

TIPO DI OPERAZIONE

16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 754 DEL 16/05/2022 FOCUS AREA 4 B

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO N. 5515422

DOMANDA DI PAGAMENTO N. 5783557

Titolo Piano	Fertirrigazione e irrigazione razionale in orticoltura per ridurre l'inquinamento, adattare le coltivazioni al cambiamento climatico e integrare metodi a basso impatto per il controllo delle avversità (FIGARO)
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Consorzio Agribologna Sca. Coop. Agr. Via delle viti n.7- 40127 Bologna (BO)
Partner del GO	Società Agricola Fabbri di Fabbri Maurizio e Roberto Società Agricola Calegari S.S. di Calegari Alessandro & C. Azienda Agricola Castellari Massimo Coltivare Fraternità Cooperativa Agricola e Sociale Consorzio di Bonifica di Secondo Grado per il Canale Emiliano Romagnolo Ri.NOVA Soc.Coop. Astra Innovazione e Sviluppo S.r.l. Dinamica S.C. A.R.L. Agronica Group SRL

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	15
Data inizio attività	02/01/2023
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	07/05/2024

Relazione relativa al periodo di attività dal	02/01/2023	al 07/05/2024
Data rilascio relazione	02/07/2024	

Autore della relazione	RI.NOVA		
telefono		e-mail	sdelvecchio@rinova.eu

Sommario

1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO	pag. 3
1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel piano	pag. 5
2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE	
<u>Azione 1 - Esercizio della cooperazione</u>	
2.1 Attività e risultati	pag. 5
2.2 Personale	pag. 8
<u>Azione 3 – Azioni specifiche legate alla realizzazione del Piano</u>	
2.1 Attività e risultati	pag. 9
2.2 Personale	pag.112
<u>Azione 4 – Divulgazione</u>	
2.1 Attività e risultati	pag. 113
2.2 Personale	pag. 117
2.5 Collaborazioni, consulenze, altri servizi	pag. 117
<u>Azione 5 - Formazione/Consulenza</u>	pag. 118
3 CRITICITA' INCONTRATE	pag. 118
4 ALTRE INFORMAZIONI	pag. 119
5 CONSIDERAZIONI FINALI	pag. 119
6 RELAZIONE TECNICA	pag. 119

1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO

Il Gruppo Operativo ha dato avvio alle attività previste nel Piano a partire dal 23-01-2023. In generale tutte le attività sono state attivate e realizzate seguendo i protocolli presentati nel Piano, sia in termini di contenuto che di spesa. Gli obiettivi previsti sono stati completamente raggiunti. Di seguito è riportata una breve descrizione dell'attività svolta in ciascuna azione.

Azione 1 - Esercizio della cooperazione

RI.NOVA, in collaborazione e per conto del mandatario Consorzio Agribologna, ha svolto la funzione di coordinamento generale e organizzativo per garantire il funzionamento tecnico e amministrativo del Gruppo Operativo (GO). RI.NOVA ha quindi pianificato tutte le attività previste nel piano, mettendo in atto le iniziative necessarie alla realizzazione e al conseguimento dei risultati previsti..

Azione 3 – Realizzazione del Piano

La realizzazione dell'azione 3 ha previsto l'esecuzione di diverse sotto azioni.

Azione 3.1 - Reperimento dei parametri per la determinazione dei fabbisogni idrici e delle curve di assorbimento degli elementi nutritivi

È stata effettuata la raccolta delle informazioni reperibili in letteratura circa i principali parametri necessari alla definizione delle curve di assorbimento dei principali elementi nutritivi quali azoto, fosforo e potassio. Questo è servito ad approfondire il fabbisogno nutrizionale delle singole specie oggetto di studio e determinare le dosi massime frazionabili dei nutrienti in funzione dei loro fabbisogni durante il ciclo vegetativo e dei diversi sistemi irrigui: aspersione e microirrigazione. Per la modellizzazione degli assorbimenti è stato impiegato il servizio di assistenza irrigua IRRINET che simula, sulla base della sommatoria dei gradi giorno, la dinamica di crescita della coltura che a sua volta è correlata alla dinamica di assorbimento dei nutrienti. Le specie oggetto di studio sono state 6 di cui 4 orticole (melanzana, cetriolo, zucchini, lattuga) e 2 frutticole (pesco e fragola).

AZIONE 3.2 - Strumenti integrati di smart farming per la gestione della fertirrigazione in orticoltura

E' stato fornito un supporto operativo alle operazioni di irrigazione e fertirrigazione in ambiente protetto con prove sperimentali in 3 diverse tipologie di serra (serra multipla, tunnel, veronese) per ridurre gli input chimici e irrigui e stimare i consumi con più precisione e automatizzare la gestione della fertirrigazione. A tal fine è stato utilizzato un supporto digitale con estensione delle funzioni di integrazione tra la piattaforma GIAS e il DSS Fertirrinet, per abilitare la condivisione dei piani colturali, le caratteristiche degli impianti irrigui e la registrazione degli interventi nei quaderni di campagna integrando la sensoristica IoT e le ricette nutrizionali fornite dal DSS Fertirrinet. E' stata inoltre implementata la piattaforma Irrinet/Irriframe dell'algoritmo per la riduzione della evapotraspirazione in serra e l'esclusione dei dati di precipitazione per le colture protette, al fine di automatizzare la gestione attraverso il trasferimento del consiglio fertirriguo da remoto. La sperimentazione è stata dotata di centraline 4.0 programmabili e controllabili da remoto grazie a sistemi software avanzati con l'implementazione di tutti i componenti idraulici ed elettromeccanici per gestire la fertirrigazione in maniera automatica così da permetterne un utilizzo efficiente e razionale.

AZIONE 3.3 - Prove in campo per il confronto tra la fertirrigazione aziendale e la fertirrigazione mediante DSS Fertirrinet

L'attività ha riguardato prove allestite nelle aziende agricole aderenti al Piano e presso i campi sperimentali di Acqua Campus del CER. Sono state allestite prove di confronto tra la fertirrigazione aziendale e la fertirrigazione mediante DSS Fertirrinet sia in pieno campo sia in ambiente protetto. Sono stati studiati gli aspetti nutrizionali utilizzando l'applicativo Fertirrinet delle specie oggetto di studio, prelevati campioni di terreno ed eseguito le analisi chimico-fisico dei siti sperimentali per verificare la dotazione iniziale, eseguite le irrigazioni sulla base delle indicazioni del modello idrico de

servizio Irrinet/Irriframe, determinati i quantitativi dei nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo con distribuzione frazionata in relazione ad ogni specie. Durante il ciclo colturale sono stati effettuati, nelle diverse specie in prova, rilievi distruttivi delle piante per determinare la sostanza secca ed i principali elementi nutritivi nei diversi organi vegetativi. Inoltre, alla raccolta, sono state effettuati i rilievi di produzione. Sono state valutate le perdite di azoto minerale per lisciviazione mediante il posizionamento di lisimetri nelle diverse specie in prova. Per quanto riguarda lo studio degli aspetti idrici in coltura protetta, nelle diverse tipologie di copertura sono stati posizionati sensori di umidità del suolo e rilevate le condizioni pedoclimatiche di coltivazione. Sono state utilizzate diverse tipologie di sonde innovative per la determinazione della concentrazione di azoto, fosforo e potassio misurando la conducibilità elettrica di una soluzione elettrolitica.

Azione 3.4 - Messa a punto di un sistema pilota in grado di automatizzare la gestione irrigua e fertirrigua degli impianti tramite il DSS Fertirrinet e integrata all'interno di GIAS

In questa azione è stato messo a punto un sistema pilota per automatizzare la gestione irrigua e fertirrigua degli impianti sulla base delle ricette elaborate dal DSS Fertirrinet. Sono stati messi a punto i protocolli operativi per l'interconnessione con le centraline degli impianti irrigui ed i driver di automazione per la centralina di pilotaggio.

Azione 3.5 - Prove di campo per il controllo con metodi a basso impatto del Pythium

L'attività ha riguardato la realizzazione della prova sperimentale in pieno campo su zucchini allestita presso l'azienda agricola Calegari sita a Bologna e valutata l'efficacia di diversi composti a basso impatto ambientale utilizzati per contrastare il marciume molle (Pythium). Sono stati effettuati da personale tecnico qualificato i diversi rilievi per valutare le diverse performance di prodotti a confronto.

Azione 3.6 -Studio capacità di adattamento ai cambiamenti climatici

E' stato realizzato uno studio sulla valutazione della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici ottenibile mediante l'adozione di sistemi evolutivi per la gestione dell'irrigazione e della fertirrigazione in ambiente protetto. Questo per una valutazione quantitativa della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici attraverso le pratiche fertirrigue supportate dal DSS Fertirrinet anche per le colture in serra. E' stata fatta un'analisi della vulnerabilità con un focus sulle fasi di nutrizione delle colture e valutato come l'uso dell'applicativo Fertirrinet possa ridurre gli effetti negativi dei cambiamenti climatici rispetto alla gestione tradizionale (fertilizzazione a spaglio). Lo studio ha interessato l'area della bassa pianura bolognese e l'areale romagnolo.

Azione 4 – Divulgazione

In accordo con i partner del gruppo operativo, il personale di Ri.Nova ha organizzato e gestito diverse iniziative e azioni di divulgazione. In particolare sono stati organizzati nel complesso n. 3 visite guidate e n. 1 incontri tecnici. Sono stati redati n. 2 articoli di cui uno tecnico e uno divulgativo. Realizzato n. 1 audiovisivo e n. 1 podcast e creata la pagina web sul sito di Ri.Nova.

Azione 5 – Formazione/Consulenza

L'attività di formazione è stata realizzata e curata dall'Ente di Formazione Dinamica ed è consistita in 1 corso di formazione.

1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
1. Esercizio della cooperazione	RI.NOVA	Per tutto il periodo del progetto sono state gestite le attività di organizzazione e attivazione del GOI, coordinamento amministrativo, momenti di confronto volti ad individuare lo stato d'avanzamento dei lavori e eventuali criticità	1	1	15	15
3. Realizzazione	Ri,nova-CER-Agronica-Agribologna- Soc. agr. Calegari-Soc agr. Fabbri-Coltivare fraternità-Az. Agri. Castellari	Sono state realizzate le specifiche azioni legate alla realizzazione specifiche del Piano	1	1	15	15
4. Divulgazione	RI.NOVA	Divulgazione	7	7	15	15
5. Formazione	Dinamica	Formazione tramite la realizzazione di un corso	10	10	15	11

2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

AZIONE 1 – ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione 1	ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE
Unità aziendale responsabile	RI.NOVA
Descrizione delle attività	<p>Il Consorzio Agribologna, nel suo ruolo di mandatario, ha mantenuto la funzione di coordinamento generale, demandando, in accordo con gli altri Partner, a RI.NOVA la funzione di coordinamento organizzativo per garantire il funzionamento tecnico e amministrativo del Gruppo Operativo (GO).</p> <p>RI.NOVA ha quindi avuto il compito di pianificare le attività previste nel Piano mettendo in atto tutte le iniziative necessarie alla realizzazione e al conseguimento dei risultati previsti. Per fare questo si è avvalso di proprio personale tecnico, amministrativo e di segreteria qualificato e dotato di esperienza pluriennale nel coordinamento tecnico-organizzativo di progetti di ricerca, sperimentazione e divulgazione a vari livelli, nonché nella gestione di comitati tecnici e gruppi di lavoro riguardanti i principali comparti produttivi.</p> <p><u>Attivazione del Gruppo Operativo</u></p> <p>La graduatoria relativa all'avviso pubblico riferita alla FA4B è stata approvata dalla Regione Emilia-Romagna con Determina Num. 2359 del 07/02/2023 è stato approvato alla concessione dei contributi ritenuti ammissibili a finanziamento.</p> <p>In fase preliminare di avvio, i partner sono stati informati dell'approvazione della domanda.</p>

Dopo aver assolto gli aspetti amministrativi è stata indetta una riunione del Gruppo Operativo nella sua interezza (23/01/2023), alla presenza quindi di tutte le figure coinvolte per i diversi partner. In questa sede, il Responsabile del Progetto (RP) e il Responsabile Scientifico (RS) hanno riproposto i contenuti e gli obiettivi del Piano, al fine di avere la più ampia condivisione possibile delle informazioni e impostare le modalità di realizzazione delle azioni d'innovazione.

La fase di attivazione del GO ha riguardato sia gli aspetti formali e amministrativi, sia il consolidamento degli obiettivi con l'intero gruppo di referenti coinvolti a vario titolo nel Piano.

In merito agli aspetti formali, riferiti in particolare alle attività del Piano e ai relativi costi ammessi, il personale di RI.NOVA, unitamente al Responsabile Scientifico (RS) e ai Responsabili dei partner del GO, ha verificato la congruenza dei budget approvati rispetto alle attività da svolgere. A seguito di questa valutazione si è formalmente attivato il GO, dandone comunicazione a tutti i partner tramite e-mail.

In questa fase si è proceduto inoltre alla costituzione formale del raggruppamento (ATS). A seguito dell'approvazione del Piano è stata gestita la fase di costituzione dell'ATS con tutti i partner del Gruppo Operativo (GO) fino alla sua completa formalizzazione. Nell'ATS sono anche descritti i ruoli di ciascun partner nell'ambito del GO.

Costituzione del Comitato di Piano

In occasione della riunione di attivazione si è anche proceduto alla costituzione del Comitato di Piano (CP) per la gestione e il funzionamento del GO, che è così composto:

- Ruolo di Capofila: Consorzio Agribologna
- Responsabile Scientifico (RS): CER
- Responsabile del Piano (RP): RI.NOVA
- Partner Consorzio di bonifica di secondo grado per il canale Emiliano-romagnolo - CER
- Partner ASTRA Innovazione e Sviluppo;
- Partner Agronica Group;
- Partner Dinamica;
- Partner Società Agricola Fabbri
- Partner Società Agricola Calegari
- Partner Azienda Agricola Castellari
- Partner Cooperativa Agricola e Sociale Coltivare fraternità.

Gestione del Gruppo Operativo

Dalla data di attivazione del GO, il Responsabile di Progetto ha svolto una serie di attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso, e in particolare:

- Il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori;
- La valutazione dei risultati in corso d'opera;
- L'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi raggiunti con quelli attesi;
- La definizione delle azioni correttive.

Il Responsabile di Progetto (RP), in stretta collaborazione con il Responsabile Scientifico (RS), si è occupato di pianificare una strategia di controllo circa il buon andamento delle attività del Piano, attraverso un sistema basato sull'individuazione delle fasi decisive, cioè momenti di verifica finalizzati al

controllo del corretto stato di avanzamento lavori.

Allo stesso modo, il RP e il RS si sono occupati di valutare i risultati/prodotti intermedi ottenuti in ciascuna fase. Tutto ciò agendo in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali di RI.NOVA (v. Autocontrollo e Qualità).

Verifica dei materiali, strumenti e attrezzature impiegate in campo e in laboratorio

A campione, il RP ha verificato la congruenza tra le caratteristiche dei materiali e prodotti impiegati dai partner, rispetto a quanto riportato nel Piano. A tal fine il RP ha eseguito alcune verifiche ispettive presso i partner, in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali del Sistema Gestione Qualità di RI.NOVA.

Preparazione dei documenti per le domande di pagamento

In occasione di questa domanda di pagamento, il RP e il RS, insieme a tutti i partner coinvolti, hanno effettuato l'analisi dei risultati intermedi ottenuti, nonché l'analisi della loro conformità a quanto previsto dal Piano. In particolare, è stata verificata la completezza della documentazione relativa alle spese affrontate dai singoli soggetti operativi e raccolta la documentazione per la redazione del rendiconto tecnico ed economico.

Altre attività connesse alla gestione del GO

Oltre alle attività descritte in precedenza, RI.NOVA ha svolto una serie di attività di supporto al GO, come le attività di interrelazione con la Regione Emilia-Romagna, l'assistenza tecnico-amministrativa agli altri partner, le richieste di chiarimento.

RI.NOVA si è inoltre occupato dell'aggiornamento della Rete PEI-AGRI in riferimento al Piano, come richiesto dalla Regione, al fine di stimolare l'innovazione, tramite l'apposita modulistica presente sul sito.

Autocontrollo e Qualità

Attraverso le Procedure Gestionali e le Istruzioni operative approntate nell'ambito del proprio Sistema Gestione Qualità, RI.NOVA ha lavorato al fine di garantire efficienza ed efficacia all'azione di esercizio della cooperazione, come segue:

- Controllo che i requisiti, specificati nei protocolli tecnici, fossero rispettati nei tempi e nelle modalità definite;
- Rispetto degli standard di riferimento individuati per il Piano;
- Assicurazione della soddisfazione del cliente tramite confronti diretti e comunicazioni scritte;
- Rispetto delle modalità e dei tempi di verifica definiti per il Piano;
- Individuazione dei fornitori ritenuti più consoni per il perseguimento degli obiettivi.

La definizione delle procedure, attraverso le quali il RP ha effettuato il coordinamento e applicato le politiche di controllo di qualità, sono la logica conseguenza della struttura organizzativa di RI.NOVA. In particolare, sono state espletate le attività di seguito riassunte.

Attività di coordinamento

Le procedure attraverso le quali si è concretizzato il coordinamento del GO si sono sviluppate attraverso riunioni e colloqui periodici con il Responsabile Scientifico e con quelli delle Unità Operative coinvolte.

Nel corso dell'attività sono state organizzate e verbalizzate diverse riunioni

	<p>come previste dal Piano. I documenti, come indicato dal Sistema Qualità di RI.NOVA, sono archiviati e disponibili presso la sede degli uffici di RI.NOVA.</p> <p><i>Attività di controllo</i> La verifica periodica dell'attuazione progettuale si è realizzata secondo scadenze temporali come erano state individuate nella scheda progetto. Più in particolare è stata esercitata sia sul funzionamento operativo che sulla qualità dei risultati raggiunti; in particolare è stata condotta nell'ambito dei momenti sotto descritti: -Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto; - Visite ai campi sperimentali e ai laboratori coinvolti nella conduzione delle specifiche attività.</p> <p><i>Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti</i> Non si sono verificate situazioni difformi a quanto previsto dalla scheda progetto. Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica di processo, sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità di RI.NOVA Il Sistema Qualità RI.NOVA, ovvero l'insieme di procedure, di misurazione e registrazione, di analisi e miglioramento e di gestione delle risorse, è monitorato mediante visite ispettive interne e verificato ogni 12 mesi da Ente Certificatore accreditato (DNV per RI.NOVA).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

2.2 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo orario	Costo totale
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Coordinamento tecnico	52,5	27	1.417,50
RI.NOVA	Impiegato amministrativo	Supporto	30	27	810,00
RI.NOVA	Impiegato amministrativo	Supporto amministrativo	166,5	43	7.159,50
AGRONICA	Impiegato amm.va	Supporto coordinamento	83	27	2.241,00
AGRONICA	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	68	27	1.836,00
CER	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	21,5	27	580,50
CER	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	12	43	516,00
CER	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	23,5	27	634,50
CER	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	20	43	860,00
CONS. AGRIBOLOGNA	Impiegato tecnico	Supporto coordinamento	200	27	5.400,00

AZIONE 3. AZIONI SPECIFICHE LEGATE ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione 3.1	Reperimento dei parametri per la determinazione dei fabbisogni idrici e delle curve di assorbimento degli elementi nutritivi
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione delle attività	<p>L'obiettivo di questa azione è quello di reperire in letteratura tutte le informazioni necessarie alla definizione delle curve di assorbimento dei principali elementi nutritivi quali fosforo, potassio e soprattutto dell'azoto, determinare le dosi massime frazionabili tali da evitare perdite azotate e, individuare il corretto frazionamento dei nutrienti in funzione dei fabbisogni delle singole colture oggetto di studio durante il ciclo vegetativo e delle specificità dei diversi sistemi irrigui (aspersione e microirrigazione).</p> <p>I dati sono stati raccolti, a partire dai risultati già ottenuti in passato dal CER, dalle indicazioni e dagli algoritmi riportati nelle Norme Generali dei Disciplinari di Produzione Integrata (DPI) della Regione Emilia-Romagna e da quanto disponibile in letteratura, al fine di predisporre un database per impostare correttamente la gestione degli apporti nutrizionali.</p> <p>L'attività è stata realizzata su diverse colture orticole e frutticole di seguito indicate:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melanzana, • Cetriolo, • Zucchini • Lattuga; • Pesco • Fragola. <p>Ai fini della modellizzazione degli assorbimenti è stato impiegato il servizio di assistenza irrigua IRRINET che simula, sulla base della sommatoria gradi giorno (GDD), la dinamica di crescita delle colture. Quest'ultima è fortemente correlata alla dinamica di assorbimento dei nutrienti, che pur dipendendo da diversi fattori, segue un andamento descrivibile con una sigmoide o doppia sigmoide dove, in funzione del tempo, l'assorbimento dei nutrienti avviene dapprima in maniera meno che proporzionale per poi avere un punto di flesso che demarca un aumento repentino degli assorbimenti, corrispondente al periodo di intenso sviluppo della coltura e, infine, un ultimo tratto in cui gli assorbimenti si riducono progressivamente e gli elementi assorbiti vengono riallocati dalle componenti vegetative alle strutture riproduttive o di riserva, come semi, frutti, tuberi e radici. Non ultimo, un ruolo importante, soprattutto per le colture arboree, è dato dalla conoscenza degli assorbimenti che avvengono in post-raccolta, quindi delle epoche di maturazione delle differenti varietà, e dei tempi di mobilizzazione dei minerali accumulati nei vari organi di riserva.</p> <p>Per la determinazione dei fabbisogni nutritivi si è adottato un approccio matematico, individuato nel precedente Piano denominato Fert-Irrinet, che prevede di calcolare il bilancio giornaliero tra apporti di fertilizzanti e assorbimenti di nutrienti da parte delle colture attraverso l'attribuzione, per ogni fase fenologica (GDD_{ff}), di uno specifico fabbisogno</p>

percentuale ($N_{ff\%}$, $P_2O_{5ff\%}$ e $K_2O_{ff\%}$). Si riporta, per il solo caso dell'azoto, una parte dell'algoritmo per il frazionamento dei fabbisogni e di seguito le esigenze nutrizionali delle specie oggetto di studio, con i relativi parametri nutritivi individuati sulla base delle informazioni reperite in letteratura.

