 65, 1061–1070.

I PARTNER

Ente Capofila: S.I.A. S.R.L.

Gruppo Operativo:

- S.I.A. S.R.L.
- CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA Orticoltura e Florovivaismo (CREA OF)
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – ISTITUTO PER LA PROTEZIONE SOSTENIBILE DELLE PIANTE (CNR-IPSP)

Partners:

- Az. Agr. MILITO ANTHONY
- Az. Agr. DONNARUMMA GAETANO
- Az. Agr. GREEN PLANTS SOCIETÀ AGRICOLA S.R.L.
- Az. Agr. MARINELLA PACCHIARINI & C. SOC. SEMP. AGR.
- Az. Agr. TURCATO MASSIMO
- Az. Agr. SOC. AGR. S. ISIDORO S.S.
- Az. Agr. AMBROSINO VINCENZO
- Az. Agr. M.G. VIVAI SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.
- Az. Agr. SALA GIONATA
- Az. Agr. LA CASETTA BIO DI QUADRINO ANTONIO
- Az. Agr. CRISCI DAVIDE

- LA FATTORIA SOC. COOPERATIVA AGRICOLA

Redazione: SIA s.r.l.

Coordinamento scientifico:

Dr. Massimo Giorgini (CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – ISTITUTO PER LA PROTEZIONE SOSTENIBILE DELLE PIANTE (CNR-IPSP)

Dr. Massimo Zaccardelli (CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA—ORTICOLTURA E FLOROVIVAISMO)