Determinazione dei fabbisogni nutritivi giornalieri (kg/ha): $N_d = N_{tot.} * N_{ff\%} * GDD_d / GDD_{ff}$

Dove:

- N_d è il fabbisogno giornaliero del nutriente;
- $N_{tot.}$ è il fabbisogno stagionale del nutriente (ricavato dai DPI della RER);
- $N_{ff\%}$ è la percentuale del fabbisogno totale del nutriente per ogni fase fenologica;
- GDD_d sono i gradi giorno accumulati nel giorno iesimo;
- GDD_{ff} sono gradi giorno complessivi per fenofase;

Bilancio giornaliero (espresso in kg/ha): $N_{Sd} = N_{Sd-1} - N_d + N_{fert}$

- N_{Sd} = il contenuto del nutriente nel suolo;
- N_d è il fabbisogno giornaliero del nutriente;
- N_{fert} = la quantità di nutriente applicata al suolo con le fertilizzazioni.

Curve di assorbimento

MELANZANA

Come si può vedere in figura 1 e 2, la coltura della melanzana, in particolar modo quando viene coltivata in coltura protetta, non tollera eccessivi apporti di azoto che potrebbero incidere negativamente sulla fioritura e allegagione, con il risultato di una minore produzione di frutti e di scarsa qualità, evitando eccessi soprattutto tra il trapianto e l'allegagione dei primi frutti e frazionando il restante fabbisogno durante il ciclo colturale. Per ogni tonnellata di melanzane prodotte vengono asportati circa 5,2 kg di azoto (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022). Il massimo assorbimento di azoto si verifica dopo otto settimane dal trapianto (Rosati A. and Troisi A., 2001).

Il fosforo è fondamentale per lo sviluppo radicale, la fioritura, la fecondazione e la maturazione dei frutti migliorandone la precocità. Pur non richiedendone in grandi quantità, la sua bassa assimilazione, soprattutto nei terreni calcarei, per garantirne la disponibilità è preferibile distribuirlo in fertirrigazione. Per ogni tonnellata di melanzane raccolte vengono asportati circa 1,9 kg di P_2O_5 (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

Il potassio è molto importante per la qualità dei frutti, ma un suo eccesso induce carenze di magnesio, preferendo fertilizzanti esenti da cloro come il solfato di potassio. In media, Per ogni tonnellata di melanzane raccolte vengono asportati circa 6,0 kg di K_2O (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

In tabella 1 sono presenti la suddivisione fenologica della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

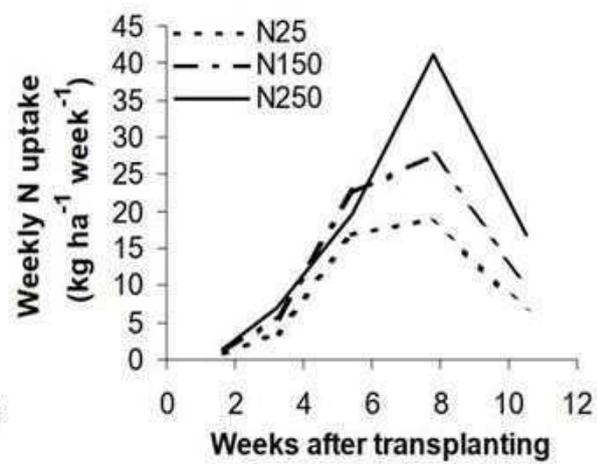
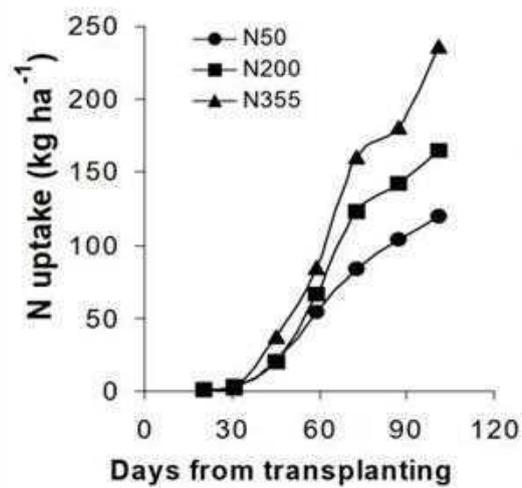


Fig. 1 e 2: Curve di assorbimento dell'azoto nella Melanzana. (Rosati A. and Troisi A., 2001)

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
pre-emergenza/trapianto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trapianto	460	0	0	0	0	50	100	0	0	0
Inizio raccolta	644	10	5	15	50	20	60	15	20	30
Piena produzione	998	40	5	15	40	10	20	35	20	40
Produzione finale	1496	50	10	15	10	5	10	50	10	70
Senescenza	460	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 1: Melanzana suddivisione fenologica in IRRINET della melanzana e relativi parametri nutritivi.

CETRIOLO

Il Cetriolo necessita di notevoli apporti di azoto sin dalle primissime fasi di sviluppo della coltura, premessa indispensabile per indurre vigore vegetativo, sviluppo precoce dell'apparato fogliare ed elevate produzioni. Una sua carenza, oltre ad incidere sulla produzione, determina scadimenti qualitativi con frutti appuntiti e ricurvi. Per ogni tonnellata di cetrioli prodotti vengono asportati circa 1,8 kg di azoto (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022). Nella figura 3 è rappresentata la curva di assorbimento dell'azoto nel cetriolo.

Il fosforo è solitamente apportato con le concimazioni organiche, ma diventa fondamentale apportarlo in fertirrigazioni in condizioni di suoli sciolti. Per ogni tonnellata di cetrioli raccolti vengono asportati circa 0,8 kg di P_2O_5 (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

Il potassio è molto importante per la qualità dei frutti, una sua carenza si manifesta con necrosi fogliare, preferendo fertilizzanti esenti da cloro come il solfato e nitrato di potassio. In media, per ogni tonnellata di melanzane raccolte vengono asportati circa 2,5 kg di K_2O (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

In tabella 2 sono presenti la suddivisione fenologica della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

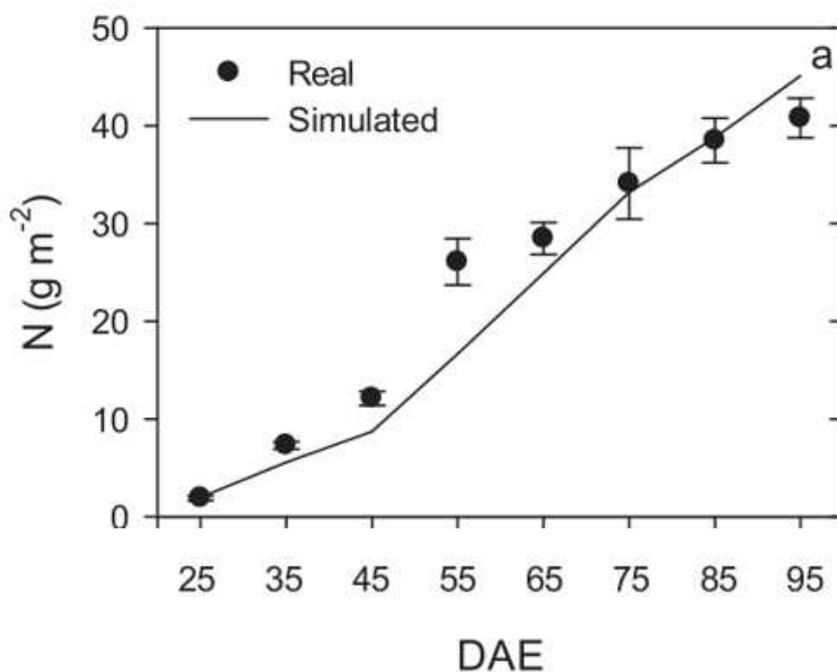


Fig. 3 – Curva di assorbimento dell'azoto nel Cetriolo. (Ramírez-Pérez et al., 2018)

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
pre-emergenza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
semina/trapianto	140	0	0	0	0	50	100	0	0	0
allegagione	250	20	5	15	70	10	60	20	20	30
Inizio raccolta	240	30	5	20	20	10	20	30	20	80
Fine raccolta	500	50	10	40	10	5	10	50	10	80
Senescenza	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 2: Cetriolo suddivisione fenologica in IRRINET del cetriolo e relativi parametri nutritivi.

ZUCCHINO

Come mostrato in figura 4, la coltura dello zucchini ha notevoli esigenze nutritive in termini di azoto costituendo l'elemento nutritivo che maggiormente influisce sulla produzione. In generale, favorisce l'aumento del vigore vegetativo delle piante con lo sviluppo precoce e ampio dell'apparato fogliare, un aumento delle dimensioni dei frutti sia in lunghezza che in diametro, ma un suo eccesso nelle fasi iniziali di sviluppo della coltura può determinare una vegetazione troppo vigorosa, scarsa fioritura e influenza negativamente l'allegagione, durante la fase produttiva, uno scadimento qualitativo dei frutti e, nelle fasi terminali, un allungamento del ciclo colturale (Ng'etich et al, 2013). Per ogni tonnellata di zucchini prodotti vengono asportati circa 3,8 kg di azoto (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

Il fabbisogno in fosforo è relativamente costante durante l'accrescimento e nella fase produttiva ed interviene nella crescita delle radici, nella fioritura e nella fecondazione. Per ogni tonnellata di zucchini raccolti vengono asportati circa 1,6 kg di P_2O_5 (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022). Bisogna pertanto garantire la disponibilità di fosforo, con l'impiego di concimi che lo contengano in forma solubile e distribuirlo con la fertirrigazione.

Il fabbisogno di potassio per lo zucchini è molto elevato, con la massima richiesta che si esplica durante l'allegagione e l'ingrossamento dei peponidi. Risulta l'elemento maggiormente richiesto ed asportato. Ha effetti positivi sulla formazione dei fiori femminili, sulla colorazione e lucentezza dei frutti, aumenta lo spessore della buccia dei frutti e ciò rende gli stessi più resistenti alle lesioni e migliora la qualità del prodotto. In media, per ogni tonnellata di zucchine raccolte vengono asportati circa 9 kg di K_2O (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

In tabella 3 sono presenti la suddivisione fenologica della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

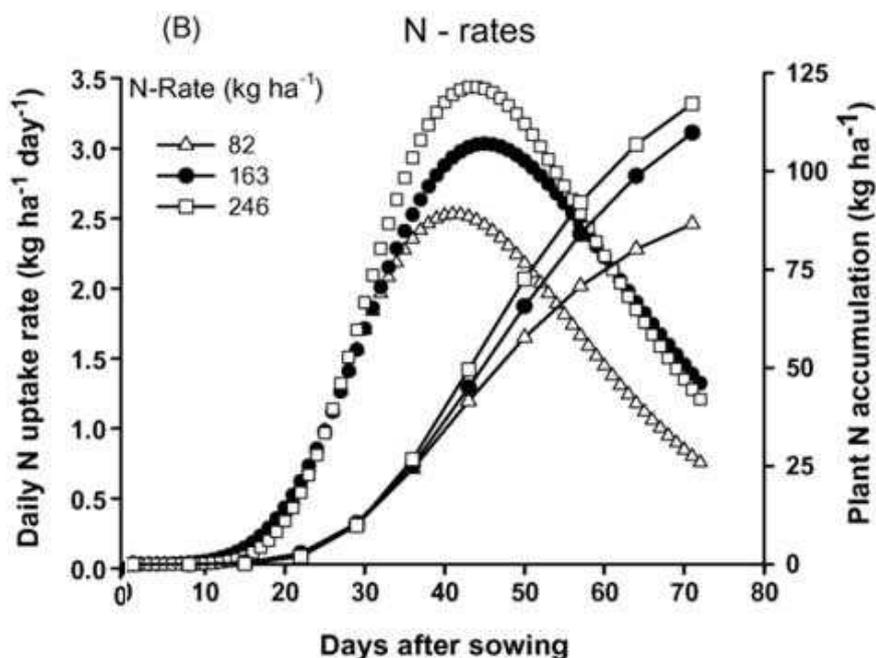


Fig. 4: Curve e tassi giornalieri di assorbimento dell'azoto nello zucchini. (Zotarelli et al., 2008)

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P205 %	Intervento P205 Kg/h	Riserva P205 %	Fabbisogno K20 %	Intervento K20 Kg/h	Riserva K20 %
pre-emergenza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
semina/trapianto	890	0	0	0	20	100	0	0	0	0
allegagione	650	20	5	15	70	20	80	20	20	30
Inizio raccolta	780	30	5	20	20	10	60	30	20	80
Fine raccolta	600	50	10	20	10	5	20	50	10	80
Senescenza	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 3: Zucchino:suddivisione fenologica dello zucchino in IRRINET e relativi parametri nutritivi.

LATTUGA

L'assorbimento dell'azoto nelle lattughe dopo il trapianto è inizialmente basso, aumentando progressivamente e concentrando il 70-80% dell'azoto totale assorbito nelle fasi di rapido sviluppo (Bottoms et al., 2012). Per questa ragione, e per evitare attacchi fungini, ritardi di maturazione e accumuli di nitrati nel prodotto finale, è consigliabile effettuare un buon apporto di sostanza organica prima dell'inizio dei cicli colturali, distribuendo la frazione minerale in copertura o in fertirrigazione. Per ogni tonnellata di cespi prodotti vengono asportati circa 2,3 kg di azoto (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

Nella figura 5 sono rappresentate le curve di assorbimento dell'azoto nelle cultivar di lattuga "Iceberg" e "Romaine".

Anche se l'assorbimento del fosforo avviene durante quasi tutto il ciclo della pianta, per evitare carenze manifestabili soprattutto nelle prime fasi a causa della sua bassa mobilità e dalle basse temperature, è prassi comune distribuire tutto il fabbisogno in pre-impianto. Per ogni tonnellata di cespi raccolti vengono asportati circa 0,8 kg di P_2O_5 (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

I fabbisogni di potassio sono alti e aumentano nei cicli a giorno lungo. Risultano positive applicazioni di nitrato di potassio mediante fertirrigazione prima che cominci a chiudere il cespo. La lattuga è sensibile al cloro, di conseguenza bisogna escludere l'utilizzo del cloruro di potassio. In media, per ogni tonnellata di cespi raccolti vengono asportati circa 4,8 kg di K_2O (DPI Regione Emilia-Romagna, 2022).

Nelle tabelle 4, 5 e 6 sono presenti la suddivisione fenologica per i diversi cicli della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

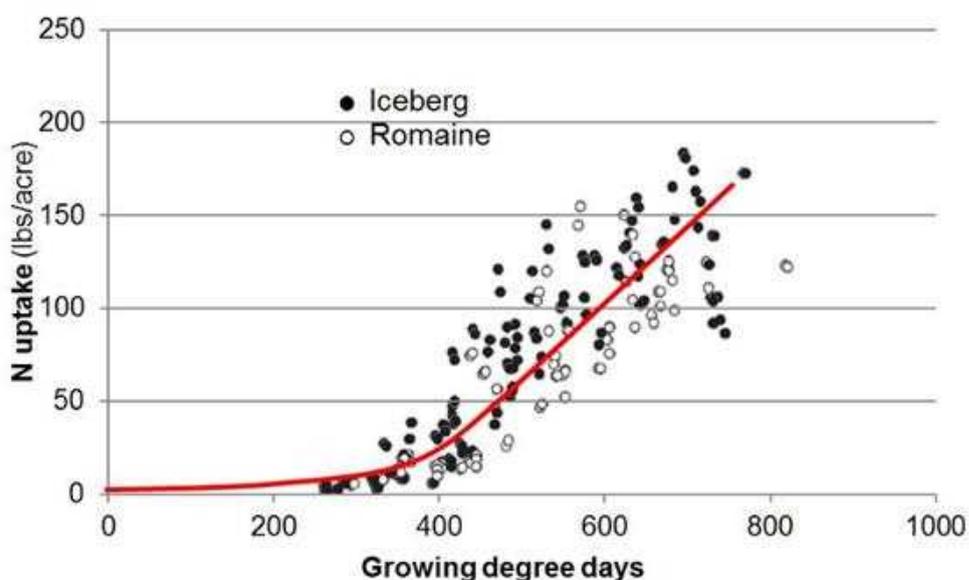


Fig. 5: Curva di assorbimento dell'azoto nelle cv. di lattuga "Iceberg" e "Romaine".

CICLO PRIMAVERILE

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
pre-emergenza/trapianto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAPIANTO	90	0	0	0	0	20	100	0	0	0
chiusura sulla fila	170	20	5	30	50	5	60	20	10	50
chiusura tra le fila	100	30	5	20	30	5	40	30	10	30
copertura completa	40	50	5	10	20	5	20	50	10	10
inizio raccolta	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CICLO ESTIVO

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
pre-emergenza/trapianto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAPIANTO	619	0	0	0	0	20	100	0	0	0
chiusura sulla fila	210	20	5	30	50	5	60	20	10	50
chiusura tra le fila	130	30	5	20	30	5	40	30	10	30
copertura completa	70	50	5	10	20	5	20	50	10	10
inizio raccolta	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CICLO AUTUNNALE

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
pre-emergenza/trapianto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAPIANTO	619	0	0	0	0	20	100	0	0	0
chiusura sulla fila	190	20	5	30	50	5	60	20	10	50
chiusura tra le fila	100	30	5	20	30	5	40	30	10	30
copertura completa	50	50	5	10	20	5	20	50	10	10
inizio raccolta	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 4, 5 e 6- Lattuga suddivisione fenologica della lattuga in IRRINET e relativi parametri nutritivi.

PESCO E NETTARINE

La coltura del pesco, similmente a quella delle nettarine, dispone solo in parte di portinnesti che consentono di controllare la vigoria delle piante la quale determina ingenti rimobilizzazioni alla ripresa vegetativa dalle riserve della pianta e minimi assorbimenti radicali (Muñoz et al., 1993). Eccessive disponibilità di azoto in questa fase, infatti, stimola un eccessivo sviluppo di germogli originati dalla schiusura delle gemme latenti (Lobit et al., 2001). Successivamente, fino all'indurimento del nocciolo, il pesco assorbe dal terreno circa il 25% del suo fabbisogno di azoto, localizzandolo nei frutticini e negli apici vegetativi (Lobit et al., 2001), un 50% invece viene assorbito e utilizzato per l'accrescimento dei frutti e lo sviluppo vegetativo, e il restante 25% viene assorbito dalla pianta prima del riposo vegetativo e utilizzato per la costituzione delle riserve per l'anno successivo (Soing et al., 1993).

Per ogni tonnellata di pesche prodotte viene rimosso circa 1 kg di azoto (El-Jendoubi, et al., 2013) con quantitativi maggiori per le nettarine (Johnson, et al., 2013). Il massimo assorbimento di azoto si verifica durante i periodi di rapida crescita vegetativa e maturazione dei frutti (Muñoz et al., 1993). Le fertilizzazioni azotate sono quindi più efficienti effettuate all'inizio della crescita vegetativa (Policarpo et al., 2002). Per le varietà precoci sono sconsigliati lautissimi apporti azotati in post-raccolta per ridurre la vigoria (Policarpo et al., 2002), ma dovranno essere sufficienti a sostenere la ripresa vegetativa successiva (Johnson, 2001). Nella figura 6 è rappresentata la curva di assorbimento dell'azoto nel pesco.

Ogni anno il fosforo rimosso dal frutteto per ogni tonnellata di frutta raccolta è di circa 0,3 kg di P_2O_5 (Rombolà et al., 2012). Considerando anche le immobilizzazioni di fosforo negli organi di riserva, le restituzioni annue dovrebbero attestarsi tra 12-25 kg di P_2O_5 per ettaro (Johnson et al., 1989). In media ogni anno il potassio asportato dal frutteto con la raccolta varia da 1,8 a 2,3 kg di K_2O per tonnellata prodotta (Rombolà et al., 2012- Krige et al., 2008). In tabella 7 sono presenti la suddivisione fenologica della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

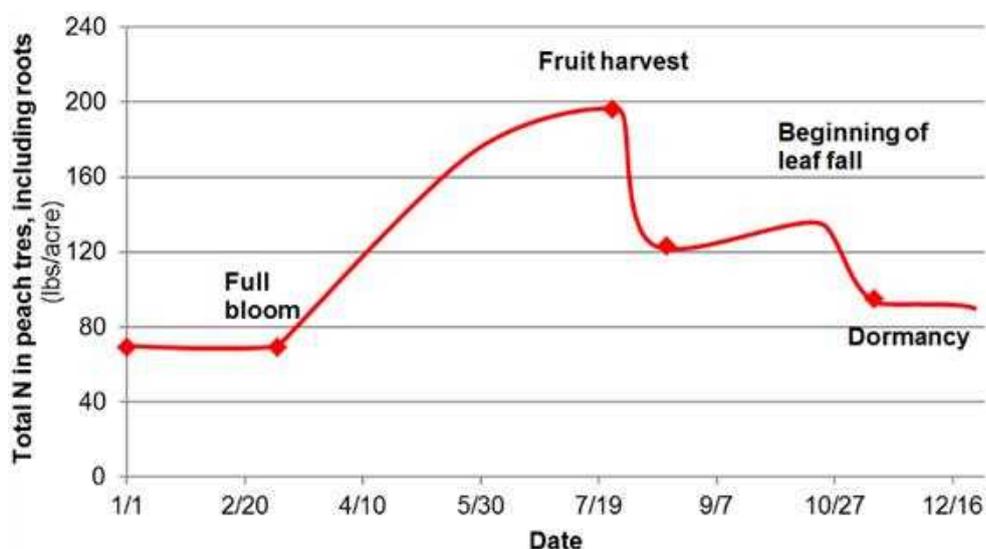


Fig. 6: Curva di assorbimento dell'azoto in Pesche e Nettarine. (Muñoz et al., 1993)

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
gemme in riposo invernale	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
fioritura: fase piena (> 50%)	135	0	0	0	0	30	100	0	0	0
scamiciatura: fase piena (> 50%)	154	0	0	0	40	10	80	0	0	0
indurimento del nocciolo: fase piena (> 50%)	462	10	5	50	30	10	50	20	10	30
rapido sviluppo	893	30	5	30	10	5	30	30	10	50
frutti completamente sviluppati: fase piena (> 50%)	467	30	5	20	0	0	10	30	10	40
frutti maturi: inizio fase (0-5%)	123	20	5	10	0	0	10	20	10	30
frutti maturi: fase piena (> 50%)	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0
caduta foglie: inizio fase (0-5%)	966	10	5	0	20	5	0	0	0	0
caduta foglie: fase piena (> 50%)	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 7: Pesco e nettarine suddivisione fenologica della coltura in IRRINET e relativi parametri nutritivi.

FRAGOLA

Pur essendo la fragola una specie perenne, il sistema più diffuso di coltivazione è quello annuale con un solo ciclo di fruttificazione nella primavera successiva all'impianto estivo. Quindi, per questa coltura è stato necessario suddividere i fabbisogni nutritivi: fase di impianto e fase produttiva.

Come mostrato in figura 7, nella fase di impianto, l'assorbimento di azoto è lento fino alla primavera successiva, necessitando di poco azoto e le fertilizzazioni in questa fase hanno un effetto marginale sulla resa, a condizione che essa sia ottimale non appena l'assorbimento radicale diventi nuovamente attivo (Santos, B.M., 2010), avendo la funzione di accumulare riserve da impiegare nelle prime fasi della ripresa vegetativa primaverile. In alternativa è possibile impiegare in pre-trapianto concimi azotati a lento rilascio, per minimizzare il rischio di lisciviazione dei nitrati (Bottoms et al., 2013), e distribuire il restante fabbisogno di azoto durante la fase di fruttificazione (Cahn, 2012), con il picco del fabbisogno tra inizio fioritura e maturazione, frazionando in più interventi per avere effetti positivi sull'incremento di resa (Locascio et al., 1985). Per ogni tonnellata di fragole prodotte vengono assorbiti complessivamente ogni anno 2,4 kg di azoto per ettaro, concentrati in gran parte dalla fioritura alla maturazione (Tagliavini et al., 2005).

Per il fosforo, invece, per ogni tonnellata di fragole prodotte vengono assorbiti complessivamente 0,9 kg P_2O_5 , a partire prevalentemente dalla fase di fioritura e durante il successivo sviluppo dei frutti (Tagliavini et al., 2005), ma solo circa la metà di esso viene asportato con i frutti (Hartz, 2011).

Infine, il potassio che, risultando essere il nutriente assorbito nei frutti più di tutti gli altri organi vegetali messi insieme (Hochmuth et al., 2009), raggiunge i 3,9 kg K_2O per ogni tonnellata di frutti prodotta (Hartz, 2011), anch'esso concentrato quasi esclusivamente dalla fioritura alla maturazione (Tagliavini et al., 2005), con il 60% di esso presente nei frutti (Hartz, 2011), richiedendo adeguate distribuzioni in queste fasi.

Nelle tabelle 8 e 9 sono presenti, per la fase di impianto e per quella produttiva, la suddivisione fenologica della coltura con i relativi GDD (gradi giorno) necessari per passare da una fase all'altra e i relativi parametri nutritivi relativi ad azoto, fosforo e potassio.

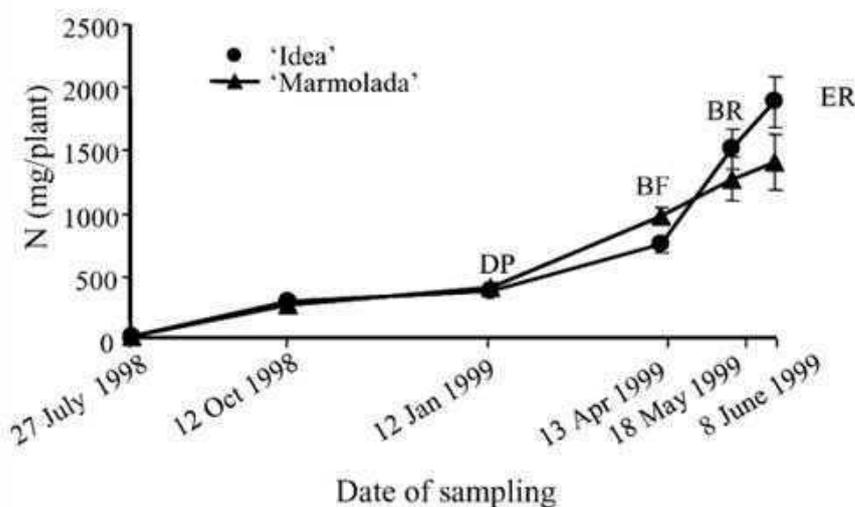


Figura 7 – Curva di assorbimento dell'azoto nella Fragola. (Tagliavini et al., 2005)

DP: dormant period; BF: beginning of flowering; BR: beginning of ripening; ER: end of ripening

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
Trapianto	50	0	10	0	0	10	0	0	5	0
Germogliamento	200	0	10	100	0	2	100	0	5	20
Prime foglie	400	5	2	50	15	2	100	5	5	20
Sviluppo vegetativo	500	10	2	10	25	2	30	10	2	20
Senescenza foglie	120	15	2	5	10	2	0	0	2	0
Riposo vegetativo	880	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FRAGOLA – Fase di impianto: suddivisione fenologica della coltura in IRRINET e relativi parametri nutritivi

Descrizione fenofase	Somma Termica (gradi)	Fabbisogno N %	Intervento N Kg/h	Riserva N %	Fabbisogno P2O5 %	Intervento P2O5 Kg/h	Riserva P2O5 %	Fabbisogno K2O %	Intervento K2O Kg/h	Riserva K2O %
riposo vegetativo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ripresa vegetativa: inizio fase (0-5%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fioritura: inizio fase (0-5%)	50	10	5	5	25	2	20	15	10	30
invaiaura: inizio fase (0-5%)	150	25	5	10	20	2	50	35	10	50
maturazione: inizio fase (0-5%)	200	35	5	5	5	2	50	45	10	20
stadio di raccolta: inizio fase (0-5%)	150	0	2	0	0	2	0	0	5	0
stadio di raccolta: fase piena (> 50%)	100	0	2	0	0	2	0	0	5	0

Tab. 8 e 9: Fragola suddivisione fenologica durante la fase di impianto e quella produttiva della fragola in IRRINET e relativi parametri nutritivi.

Predisposizione del database per impostare correttamente la gestione degli apporti nutrizionali - Gestione Dati Fertirrigui nell'interfaccia Web

I dati di input necessari al software sono quelli chimici del suolo e quelli inerenti alla coltura (Fig. 8). Una volta inseriti tutti i dati, il sistema calcola il bilancio nutritivo, secondo le norme e i criteri fissati nei DPI regionali, determinando il fabbisogno annuale e fornendo all'utente l'informazione del consumo giornaliero della coltura in termini di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K), la data della prossima fertilizzazione e la dose da distribuire per ogni elemento, considerando anche il tipo di metodo irriguo impiegato.

Questi dati vengono visualizzati sia nella pagina delle informazioni nutritive che nel "cruscotto irriguo", dove vengono associate al consiglio irriguo generando in questo modo il consiglio fertirriguo (fig. 9-10). Una delle funzionalità del sistema è anche quella di calcolare in automatico, a partire dai titoli del concime che si vuole impiegare, la dose di prodotto commerciale da distribuire sulla superficie interessata. Il software genera come output anche un report stampabile dove sono riportate le fertilizzazioni effettuate, costituendo prova documentale per chi aderisce alle misure agro-ambientali (Fig. 11).

Azoto Totale g/kg:
 Potassio ppm:
 Fosforo ppm:
 Sostanza organica %:
 Rapporto C/N:
Calcolato dal sistema in base a sostanza organica e azoto.
 Magnesio ppm:
 Capacità di scambio cationico:
 Calcare totale %:
 Calcare attivo %:
 Ph:
 Disponibilità di ossigeno:
 Ubicazione:
 % di azoto fissazione:
 Appezzamento in Zona vulnerabile:

Fig. 8 – Interfaccia per l'inserimento degli input del software Fert-Irrinet

Bilancio nutritivo (kg/ha)				Consiglio di fertilizzazione	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Fabbisogno annuale	323,7	103,5	0,0	Data prevista per la fertilizzazione	10/05/2018
Fertilizzazioni effettuate	227,0	104,9	0,0	Consumo giornaliero (kg/ha)	1,2 P ₂ O ₅
Fertilizzazioni da effettuare	96,5	-1,4	0,0		0 K ₂ O
				Apporti nutritivi da distribuire (kg/superficie)	40 N
					0 P ₂ O ₅
					0 K ₂ O
				Numero di giorni previsti per la fertilizzazione successiva	1
				Fertirrigui fertirrigui	0

Mata Fertirrinet >						
Clicca sulla coltura per il menù	Descr.	consumo oggi (mm)	data prevista irrigazione	volume irriguo (mm)	durata irrigazione (preminuti)	
4 MAIS MEDIO	Mais Fertirrinet Poggia	2,78	10/05/2018	26,2		Dettaglio >
	Prossima fertilizzazione (kg/superficie)		10/05/2018	40 N	0 P ₂ O ₅	0 K ₂ O
				Dettaglio nutritivo >		Ha fertilizzato >

Fig. 9 - "cruscotto fertirriguo" con il consiglio delle fertirrigazioni da effettuare.

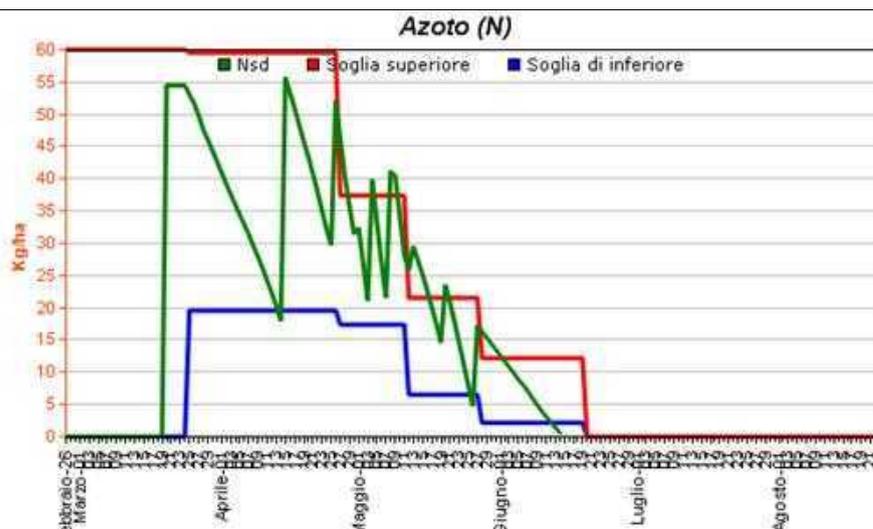


Fig. 10 – visualizzazione grafica del bilancio dell’azoto nel corso della stagione sulla base degli apporti fertirrigui effettuati.





Data di stampa : 12/08/2017 10:27:09

Utente
399 Giannierni Gianfranco Email: g.giannierni@altavianet.it Cellulare: 3472260935

Azienda
- Email: - Cellulare: -
CUAA: - P.IVA: -

Appezamento
15 (IdPlot: 13) Superficie:2,00 haInvia SMS Monitor

Data creazione: 20/07/2007

Coltura
PATATA (IdChUnit: 64725) SMS Data start: 06/03/2017 Creata il 09/05/2017

Lista

Data Irrigazione	Titolo N	Titolo P2O5	Titolo K2O	Dose Kg	Dose N Kg/ha	Dose P2O5 Kg/ha	Dose K2O Kg/ha	Data Registrazione	U
10/03/2017	11	11	16	0,92	0,1	0,1	0,1	30/05/2017	399
28/03/2017	46	0	0	0,20	0,0	0,0	0,0	30/05/2017	399
27/04/2017	13	0	46	0,16	0,0	0,0	0,0	30/05/2017	399

Fig. 11 – Report fertilizzazioni effettuate.

Di seguito sono riportate le fonti utilizzate per l’azione 3.1.

Bottoms, T.G., Smith, R.F., Cahn, M.D., Hartz, T.K., 2012. Nitrogen requirements and N status determination of lettuce. HortScience 47, 1768-1774.

Bottoms, T.G., Hartz, T.K., Cahn, M.D., Farrara, B.F., 2013. Crop and soil nitrogen dynamics in annual strawberry production in California. HortScience 48, 1034–1039.

Cahn, M., 2012. Optimizing irrigation and nitrogen management in strawberries for improved water quality. Final Report to the Central Coast Regional Water Quality Control

Board.

Daniel-Vedele F, Filleur S, Caboche M. 1998. Nitrate transport: a key step in nitrate assimilation. *Current Opinion in Plant Biology* 1: 235–239.

El-Jendoubi, H., Abadia, J., Abadia, A., 2013. Assessment of nutrient removal in bearing peach trees (*Prunus persica* L., Batsch) based on whole tree analysis. *Plant and Soil* 369, 421-437.

Hartz, T.K., 2011. Establishing nutrient diagnostic standards for high-yield strawberry production. *California Strawberry Commission Annual Production Research Report 2010-2011*. pp. 41-50.

Herdel K, Schmidt P, Feil R, Mohr A, Schurr U. 2001. Dynamics of concentrations and nutrient fluxed in the xylem of *Ricinus communis*: diurnal course, impact of nutrient availability and nutrient uptake. *Plant, Cell and Environment* 24, 41–52.

Hochmuth, G. and Cordasco, K., 2009. A summary of N and K research with strawberry in Florida. *University of Florida Extension Publication HS752*.

Krige, G.T., Stassen, P.J.C., 2008. Mineral nutrient distribution and requirement of pulse drip fertigated 'Donnarine' nectarine trees. *Acta Horticulturae* 772, 355-360.

Johnson, R.S., Uriu, K., 1989. Mineral nutrition. In: LaRue, J.H., Johnson, R.S. (Eds.). *Peaches, Plums and Nectarines: Growing and Handling for the Fresh Market*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3331. pp. 68-81.

Johnson, R.S., Rosecrance, R., Weinbaum, S., Andris, H., Wang, J., 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early- maturing peach? *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126, 364-370.

Lobit P., Soing P., M. Génard and Habib R., 2001. Effects of timing of nitrogen fertilization on shoot development in peach (*Prunus persica*) trees. *Tree Physiology* 20, 35–42.

Locascio, S.J., Martin, F.G., 1985. Nitrogen source and application timing for trickle irrigated strawberries. *Journal of the American Society of Horticultural Sciences* 110, 820-823.

May, G.M., Pritts, M.P., Kelly, M.J., 1994. Seasonal patterns of growth and tissue nutrient content in strawberries. *Journal of Plant Nutrition* 17, 1149-1162.

Meyer C, Stitt M. 2001. Nitrate reductase and signalling. In: Lea PJ, Morot-Gaudry J-F, eds. *Plant nitrogen*. New York: Springer, 37–59.

Millard P, Wendler R, Grassi G, Grelet GA, Tagliavini M. 2006. Translocation of nitrogen in the xylem of field-grown cherry and poplar trees during remobilization. *Tree Physiology* 26: 527–536.

Muñoz, N., Guerri, J., Legaz, F., Primo-Julio, E., 1993. Season uptake of ¹⁵N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. *Plant and Soil*, 150, 263-269.

Ng'etich O.K. A.N. Niyokuri J.J. Rono1 A.Fashaho and J.O. Ogwen0, 2013. Effect of different rates of nitrogen fertilizer on the growth and yield of zucchini (*Cucurbita pepo* cv. Diamant L.) hybrid F1, *Intl J Agri Crop Sci*. Vol., 5 (1), 54-62.

	<p>Policarpo, M., De Marco, L., Caruso, T., Gioacchini, P., Tagliavini, M., 2002. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (<i>Prunus persica</i>) tree genotypes under a Mediterranean climate. <i>Plant and Soil</i> 239, 207-214.</p> <p>Ramírez-Pérez Lino J., América B. Morales-Díaz, Adalberto Benavides-Mendoza, arim De-Alba-Romenuc, Susana González-Morales, Antonio Juárez-Maldonado, 2018. Dynamic modeling of cucumber crop growth and uptake of N, P and K under greenhouse conditions. <i>Scientia Horticulturae</i> Volume 234, 250-260</p> <p>Rombolà, A.D., Sorrenti, G., Marodin, G.A.B., De Pieri, A.Z., Barca, E., 2012. Nutrient and soil management in stone fruit trees in temperate regions. <i>Semina-Ciencias Agrarias</i> 33 639-654.</p> <p>Rosati A. and Troisi A., 2001. Seasonal patterns of N Uptake in Eggplant (<i>Solanum melongena</i> L.) grown with different N fertigation levels. <i>Acta Horticulturae</i> 563:195-200.</p> <p>Soing P., and Mandrin J.F., 1993. Nutrition du pecher. <i>Cinetiques des consommations. Infos-Ctifl</i> 92: 33–36</p> <p>Tagliavini M., Baldi E., Lucchi P., Antonelli M., Sorrenti G., Baruzzi G., and Faedi W., 2005. Dynamics of nutrients uptake by strawberry plants (<i>Fragaria x Ananassa</i> Dutch.) grown in soil and soilless culture. <i>European Journal of Agronomy</i>. Volume 23, Issue 1, July 2005, Pages 15-25</p> <p>Tsay YF, Chiu CC, Tsai CB, Ho CH, Hsu PK. 2007. Nitrate transporters and peptide transporters. <i>FEBS Letters</i> 581: 2290–2300.</p> <p>Vitousek PM, Naylor R, Crews T, et al. 2009. Nutrient imbalances in agricultural development. <i>Science</i> 19: 1519–1520.</p> <p>Zotarelli L., Dukes M.D., Scholberg J.M., Hanselman T., Le Femminella K., Muñoz-Carpena R. (2008): Nitrogen and water use efficiency of zucchini squash for a plastic mulch bed system on sandy soil. <i>Scientia Horticulturae</i>, 116: 8–16.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell’ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l’attività svolta.</p>

Azione 3.2	Strumenti integrati di smart farming per la gestione della fertirrigazione in orticoltura
Unità aziendale responsabile	AGRONICA, CER
Descrizione delle attività	<p>L'obiettivo dell'attività è quello di fornire agli agricoltori un supporto operativo durante l'attività di irrigazione e fertirrigazione delle colture orticole in serra, al fine di ridurre input chimici ed irrigui per l'adattamento dei sistemi colturali ai cambiamenti climatici. Per realizzare questo strumento è stata utilizzata la sensoristica IoT e le ricette fornite dal DSS/FERTIRRINET.</p> <p>L'attività è stata articolata in due sotto azioni:</p> <p>1) <i>Estensione delle funzioni di integrazione tra GIAS e Irrinet/Irriframe</i></p> <p>2) <i>Implementazione dell'algoritmo per la riduzione dell'evapotraspirazione e l'esclusione dei dati di precipitazione per discriminare le colture in modalità protetta</i></p> <p><u>Estensione delle funzioni di integrazione tra GIAS e Irrinet/Irriframe</u></p> <p>L'attività svolta ha riguardato l'estensione delle funzioni di integrazione tra la piattaforma GIAS e il sistema Irrinet/Irriframe, necessaria per ottimizzare l'uso della risorsa idrica attraverso consigli irrigui personalizzati, basati su dati accurati e aggiornati.</p> <p>La piattaforma GIAS utilizza il piano colturale e il quaderno di campagna per creare un dataset completo che Irrinet/Irriframe utilizza per elaborare raccomandazioni specifiche per l'irrigazione. La collaborazione tra queste due piattaforme permette di integrare diverse fonti di dati, tra cui le informazioni meteo provenienti da stazioni meteorologiche proprietarie o da quadranti nazionali, l'umidità del terreno e i dettagli specifici degli appezzamenti e delle colture. L'integrazione dei dati viene effettuata tramite Webservice, garantendo una comunicazione efficiente e tempestiva tra GIAS e Irrinet/Irriframe.</p> <p>In particolare, i dati trasmessi includono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dati meteo da stazioni meteo proprietarie oppure da quadranti nazionali - Dati umidità del terreno (se disponibili) - <u>Dati presi dal piano colturale</u> <ul style="list-style-type: none"> o Appezzamento (Plot) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geolocalizzazione ▪ Impianto irriguo o Impianto (Crop) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipologia coltura ▪ Data semina/trapianto per le orticole ▪ Data risveglio vegetativo per le arboree ▪ Sesto di impianto per le arboree - <u>Dati presi dalle operazioni registrate nel quaderno di campagna</u> <ul style="list-style-type: none"> o Analisi del terreno <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pendenza ▪ Percentuale Sabbia ▪ Percentuale Argilla o Irrigazioni effettuate <ul style="list-style-type: none"> ▪ Data irrigazione ▪ Volume acqua distribuita

Implementazione dell'algoritmo per la riduzione dell'evapotraspirazione e l'esclusione dei dati di precipitazione per discriminare le colture in modalità protetta

La presenza di una copertura altera il bilancio energetico, e di conseguenza il potenziale evapotraspirativo (ET), creando temperature più alte rispetto all'esterno che fanno pensare ad un maggior consumo di acqua, ma non è sempre così, soprattutto quando l'umidità relativa dell'aria è molto alta e vi è assenza di vento. Infatti, anche se all'aumentare delle temperature le piante sono indotte a traspirare maggiormente per raffreddarsi, affinché ciò avvenga deve verificarsi una diffusione di vapore acqueo dall'interno della foglia al suo esterno attraverso gli stomi. La velocità con cui essa avviene però è influenzata dal deficit di pressione di vapore dell'atmosfera (VPD), ovvero dal rapporto tra la quantità di umidità presente nell'aria e la quantità di umidità che l'aria può trattenere quando è completamente satura, ed è per questo che le piante quando l'aria è molto umida traspirano meno. Con un'aria molto secca, invece, le piante sono indotte a traspirare di più perché devono compensare proprio il deficit di pressione di vapore.

Rispetto alle colture in piena aria, quindi, per determinare in maniera puntuale il fabbisogno idrico delle colture, visto il particolare microclima che si viene a creare, compresa l'assenza delle piogge, è necessario posizionare una stazione meteorologica all'interno della serra. Con essa vengono misurati i principali parametri climatici come la temperatura, l'umidità relativa, la velocità del vento e la radiazione netta, e determinato il tasso di evapotraspirazione attraverso l'impiego di formule climatiche. Solitamente, però, nelle maggior parte delle serre non vengono adottati sistemi di monitoraggio delle condizioni climatiche interne.

Per la messa a punto degli algoritmi di calcolo per la correzione dell'ET₀ per le colture in serra, sono stati messi in relazione gli evapotraspirati all'interno con quelli all'esterno, a partire dai dati meteo forniti da ARPAE, di tre differenti tipologie di serre:

- ✓ Veronese,
- ✓ Tunnel
- ✓ Serra multipla

posizionando stazioni meteorologiche (Fig. 1) e acquisendo i dati durante l'intero ciclo delle colture.



Fig. 1: Stazione meteorologica posizionata all'interno di una serra.

Per dare la possibilità all'utente di indicare la presenza di apprestamenti protettivi, all'interno della scheda "Crea nuova coltura/Modifica coltura corrente" di Irriframe è

stata creata una checkbox (Fig. 2) la cui selezione, oltre ad escludere le piogge dal computo del bilancio idrico mediante sostituzione del valore di pioggia fornito dall'ARPAE per lo specifico quadrante meteo con quello pari a "0", attiva un menu a tendina che permette all'utente di selezionare una delle tre tipologie di struttura (Fig. 3)

Appezzamento 53 - Melanzana Aziendale > MODIFICA CULTURA CORRENTE

Tipo di coltura: MELANZANA MEDIA

Ciclo: UNICO

Descrizione: Aziendale

Data inizio ciclo della fase TRAPIANTO: 15/03/2023

Data di raccolta: 30/09/2023

Coltura protetta: (red arrow)

Coltura creata il: 04/04/2023 11:36:52

Fig. 2: Casella di spunta con cui l'utente seleziona la coltivazione in "serra".

Appezzamento 53 - Melanzana Aziendale > MODIFICA CULTURA CORRENTE

Tipo di coltura: MELANZANA MEDIA

Ciclo: UNICO

Descrizione: Aziendale

Data inizio ciclo della fase TRAPIANTO: 15/03/2023

Data di raccolta: 30/09/2023

Coltura protetta:

Tipo protezione:
 Serra multipla (dropdown menu open)
 Tunnel
 Veronese (red arrow)

Coltura creata il: 04/04/2023 11:36:52

Fig. 3: Menu a tendina per la scelta multipla.

Dalla correlazione ottenuta tra i dati acquisiti all'esterno con quelli all'interno delle serre sono stati estrapolate delle regressioni polinomiali specifiche per ognuna di esse.

Ad ogni tipologia di struttura selezionata viene applicata una routine di calcolo sul valore di **ET₀** calcolato da IRRIFRAME, che verrà così modificato in **ET_{0GH}** (GREENHOUSE), corretto in considerazione delle particolari condizioni microclimatiche sotto protezione. Per tutte e tre le tipologie di "serra" sono previste due routine di calcolo distinte che discrimineranno la correzione da applicare in funzione del valore di ET₀. Le specifiche di calcolo in funzione del tipo di copertura vengono riportate nella tabella 1.

Tab. 1: Equazioni per il calcolo dell'evapotraspirazione in serra per ogni tipologia di copertura considerata.

Selezione utente	Modalità di ingresso nel calcolo	Equazioni* per la modifica di ET _{0GH}
Tunnel	Se ET ₀ < 3,5	ET _{0GH} = - 0,0023 * ET ₀ ² + 0,61
	Se ET ₀ ≥ 3,5	ET _{0GH} = - 0,0861 * ET ₀ ² + 1,4527 * ET ₀ - 1,9571
Serra multipla	Se ET ₀ < 3,5	ET _{0GH} = - 0,063 * ET ₀ ² + 0,1116
	Se ET ₀ ≥ 3,5	ET _{0GH} = - 0,0302 * ET ₀ ² + 0,3635 * ET ₀ - 0,4726
Veronese	Se ET ₀ ≥ 3,5	ET _{0GH} = -0,0743 ET ₀ ² + 1,6823 ET ₀ - 3,0232
	Se ET ₀ < 3,5	ET _{0GH} = 0,1104 * ET ₀ ² + 0,1577

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta</p>

Azione 3.3	Prove in campo per il confronto tra la fertirrigazione aziendale e la fertirrigazione mediante DSS fertirrinet
Unità aziendale responsabile	CER- CONSORZIO AGRIBOLOGNA
Descrizione delle attività	<p>L'obiettivo di questa azione è quello di confrontare, in pieno campo e in ambiente protetto, la fertirrigazione attuata mediante la versione beta del DSS Fert-Irrinet e quella aziendale attuata dall'agricoltore.</p> <p>La sperimentazione è stata effettuata presso le aziende agricole aderenti al Piano e presso i campi sperimentali di Acqua campus del CER.</p> <p>Per ogni coltura sono stati studiati gli aspetti nutrizionali e idrici, le colture su cui è stata effettuata la sperimentazione sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Melanzana in coltura protetta - Cetriolo in coltura protetta - Zucchini in coltura protetta - Lattuga in coltura protetta e in pieno campo - Pesco in pieno campo - Fragola in coltura protetta

L'attività è stata condotta nei tempi e secondo le modalità previste dal Piano, il personale tecnico agronomico dei diversi partner coinvolto nell'attività ha eseguito i rilievi nel corso dell'attività sperimentale.

In questa attività, per la taratura e validazione dell'applicativo FERT-IRRINET anche per le colture in serra, sono state messe a confronto in campo due modalità di fertilizzazione: una aziendale, concimando e irrigando le colture con tecniche e metodi secondo prassi comuni e una fertirrigua, gestendo la nutrizione idrico-minerale delle colture con l'applicativo Fert-Irrinet.

Le prove sono state eseguite presso l'Azienda Agricola sperimentale "Marsili", sita nel comune di Mezzolara di Budrio, e presso le Aziende Agricole "Calegari", "Castellari" e "Fabbri".

La distribuzione di parte dei fertilizzanti è avvenuta in fase di pre-impianto / ripresa vegetativa della coltura, in maniera indifferenziata tra le tesi. La restante parte è stata frazionata in più interventi mediante fertirrigazione. È stata frazionata prevalentemente la concimazione azotata, somministrando la maggior parte dei fabbisogni di fosforo e potassio in modo tradizionale.

Le soluzioni madri da iniettare durante le fertirrigazioni sono state ottenute sciogliendo preventivamente in acqua le dosi di concimi da distribuire. Conoscendo il grado di solubilità dei fertilizzanti, la conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione, la salinità della soluzione madre, la presenza di calcio e magnesio, non è stato necessario acidificare la soluzione madre in quanto non c'erano i presupposti per la formazione di precipitati.

La fertirrigazione è avvenuta in tre fasi: in una prima fase, pari a circa il 50-60 % del tempo totale di irrigazione, veniva distribuita solo acqua, successivamente tutto il volume della soluzione madre (10-20% del tempo) e, nella restante fase l'irrigazione è stata effettuata di nuovo con la sola acqua.

Tale modalità di distribuzione è di fondamentale importanza per evitare perdite per lisciviazione profonda soprattutto dei nitrati. Infatti, veicolando i nutrienti attraverso le acque di irrigazione, se l'impianto di distribuzione non è correttamente dimensionato o non si distribuisce correttamente la soluzione nutritiva, nonostante si frazionino le dosi di azoto, si rischia di portare i nutrienti oltre l'orizzonte esplorato dalle radici. L'iniezione è avvenuta per mezzo di pompe dosatrici.

Melanzana

Per la coltura della melanzana sono state messe a confronto due strategie di fertilizzazione: una aziendale e una fertirrigua presso l'Azienda Agricola "Calegari" e, una solo fertirrigua, presso "Acqua Campus" (Fig. 1), rispettivamente in tunnel e in serra replicando tre volte ogni strategia.

In seguito all'impianto della coltura, sono state ricavate parcelle di circa 10 m².

Il trapianto della coltura è avvenuto in data 15 marzo 2023 presso l'azienda "Calegari", impiegando come ibrido "Top Ora", varietà a frutto di forma tondo ovale con elevata produttività, con un sesto di impianto a file binate distanti di 1,7 m fra le file e 0,8 m sulla fila e con una densità teorica di 14.700 piante per ettaro e in data 26 maggio 2023 presso "Acqua Campus", impiegando come ibrido "Dalia", varietà a frutto di forma tondo ovale con elevata produttività, con un sesto di impianto a file singole distanti di 1,4 m fra le file e 0,5 m sulla fila e con una densità teorica di 14.300 piante per ettaro.



Fig. 1: Impianto della coltura della Melanzana “Calegari” (sx), “Acqua Campus (dx)

Andamento meteorologico e irrigazioni

L'andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale del melanzana con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con restituzione del 100 % dell'evapotraspirato, sono risultate essere per i due siti:

- Az. “Calegari”
 - 712 mm,
 - frazionati in 132 interventi con volumi medi di circa 6 mm.
- “Acqua Campus”
 - 319 mm,
 - frazionati in 41 interventi con volumi medi di circa 8 mm.

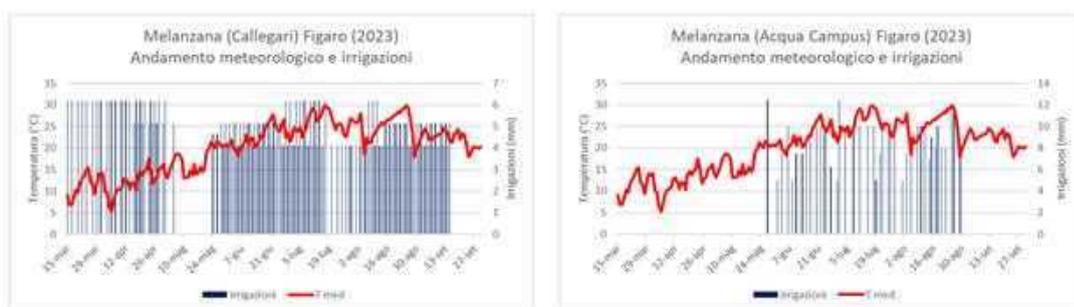


Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l’Azienda Agricola Calegari (sx) e Acqua Campus (dx).

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 900 q/ha per la prova presso l’Azienda Agricola “Calegari” e di 600 q/ha per quella presso “Acqua Campus”.

Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine,

facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell'appezzamento. Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell'ultima versione dell'applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale.

Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per il Melanzana, calcolato secondo il metodo del bilancio è risultato essere rispettivamente per i due siti di 382 kg/ha di N, 153 kg/ha di P₂O₅ e 300 kg/ha di K₂O e di 293 kg/ha di N, 119 kg/ha di P₂O₅ e 300 kg/ha di K₂O. In figura 3a e 3b sono riportati gli screenshot delle scremate dell'applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	381,6	152,9	300,0

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	292,8	118,7	300,0

Fig. 3a e 3b: Fabbisogno nutritivo "Calegari" (a) e "Acqua Campus" (b).

Il frazionamento dell'azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in fertirrigazione, veicolandola con le acque di irrigazione.

La differenziazione fra le tesi è stata ottenuta frazionando maggiormente in fertirrigazione la tesi Fertirrigata, seguendo il consiglio dell'applicativo. Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua.

Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l'applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti. A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall'operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell'algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell'azione 3.1. La distribuzione frazionata in fertirrigazione è avvenuta in nr.43 interventi fertirrigui per "Calegari" e nr. 38 per "Acqua Campus".

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d'uso dell'azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di pezzatura,
- sostanza secca,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

I risultati ottenuti confermano le potenzialità della tecnica fertirrigua, anche se l'incremento di resa commerciale osservato nella tesi "Fertirrigata" non è stato statisticamente significativo (Fig. 5).

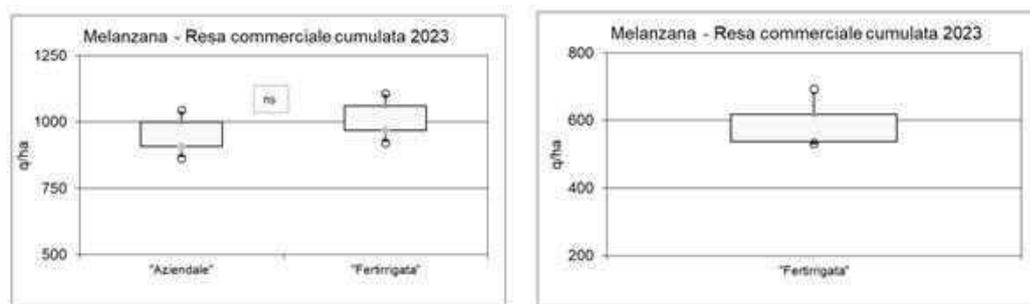


Fig. 5: Rese commerciali ottenute: "Calegari" (sx) e "Acqua Campus" (dx).

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). I risultati sono stati ottenuti a parità di apporti azotati, variando solo la distribuzione temporale. Seppur mediamente più efficiente, la maggiore ripartizione temporale non ha fatto osservare differenze statisticamente significative (Fig. 6).

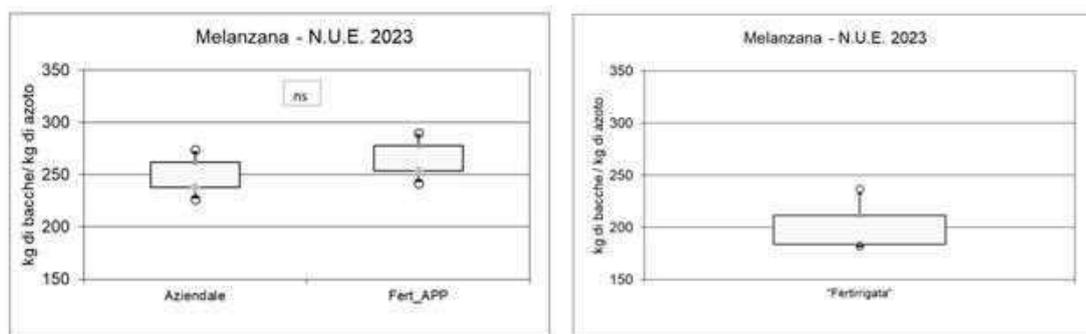


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: "Calegari" (sx) e "Acqua Campus" (dx).

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. Durante la prova, l'incremento di P.L.V. ottenuto con la tesi Fertirrigata rispetto a quella Aziendale è risultato essere di circa 3500 €/ha, pari al 6%, anche se non si sono osservate differenze statisticamente significative tra la tesi (Fig. 7).

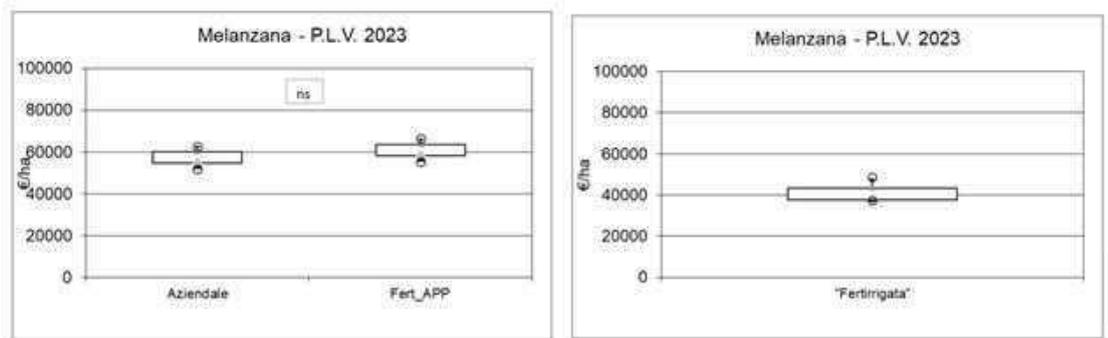


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenuta “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

Valutazione dell'accumulo di sostanza secca e dell'assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca totale e dei principali elementi, ripartita in biomassa fogliare e bacche. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- al trapianto;
- ad inizio fioritura;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nei grafici seguenti sono riportate le curve relative all'accumulo di sostanza secca per ettaro ottenute durante la prova per le tesi a confronto, ripartito in totale e bacche. È evidente un maggior accumulo di sostanza secca nelle bacche della tesi “Fertirrigata”, rispetto a quella Aziendale. L'accumulo di sostanza secca nella vegetazione ha mostrato differenze minori (Fig. 8a, 8b, 8c e 8d).

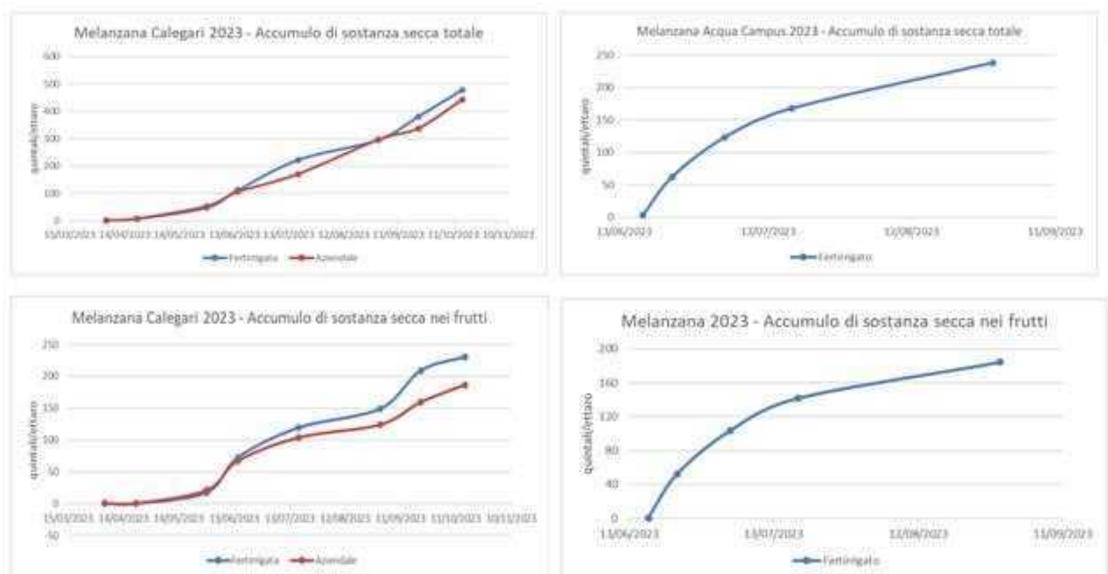


Fig. 8a, 8b, 8c e 8d: Dinamica dell'accumulo di sostanza secca.

Curve di assorbimento dell'azoto

Nei grafici seguenti sono invece riportate le curve relative all'assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra

vegetazione e bacche. La distribuzione frazionata dell'azoto mostra, nelle bacche, assorbimenti maggiori nella tesi "fertirrigata" (Fig. 9a, 9b, 9c e 9d).

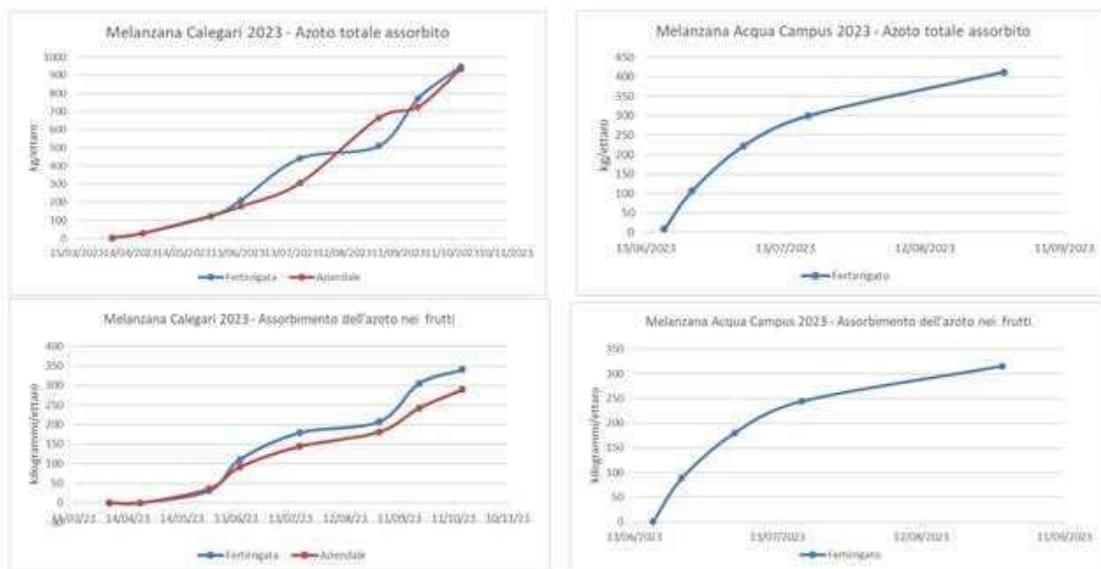


Fig. 9a, 9b, 9c e 9d: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.

Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato ipotizzando una resa attesa di 900 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Calegari" e di 600 q/ha per quella presso "Acqua Campus", è risultato essere in linea con la stima iniziale.

Curve di assorbimento del fosforo

Nei grafici seguenti sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale e bacche. La distribuzione frazionata del fosforo mostra analogamente all'azoto, nelle bacche, assorbimenti maggiori (Fig. 10a, 10b, 10c e 10d).

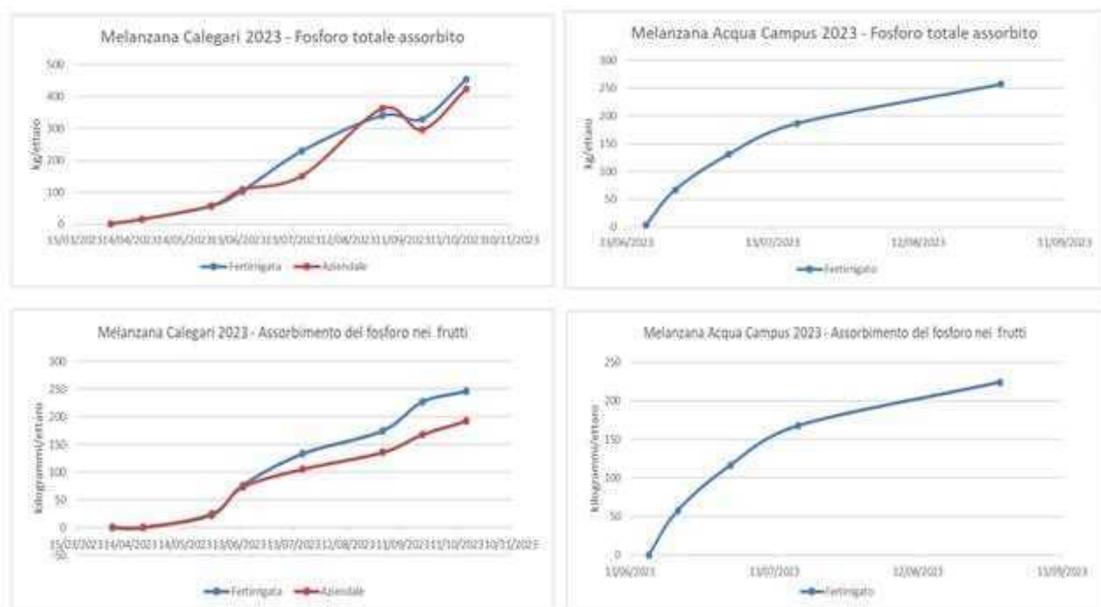


Fig. 10a, 10b, 10c e 10d: Dinamica dell'assorbimento del fosforo

Seppur in misura minore, anche per il fosforo il fabbisogno stimato ad inizio stagione è stato in linea con gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a, 11b, 11c e 11d sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro per le due tesi a confronto, ripartito tra totale e bacche.

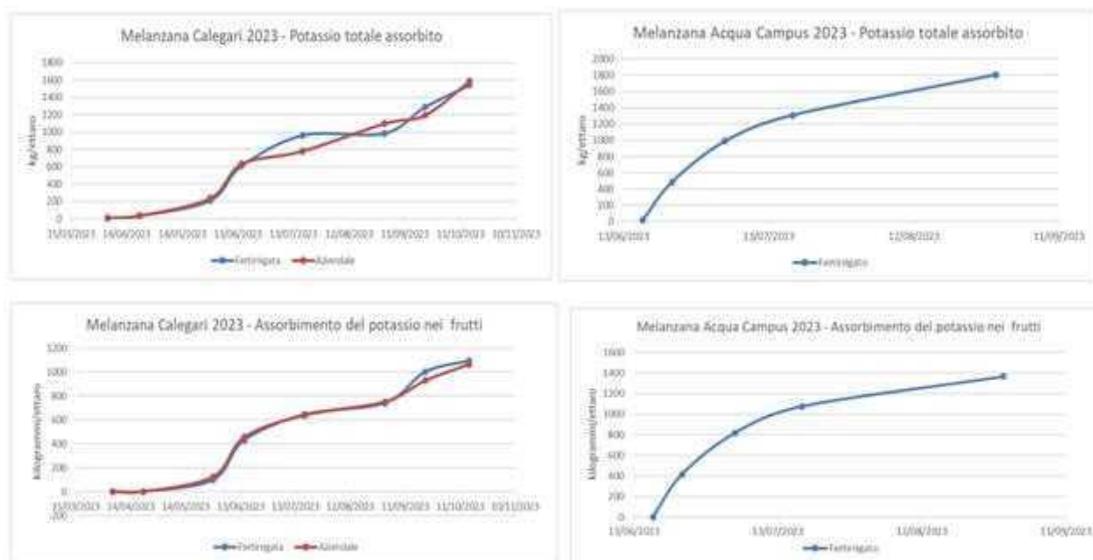


Fig. 11a 11b, 11c e 11d: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Anche per il potassio, il fabbisogno stimato ad inizio stagione è stato in linea con gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato (Fig. 12). Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati. Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo.

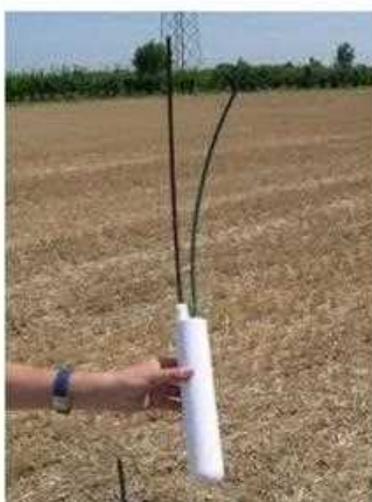


Fig. 12: Lisimetro a suzione: conformazione (sx) e suo posizionamento sulla coltura (dx).

Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del frazionamento temporale. Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni

concentrate in pochi interventi. Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nelle figure 13a e 13b sono riportati gli andamenti dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova.

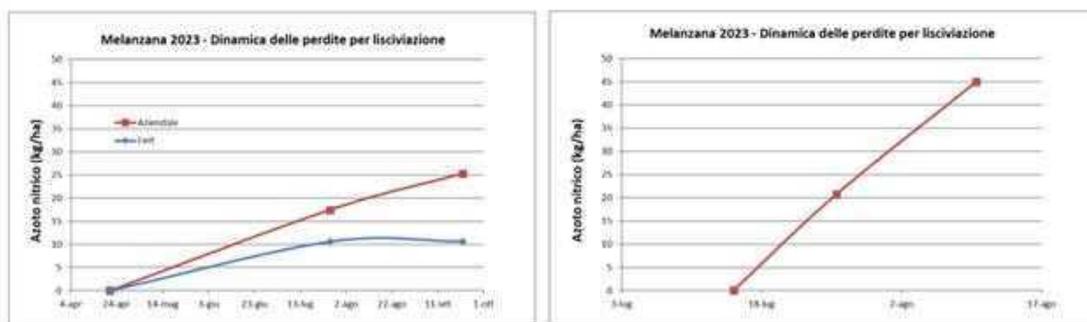


Fig. 13a, 13b: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: "Calegari" (sx), "Acqua Campus" (dx).

Cetriolo

Per la coltura del Cetriolo sono state messe a confronto due strategie di fertilizzazione: una aziendale e una fertirrigua presso l'Azienda Agricola "Calegari" e, una solo fertirrigua, presso "Acqua Campus", rispettivamente in tunnel e in serra replicando tre volte ogni strategia. In seguito all'impianto della coltura, sono state ricavate parcelle di circa 10 m². Il trapianto della coltura è avvenuto in data 27 marzo 2023 presso l'azienda "Calegari" (Fig. 1), impiegando come ibrido "Javan", varietà a frutto scuro e di grandi dimensioni con elevata produttività, con un sesto di impianto a file binate distanti di 1,7 m fra le file e 0,5 m sulla fila e con una densità teorica di 11.800 piante per ettaro e in data 7 giugno 2023 presso "Acqua Campus", impiegando come ibrido "Modan", varietà a frutto scuro e di grandi dimensioni con elevata produttività, con un sesto di impianto a file singole distanti di 1,4 m fra le file e 0,5 m sulla fila e con una densità teorica di 14.300 piante per ettaro.



Fig. 1: Impianto della coltura del Cetriolo "Calegari" (sx), "Acqua Campus" (dx).

Andamento meteorologico e irrigazioni

L'andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale del cetriolo con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con restituzione del 100 % dell'evapotraspirato, sono risultate essere per i due siti:

- Az. "Calegari"
 - 547 mm,
 - frazionati in 103 interventi con volumi medi di circa 5 mm.
- "Acqua Campus"
 - 440 mm,
 - frazionati in 45 interventi con volumi medi di circa 9 mm.

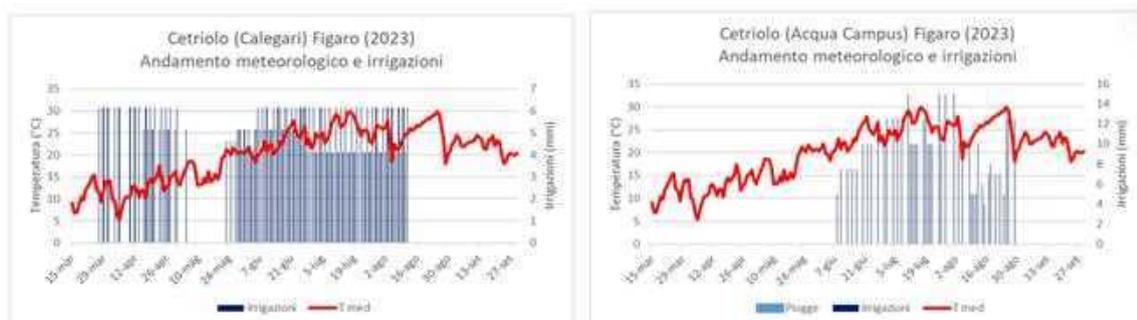


Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l'Azienda Agricola Calegari (sx) e Acqua Campus (dx).

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 600 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Calegari" e di 600 q/ha per quella presso "Acqua Campus".

Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine, facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell'appezzamento. Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell'ultima versione dell'applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale.

Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per il Cetriolo, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere rispettivamente per i due siti di 197 kg/ha di N, 101 kg/ha di P_2O_5 e 270 kg/ha di K_2O e di 208 kg/ha di N, 78 kg/ha di P_2O_5 e 300 kg/ha di K_2O . Nelle figure 3a e 3b sono riportati gli screenshot delle scremate dell'applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P_2O_5	K_2O
Fabbisogno annuale	196,8	100,7	270,4

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P_2O_5	K_2O
Fabbisogno annuale	208,2	77,9	300,0

Fig. 3a e 3b: Fabbisogno nutritivo “Calegari” (a) e “Acqua Campus” (b).

Il frazionamento dell'azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in fertirrigazione, veicolandola con le acque di irrigazione. La differenziazione fra le tesi è stata ottenuta frazionando maggiormente in fertirrigazione la tesi Fertirrigata, seguendo il consiglio dell'applicativo. Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua. Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l'applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti.

A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall'operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell' algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell'azione 3.1. La distribuzione frazionata in fertirrigazione è avvenuta in 47 interventi fertirrigui per “Calegari” e 31 per “Acqua Campus”.

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d'uso dell'azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di pezzatura,
- sostanza secca,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

Per quanto riguarda la resa commerciale i risultati ottenuti non mostrano differenze significative tra le diverse tecniche, seppur la tesi “Aziendale” ha fatto registrare una maggior produzione (Fig. 5).

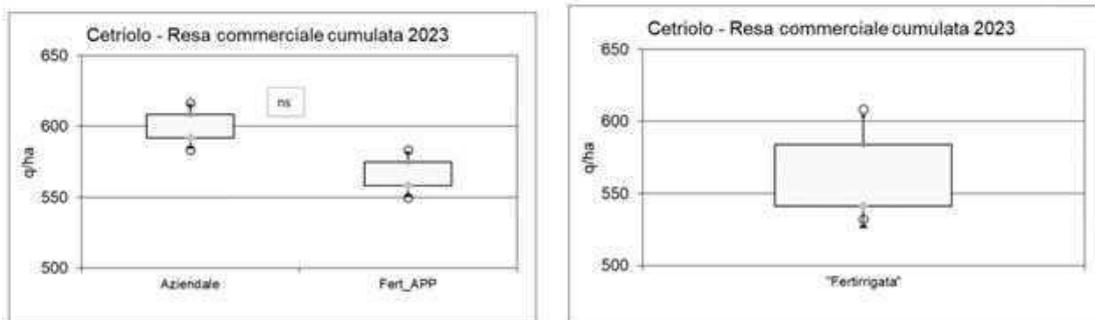


Fig. 5: Rese commerciali ottenute: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). Seppur mediamente meno efficiente, la maggiore ripartizione temporale non ha fatto osservare differenze statisticamente significative (Fig. 6).

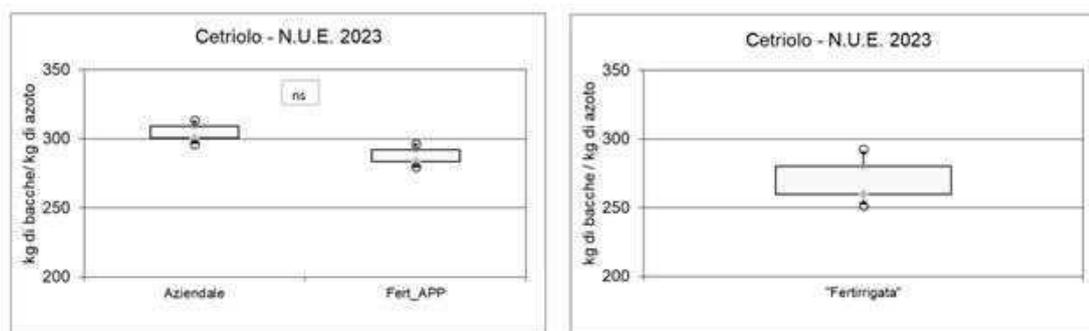


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. La differenza di P.L.V. tra la tesi Fert-APP rispetto a quella Aziendale non è significativa (Fig. 7).

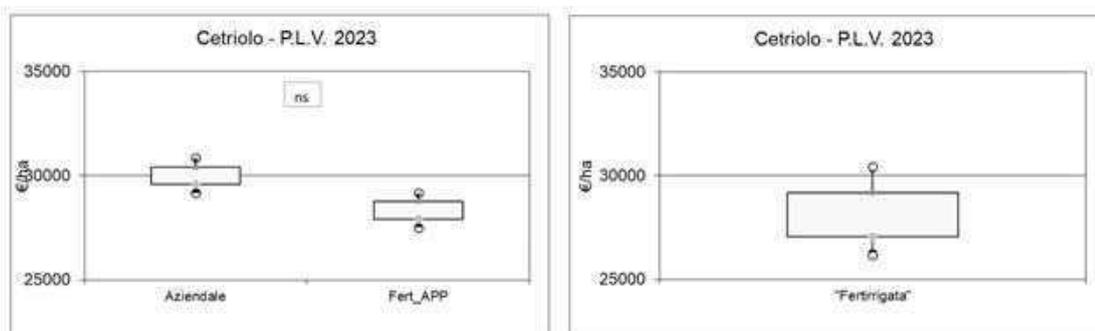


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenute: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

Valutazione dell'accumulo di sostanza secca e dell'assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca totale e dei principali elementi, ripartita in biomassa fogliare e bacche. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa

essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- al trapianto;
- ad inizio fioritura;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nelle figure 8a, 8b, 8c e 8d sono riportate le curve relative all'accumulo di sostanza secca per ettaro ottenute durante la prova per le tesi a confronto, ripartito in totale e bacche. La prova ha evidenziato un accumulo lievemente maggiore di sostanza secca nelle bacche della tesi "Aziendale" rispetto a quella "Fertirrigata". Nell'accumulo di sostanza secca totale la tesi "fertirrigata" ha invece mostrato un accumulo maggiore rispetto alla tesi "aziendale".

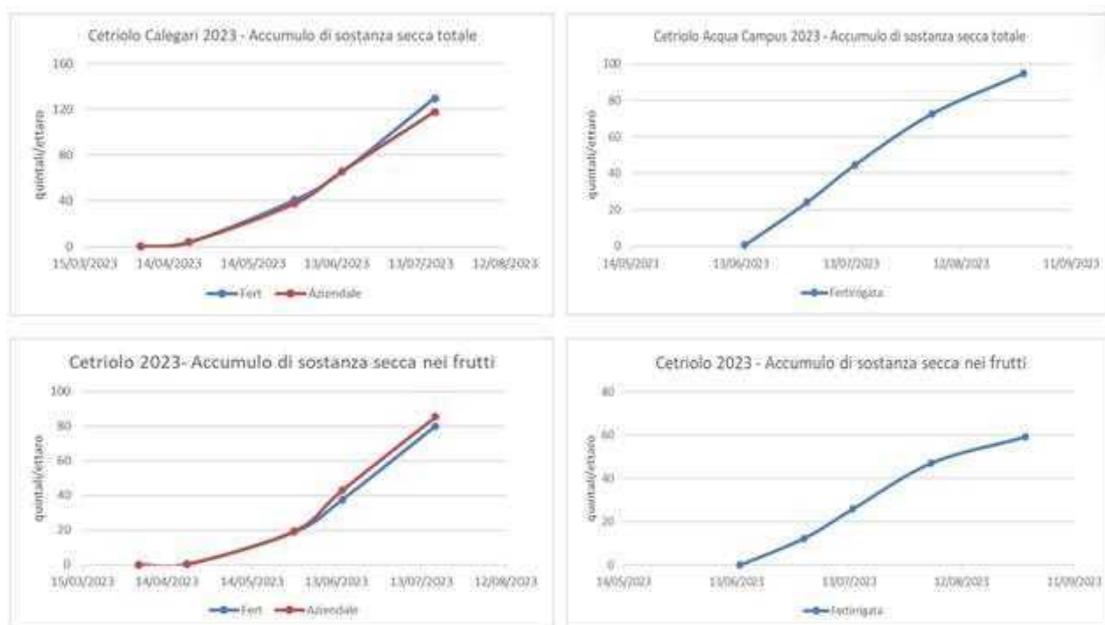
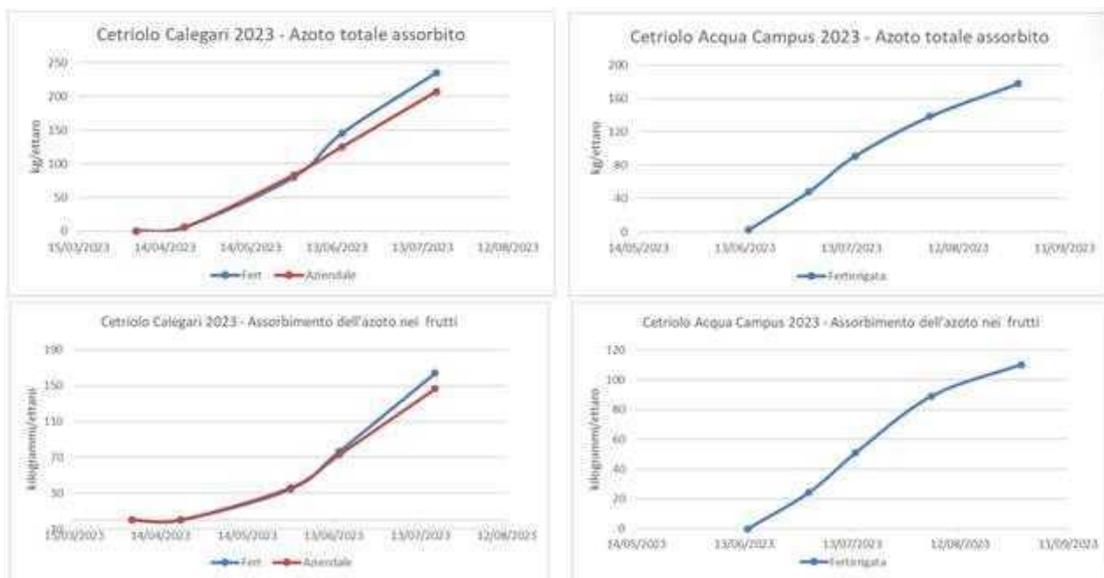


Fig. 8a, 8b, 8c e 8d: Dinamica dell'accumulo di sostanza secca: "Calegari" (sx) e "Acqua Campus" (dx).

Curve di assorbimento dell'azoto

Nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale e bacche. La distribuzione frazionata dell'azoto mostra assorbimenti maggiori, sia per quanto riguarda i frutti che per il totale della vegetazione, rispetto alla tesi aziendale. Fig. 9a, 9b, 9c e 9d: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.



Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato per entrambi i siti sperimentali ipotizzando una resa attesa di 1200 q/ha è stato ricalcolato sulla base delle rese reali sia per la prova presso l'Azienda Agricola "Calegari" che per quella presso "Acqua Campus" in 600 q/ha, risultando essere in linea con i quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del fosforo

Nelle figure 10a, 10b, 10c e 10d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale e bacche. La distribuzione frazionata del fosforo mostra, sia per quanto riguarda la vegetazione totale che per le sole bacche, assorbimenti maggiori.

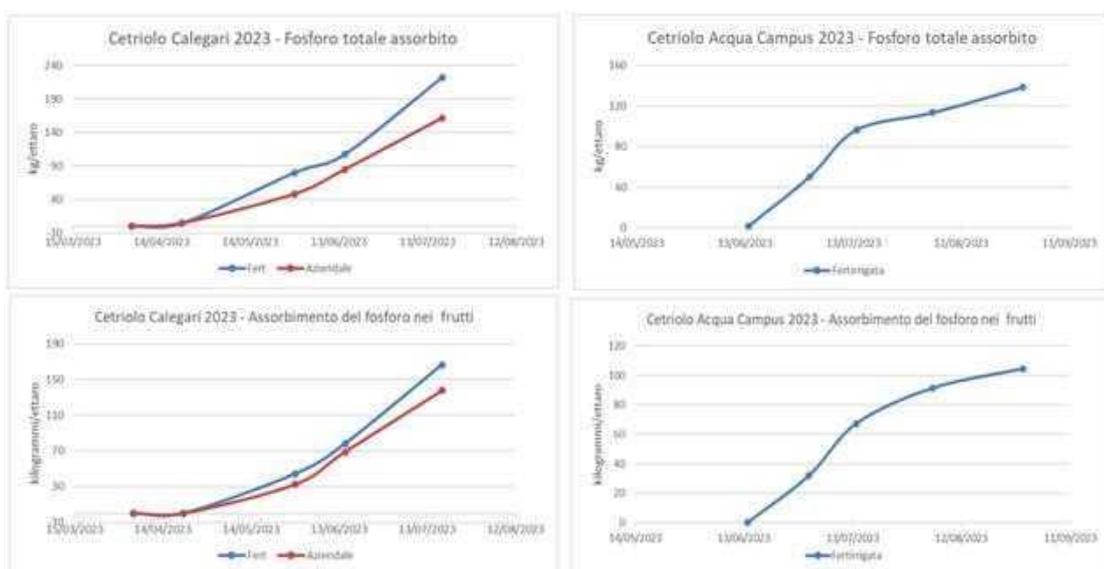


Fig. 10a, 10b, 10c e 10d: Dinamica dell'assorbimento del fosforo.

Per il fosforo il fabbisogno stimato ad inizio stagione è stato inferiore rispetto gli effettivi

quantitativi assorbiti dalla coltura, in ragione della buona dotazione iniziale del terreno.-

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a 11b, 11c e 11d sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro per le due tesi a confronto, ripartito tra totale e bacche. La distribuzione frazionata del potassio mostra, sia per quanto riguarda i frutti che per il totale della vegetazione, assorbimenti maggiori.

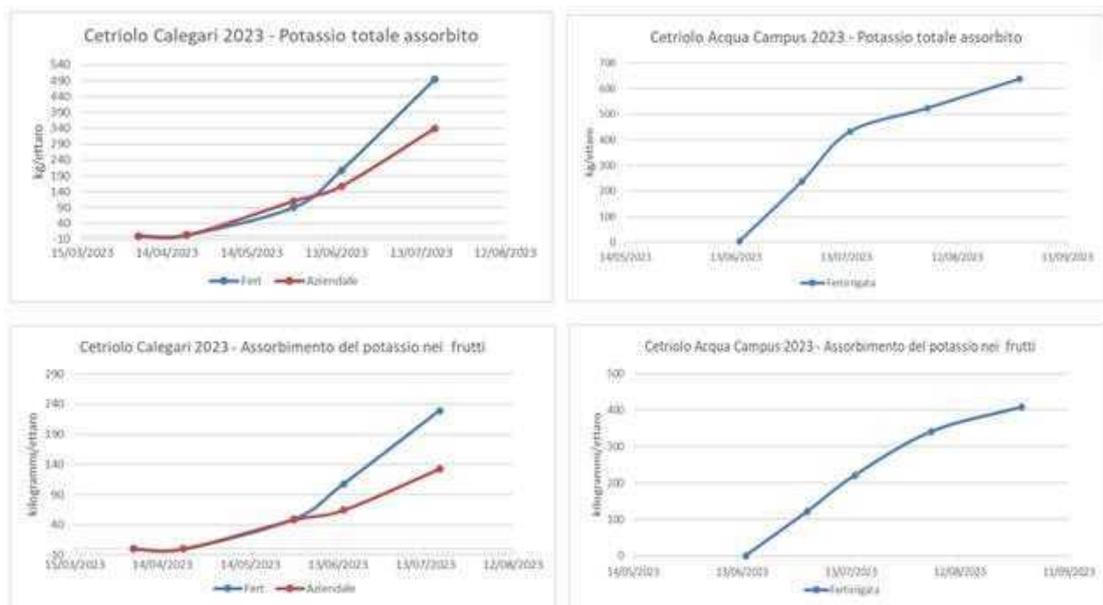


Fig. 11a 11b, 11c e 11d: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Per quanto riguarda la prova eseguita da Calegari, il fabbisogno di potassio stimato ad inizio stagione è stato maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura. Il fabbisogno stimato ad inizio stagione per l'azienda "Acqua Campus" è risultato invece minore rispetto a quello assorbito dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato (Fig. 12). Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati. Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo.

Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del frazionamento temporale.

Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni concentrate in pochi interventi.

Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nelle figure 13a, 13b sono riportati gli andamenti dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova

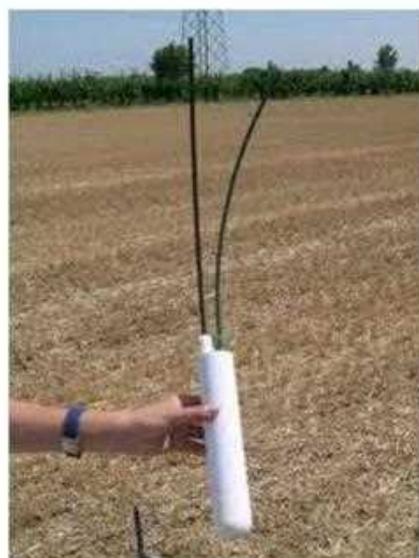


Fig. 12: Lisimetro a suzione: conformazione (sx) e suo posizionamento sulla coltura (dx).

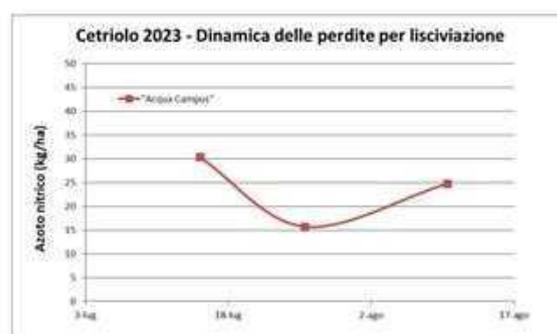
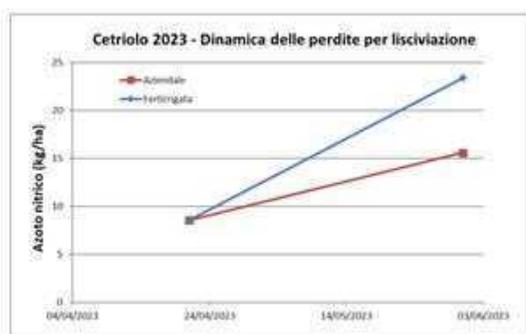


Fig. 13a, 13b: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: "Calegari" (sx), "Acqua Campus" (dx).

Zucchini

Per la coltura dello Zucchini sono state messe a confronto due strategie di fertilizzazione: una aziendale e una fertirrigua presso l'Azienda Agricola "Calegari" e, una solo fertirrigua, presso "Acqua Campus", rispettivamente in tunnel e in serra replicando tre volte ogni strategia (Fig. 1). In seguito all'impianto della coltura, sono state ricavate parcelle di circa 10 m².

Il trapianto della coltura è avvenuto in data 2 maggio 2023 presso l'azienda "Calegari", impiegando come ibrido "Mexicana", varietà a frutto tipo "Bolognese" con elevata produttività, con un sesto di impianto a fila singola distanti di 1,8 m fra le file e 0,6 m sulla fila e con una densità teorica di 9.300 piante per ettaro e in data 7 giugno 2023 presso "Acqua Campus", impiegando come ibrido "Milos", varietà a frutto tipo "Bolognese" con elevata produttività, con un sesto di impianto a file binate distanti di 1,2 m fra le file e 0,8 m sulla fila e con una densità teorica di 10.400 piante per ettaro.



Fig. 1: Impianto della coltura dello Zucchini “Calegari” (sx), “Acqua Campus (dx).

Andamento meteorologico e irrigazioni

L'andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale dello zucchini con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con restituzione del 100 % dell'evapotraspirato, sono risultate essere per i due siti:

- Az. “Calegari”
 - 162 mm,
 - frazionati in 21 interventi con volumi medi di circa 7 mm.
- “Acqua Campus”
 - 283 mm,
 - frazionati in 28 interventi con volumi medi di circa 10 mm.



Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l’Azienda Agricola Calegari (sx) e Acqua Campus (dx).

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 600 q/ha per la prova presso l’Azienda Agricola “Calegari” e di 440 q/ha per quella presso “Acqua Campus”.

Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine, facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell'appezzamento. Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell'ultima versione dell'applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale.

Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per la zuccina, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere rispettivamente per i due siti di 245 kg/ha di N, 101 kg/ha di P₂O₅ e 300 kg/ha di K₂O e di 187 kg/ha di N, 52 kg/ha di P₂O₅ e 300 kg/ha di K₂O. Nelle figure 3a e 3b sono riportati gli screenshot delle schermate dell'applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	244,8	100,7	300,0

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	186,8	52,3	300,0

Fig. 3a e 3b: Fabbisogno nutritivo "Calegari" (a) e "Acqua Campus" (b).

Il frazionamento dell'azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in fertirrigazione, veicolandola con le acque di irrigazione. La differenziazione fra le tesi è stata ottenuta frazionando maggiormente in fertirrigazione la tesi Fertirrigata, seguendo il consiglio dell'applicativo.

Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua.

Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l'applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti.

A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall'operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell'algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell'azione 3.1. La distribuzione frazionata in fertirrigazione è avvenuta in 35 interventi fertirrigui per "Calegari" e 23 per "Acqua Campus".

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d'uso dell'azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di pezzatura,

- sostanza secca,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

Per quanto riguarda la resa commerciale i risultati ottenuti non mostrano differenze significative tra le diverse tecniche (Fig. 5).

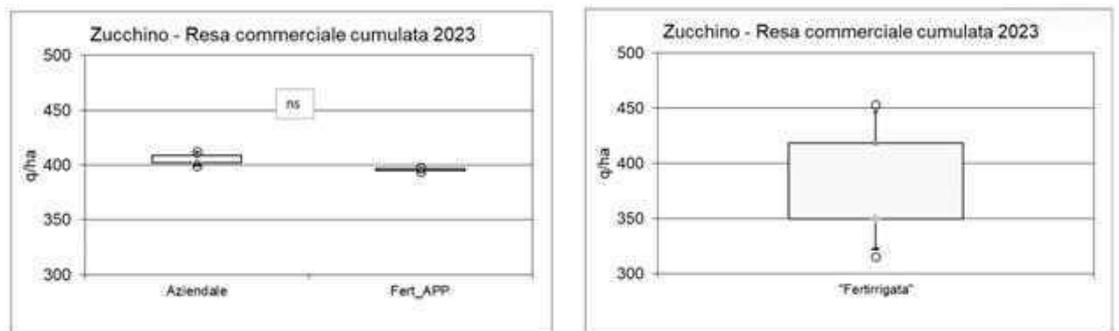


Fig. 5: Rese commerciali ottenute: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). I risultati, rilevati nell'azienda “Calegari” sono stati ottenuti a parità di apporti azotati, variando solo la distribuzione temporale. La maggiore ripartizione temporale non ha fatto osservare differenze statisticamente significative (Fig. 6).

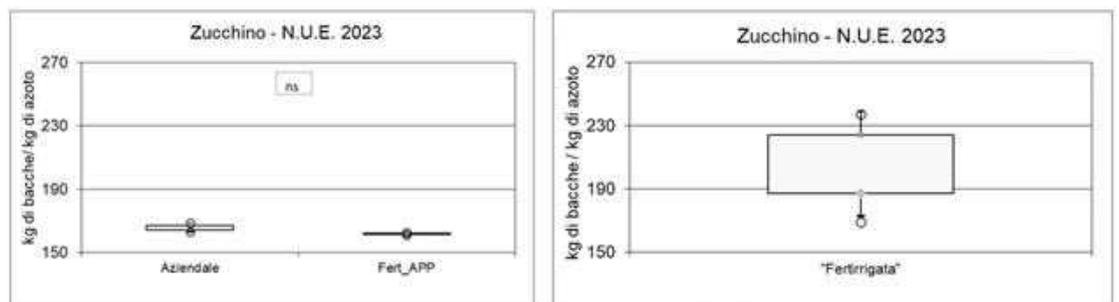


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. Non sono state osservate differenze di P.L.V. tra la tesi aziendale e quella fertirrigata (Fig. 7).

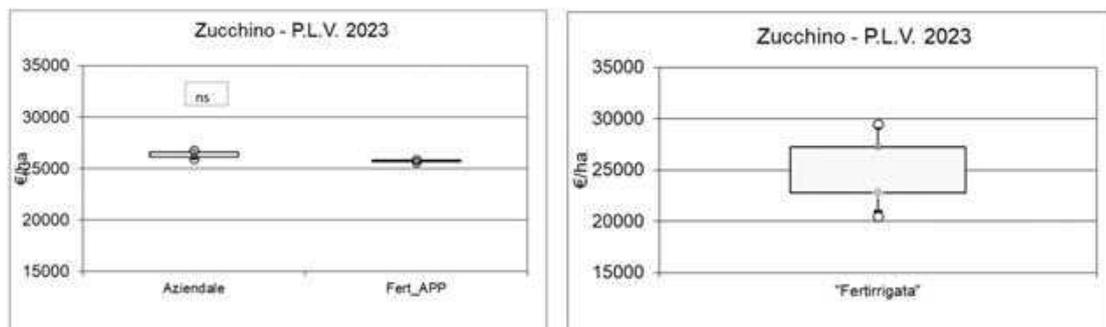


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenute: “Calegari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

Valutazione dell’accumulo di sostanza secca e dell’assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca totale e dei principali elementi, ripartita in biomassa fogliare e bacche. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- al trapianto;
- ad inizio fioritura;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nelle figure 8a, 8b, 8c e 8d sono riportate le curve relative all’accumulo di sostanza secca per ettaro ottenute durante la prova per le tesi a confronto, ripartito in totale e bacche. È evidente un maggior accumulo di sostanza secca totale della tesi “Fertirrigata” rispetto a quella Aziendale. L’accumulo di sostanza secca nelle bacche non ha mostrato differenze tra le diverse tesi.

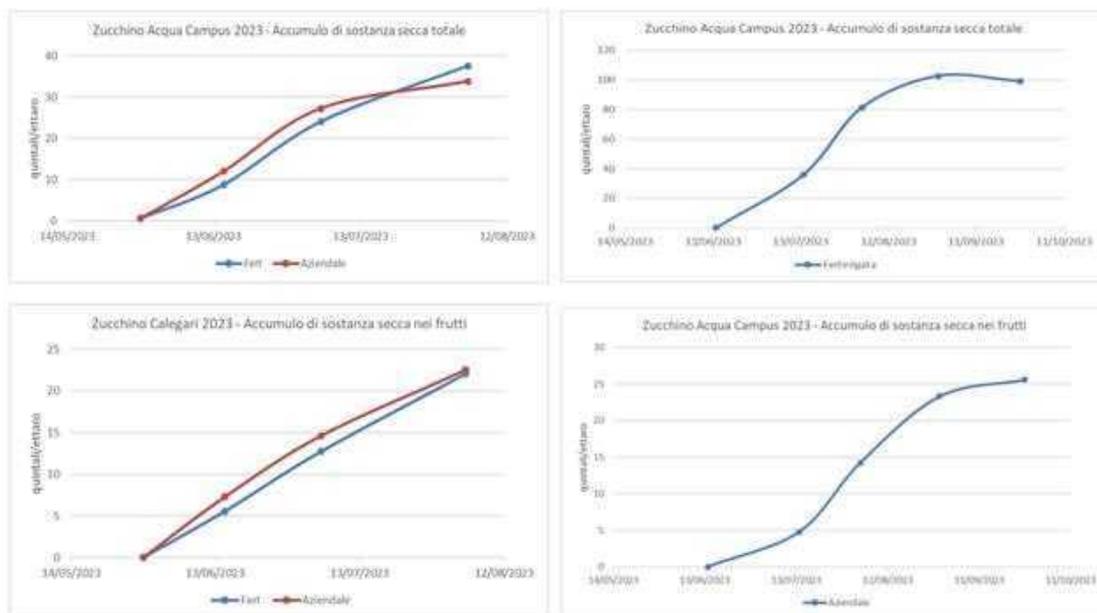


Fig. 8a, 8b, 8c e 8d: Dinamica dell’accumulo di sostanza secca.

Curve di assorbimento dell’azoto

Nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d sono invece riportate le curve relative all’assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra vegetazione e bacche. La tesi aziendale mostra assorbimenti maggiori di azoto, sia per quanto riguarda i frutti che per il totale assorbito dalla pianta.

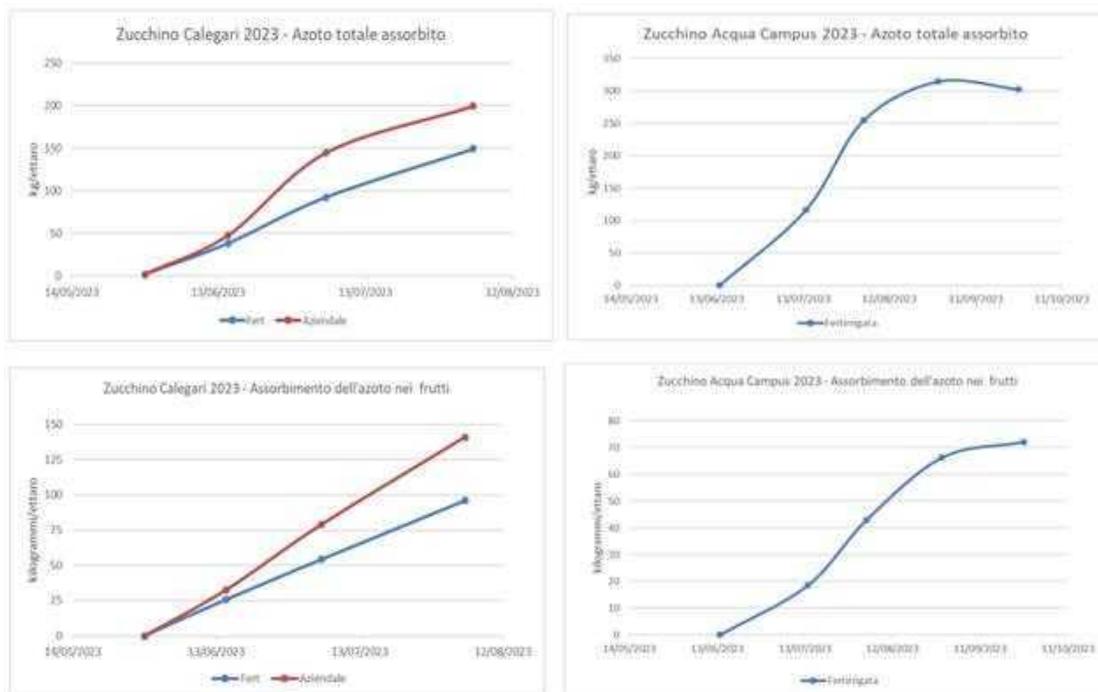


Fig. 9a, 9b, 9c e 9d: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.

Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato ipotizzando una resa attesa di 600 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Calegari" e di 440 q/ha per quella presso "Acqua Campus", è risultato essere superiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti.

Curve di assorbimento del fosforo

Nelle figure 10a, 10b, 10c e 10d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale e bacche. La distribuzione frazionata del fosforo mostra assorbimenti maggiori, sia per quanto riguarda il totale assorbito dalla pianta che quello assorbito dalle bacche.

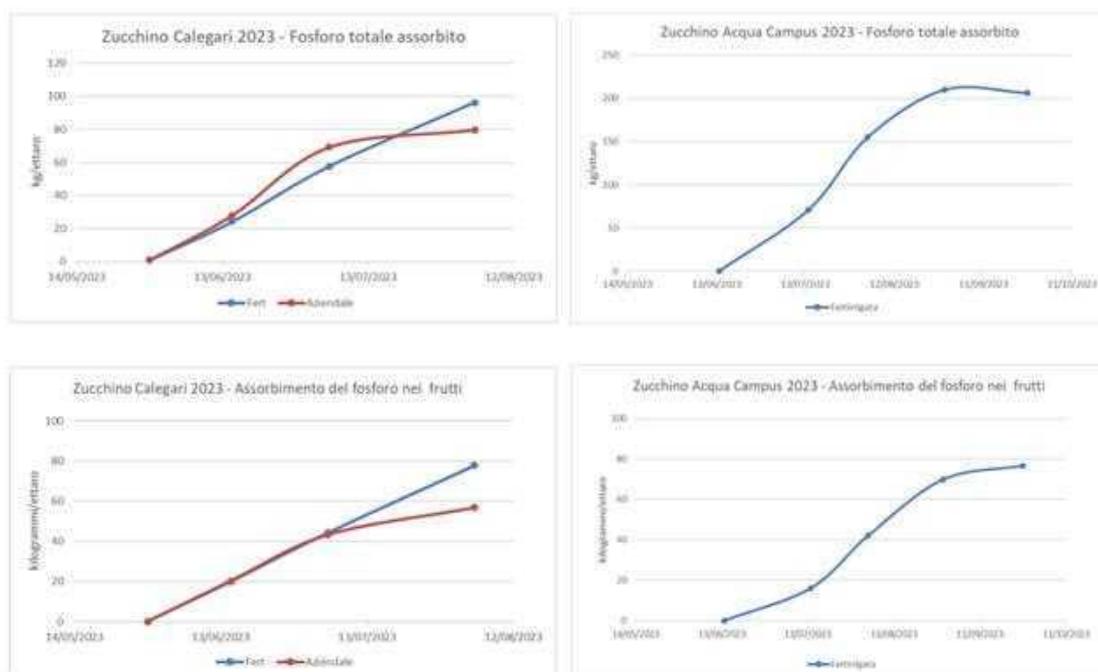


Fig. 10a, 10b, 10c e 10d: Dinamica dell'assorbimento del fosforo.

Il fabbisogno di fosforo stimato ad inizio stagione, riguardo la prova eseguita presso l'azienda "Calegari", è stato maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura. Viceversa, nella prova eseguita presso "Acqua campus", il fosforo stimato ad inizio stagione è stato minore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a 11b, 11c e 11d sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro per le due tesi a confronto, ripartito tra totale e bacche. La distribuzione frazionata del potassio mostra assorbimenti maggiori, sia per quanto riguarda il totale assorbito dalla pianta che quello assorbito dalle bacche.

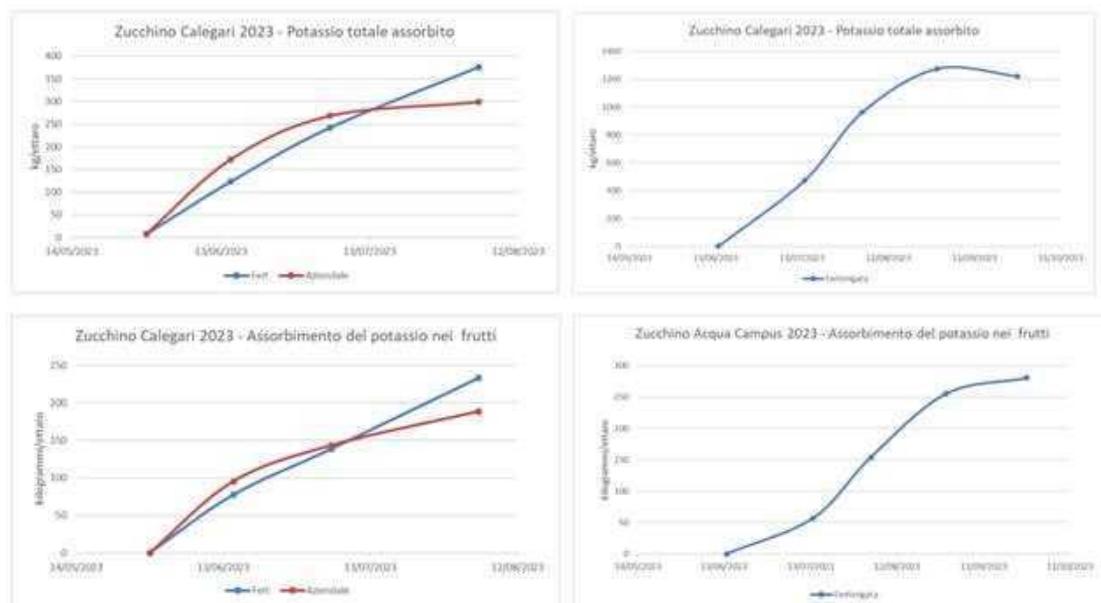


Fig. 11a 11b, 11c e 11d: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Il fabbisogno di potassio stimato ad inizio stagione, riguardo la prova eseguita presso l'azienda "Calegari", è stato maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura. Nella prova eseguita presso "Acqua campus", il fosforo stimato ad inizio stagione è stato in linea rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato. Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati.

Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo.

Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del frazionamento temporale.

Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni concentrate in pochi interventi. Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nelle figure 12a e 12b sono riportati gli andamenti dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova.

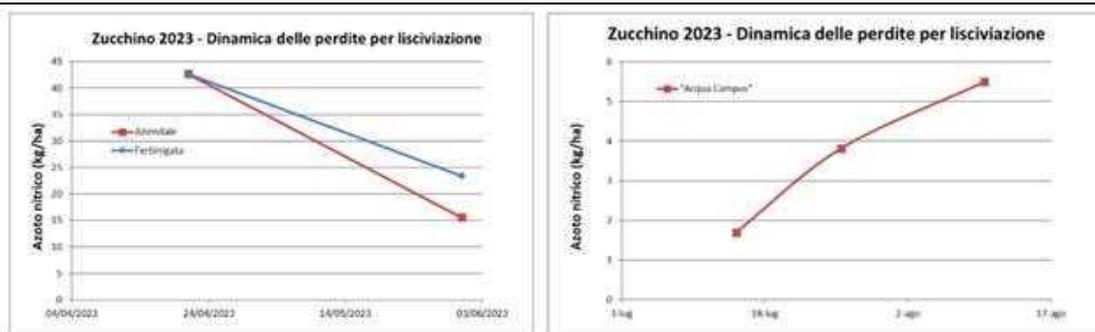


Fig. 12a, 12b: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: “Castellari” (sx), “Acqua Campus” (dx).

Lattuga

Per la coltura della lattuga sono state messe a confronto diverse epoche di trapianto: una primaverile e una estiva in piena aria e una autunnale in serra. Le prove sono state condotte presso l’Azienda Agricola “Castellari” e, per la sola epoca estiva, presso “Acqua Campus” (Fig. 1).

I trapianti della coltura per i quali sono stati effettuati i rilievi sono avvenuti in data: 08 marzo 2023, 27 marzo 2023, 20 aprile 2023, 06 luglio 2023, 20 luglio 2023, 03 agosto 2023, 24 agosto 2023, 31 agosto 2023, 7 settembre 2023 e 14 settembre 2023 presso l’azienda “Castellari”, impiegando come varietà “Gentilina” e “Romana” con un sesto di impianto di 0.4 m fra le file e 0.3 m sulla fila e con una densità teorica di 83.333 piante per ettaro e in data 7 giugno 2023 presso “Acqua Campus”, impiegando come varietà “Gentilina”, cultivar “Voltron”, con un sesto di impianto di 0.3 m fra le file e 0.3 m sulla fila e con una densità teorica di 111.111 piante per ettaro.



Fig. 1: Impianto della coltura della Lattuga “Castellari” (sx), “Acqua Campus (dx).

Andamento meteorologico e irrigazioni

L’andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale della lattuga con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con restituzione del 100 % dell’evapotraspirato, sono risultate essere mediamente:

- Az. “Castellari”, lattuga primaverile
 - 90 mm,
 - frazionati in 3 interventi con volumi medi di circa 30 mm.
- Az. “Castellari”, lattuga estiva

- 150 mm,
- frazionati in 5 interventi con volumi medi di circa 30 mm.
- Az. “Castellari”, lattuga in serra
 - 80 mm,
 - frazionati in 4 interventi con volumi medi di circa 20 mm.
- “Acqua Campus, lattuga estiva
 - 163 mm,
 - frazionati in 14 interventi con volumi medi di circa 11 mm.

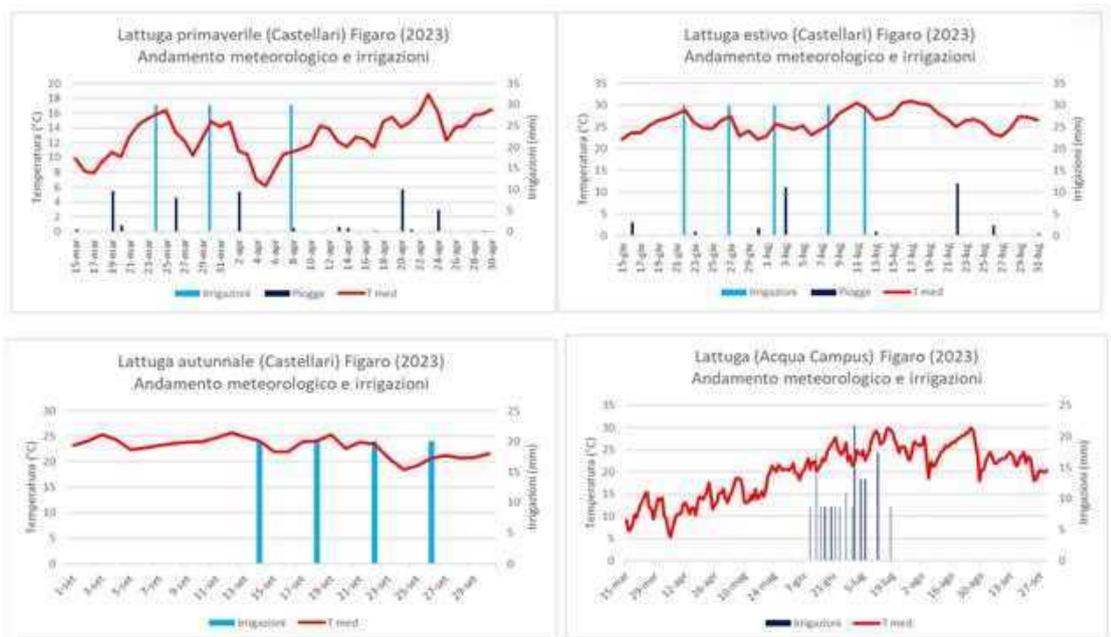


Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l’Azienda Agricola Castellari (sx) e Acqua Campus (dx).

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 300 q/ha per la prova presso l’Azienda Agricola “Castellari” e di 300 q/ha per quella presso “Acqua Campus”.

Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine, facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell’appezzamento.

Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l’applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell’ultima versione dell’applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale. Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per la Lattuga, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere rispettivamente per i due siti di 76 kg/ha di N, 0 kg/ha di P₂O₅ e 170 kg/ha di K₂O e di 36 kg/ha di N, 9 kg/ha di P₂O₅ e 114 kg/ha di K₂O. Di seguito, nelle figure 3a e 3b sono riportati gli screenshot delle schermate dell’applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	76,5	0,0	170,0

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	36,5	8,9	113,7

Fig. 3a e 3b: Fabbisogno nutritivo “Castellari” (a) e “Acqua Campus” (b).

Il frazionamento dell’azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in copertura mediante spandiconcime per l’Azienda Agricola “Castellari” e veicolandola con le acque di irrigazione per la prova condotta ad “Acqua Campus”. Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua.

Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l’applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti.

A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall’operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell’algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell’azione 3.1. La distribuzione frazionata in fertirrigazione è avvenuta per “Acqua Campus” in nr. 11 interventi.

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d’uso dell’azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di peso,
- sostanza secca,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

Nei grafici seguenti viene riportata la resa commerciale di lattuga Gentilina e Romana presso l’azienda Castellari e Gentilina presso l’azienda Acqua Campus (Fig. 5).

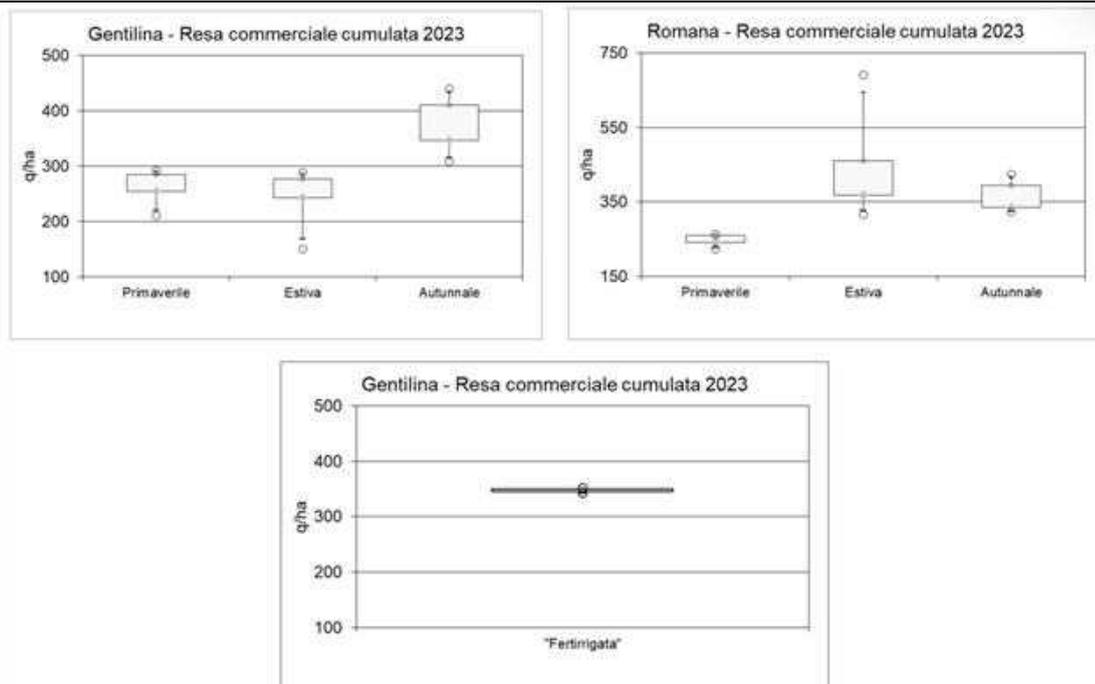


Fig. 5: Rese commerciali ottenute: “Castellari” (sopra) e “Acqua Campus” (sotto).

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). I risultati sono stati ottenuti a parità di apporti azotati, variando solo la data del trapianto. Non si sono osservate differenze statisticamente significative (Fig. 6).

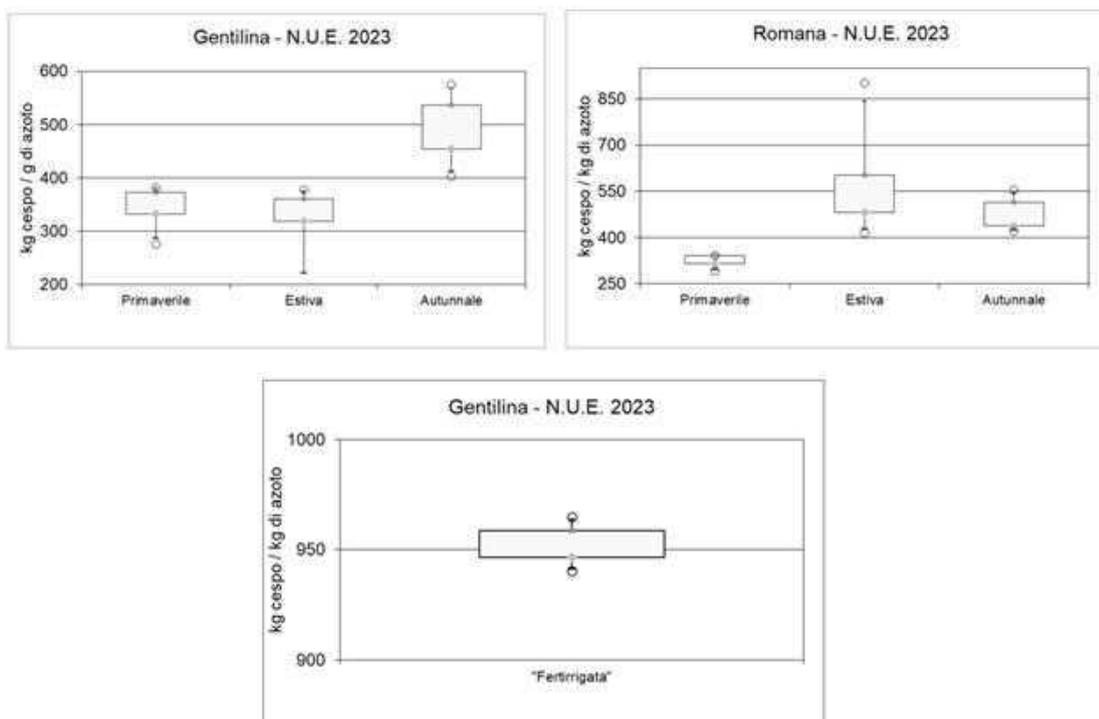


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: “Castellari” (sx) e “Acqua Campus” (dx).

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. Nel secondo anno di prova non sono state osservate differenze significative (Fig. 7).

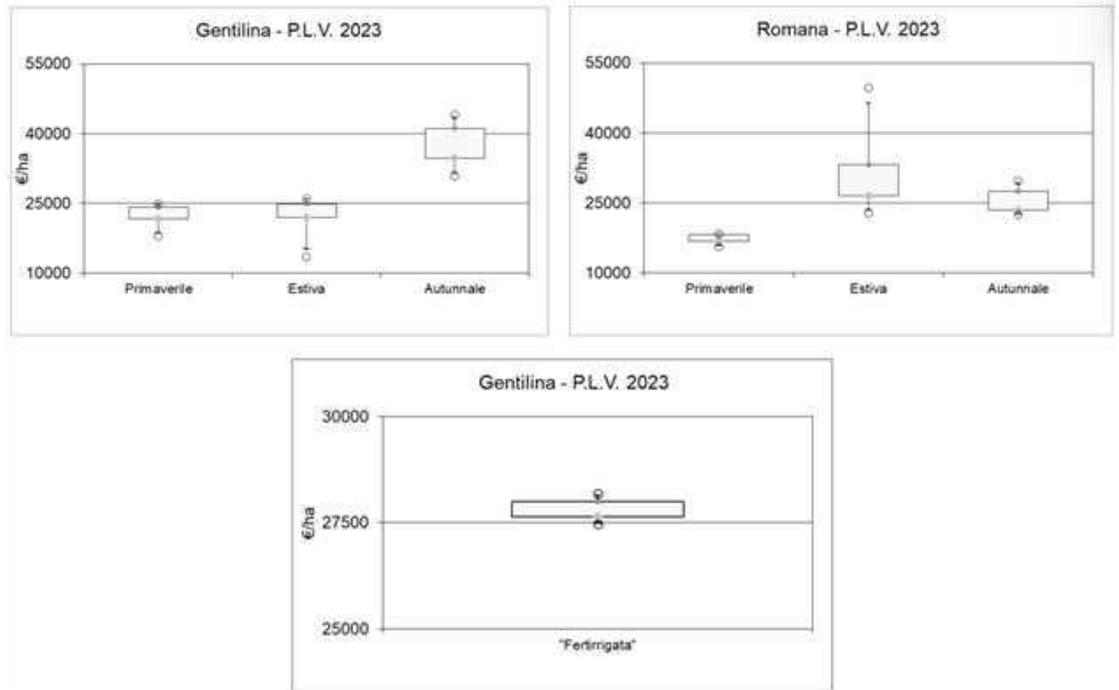


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenute: “Castellari” (sopra) e “Acqua Campus” (sotto).

Valutazione dell’accumulo di sostanza secca e dell’assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca fogliare. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- al trapianto;
- durante lo sviluppo;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nelle figure 8a e 8b sono riportate le curve relative all'accumulo di sostanza secca per ettaro ottenute durante la prova per le diverse epoche di trapianto.

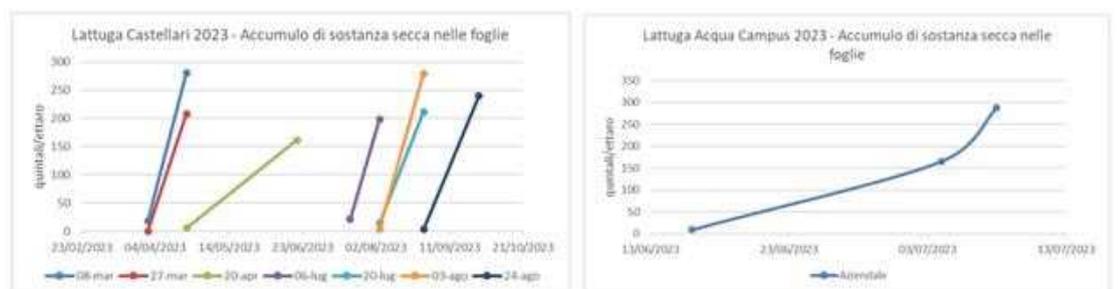


Fig. 8a e 8b: Dinamica dell’accumulo di sostanza secca.

Curve di assorbimento dell’azoto

Nelle figure 9a e 9b sono invece riportate le curve relative all'assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova.

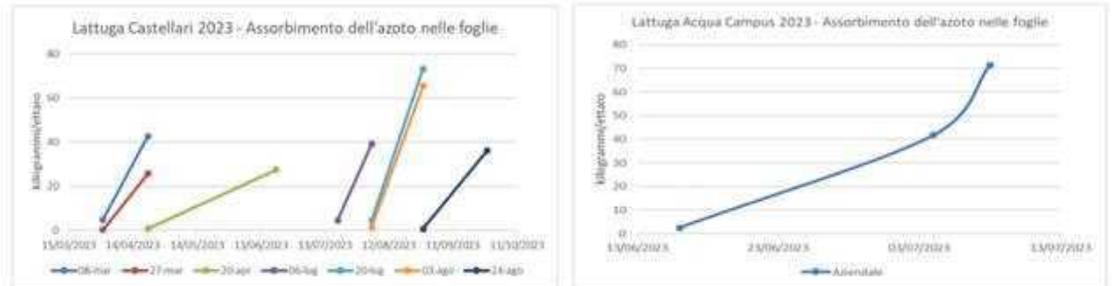


Fig. 9a e 9b: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.

Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato ipotizzando una resa attesa di 300 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Castellari" e di 300 q/ha per quella presso "Acqua Campus", è risultato essere in linea per i trapianti del 20 luglio 2023 e del 3 agosto 2023 mentre per tutti gli altri trapianti presso l'azienda "Castellari" è risultato essere maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura. Nella prova effettuata presso "Acqua Campus" l'azoto stimato ad inizio stagione è stato minore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Curve di assorbimento del fosforo

Nelle figure 10a e 10b sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova.

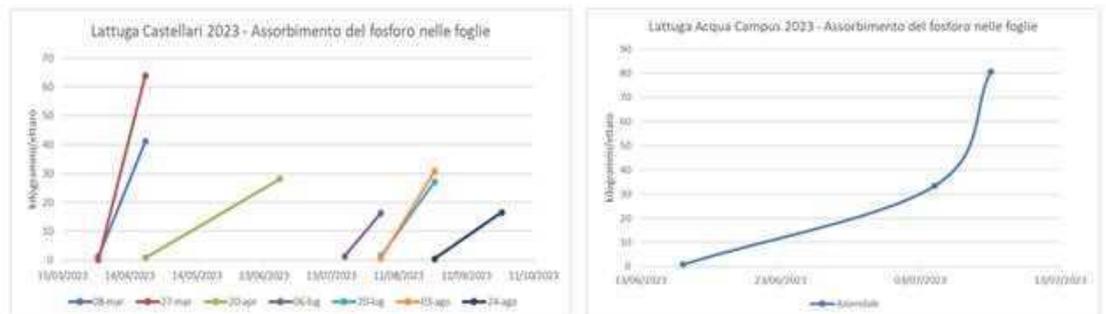


Fig. 10a e 10b: Dinamica dell'assorbimento del fosforo.

Il fabbisogno di fosforo stimato ad inizio stagione è risultato minore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a e 11b sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro per le diverse epoche di trapianto a confronto, ripartito tra totale e bacche.

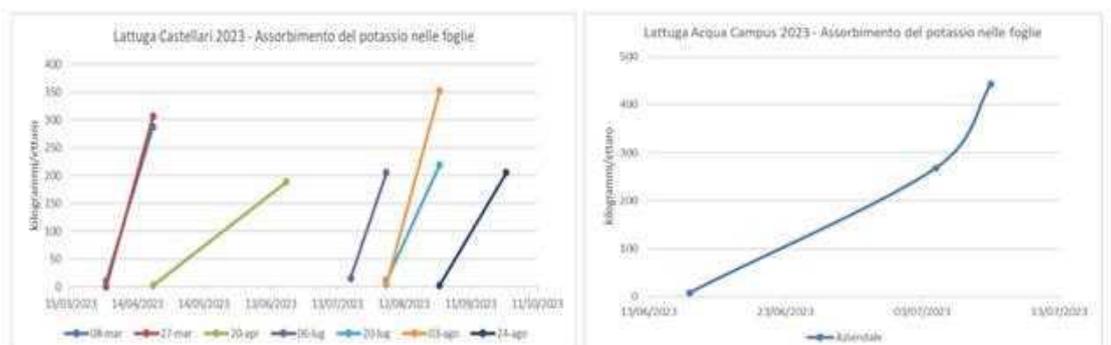


Fig. 11a e 11b: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Il fabbisogno di potassio stimato ad inizio stagione è stato inferiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura, grazie alla dotazione iniziale del terreno, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato. Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati. Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo. Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del frazionamento temporale. Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni concentrate in pochi interventi. Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nelle figure 12a e 12b sono riportati gli andamenti dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova.

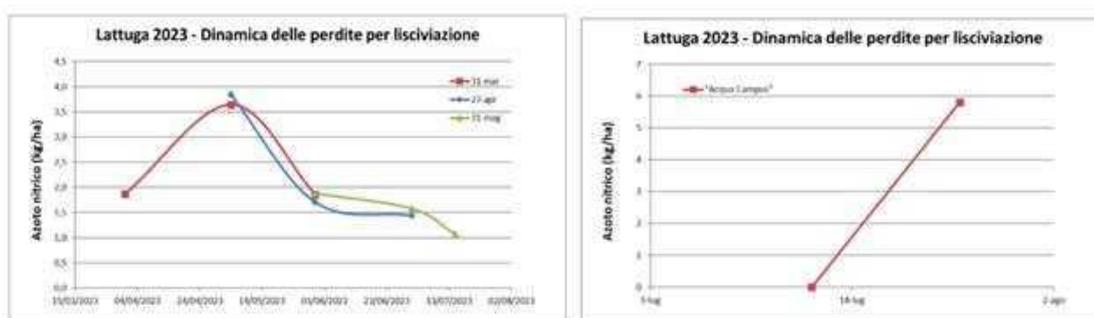


Fig. 12a, 12b: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: "Calegari" (sx), "Acqua Campus" (dx).

Pesco

Per la coltura del pesco sono state messe a confronto due strategie di fertilizzazione: una aziendale e una fertirrigua.

La prova è stata eseguita su una cultivar della "Selezione Neri", impiantata nel 2018, effettuando prove all'interno del frutteto di circa 17.000 m² situato nel Comune di Sant'Arcangelo di Romagna presso l'azienda agricola Fabbri (Fig. 1). La fioritura è avvenuta in data 24 marzo e nel 2023. Il sesto di impianto è di 5,0 m fra le file e 3,0 m sulla fila (667 piante per ettaro).



Fig. 1: Foto delle piante in prova.

Andamento meteorologico e irrigazioni

L'andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale del pesco con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con restituzione del 100 % dell'evapotraspirato, sono risultate essere per il sito:

- Az. "Fabbri"
 - 109 mm,
 - frazionati in 24 interventi con volumi medi di circa 4.5 mm.



Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l'Azienda Agricola Fabbri.

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 400 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Fabbri".

Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine, facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell'appezzamento.

Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell'ultima versione dell'applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale.

Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per il Pesco, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere di 220 kg/ha di N, 68 kg/ha di P₂O₅ e 0 kg/ha di K₂O. Nella figura 3 è riportato lo screenshot della schermata dell'applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	219,8	68,0	0,0

Fig. 3: Fabbisogno nutritivo "Fabbri".

Il frazionamento dell'azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in fertirrigazione, veicolandola con le acque di irrigazione. La differenziazione fra le tesi è stata ottenuta frazionando maggiormente in fertirrigazione la tesi Fertirrigata, seguendo il consiglio dell'applicativo.

Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua.

Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l'applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti. A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall'operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell'algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell'azione 3.1.

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d'uso dell'azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di pezzatura,
- sostanza secca,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

I risultati ottenuti tra le diverse tecniche non mostrano differenze significative di resa commerciale (Fig. 5).

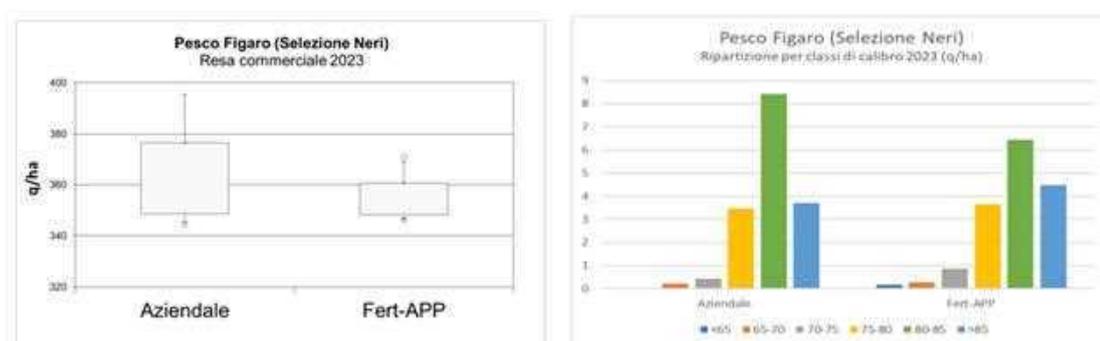


Fig. 5: Rese commerciali e classi di pezzatura ottenute: "Fabri".

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). I risultati sono stati ottenuti a parità di apporti azotati, variando solo la distribuzione temporale. La ripartizione temporale non ha fatto osservare differenze statisticamente significative (Fig. 6).

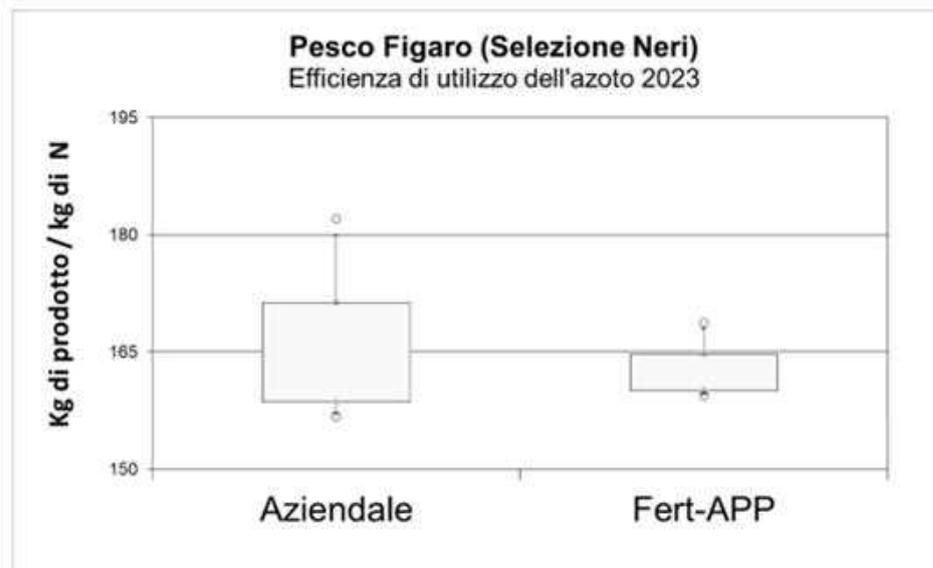


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: "Fabbri".

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. La tesi aziendale ha ottenuto una PLV maggiore rispetto alla tesi fertirrigata, anche se non si sono osservate differenze statisticamente significative (Fig. 7).

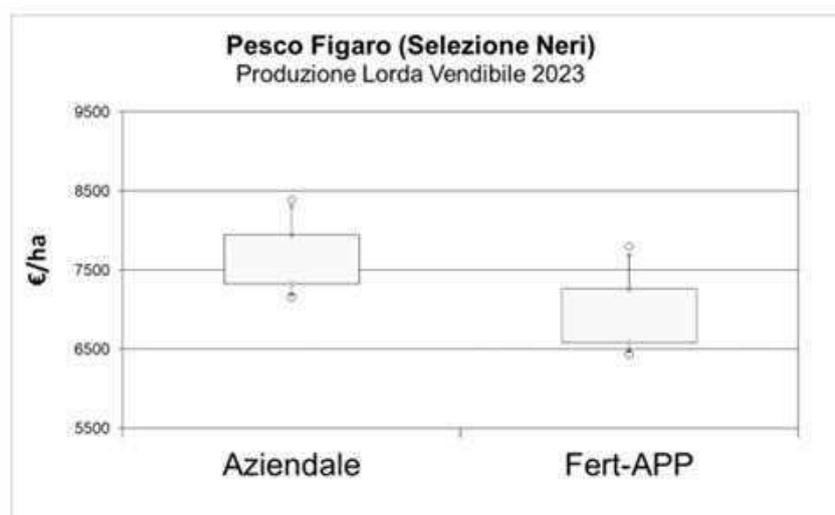


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenute nel 2023.

Valutazione dell'accumulo di sostanza secca e dell'assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca e dei principali elementi, ripartita in totale, biomassa fogliare, branche e bacche. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- alla fioritura;
- all'inizio dell'ingrossamento dei frutti;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nelle figure 8a, 8b, 8c e 8d sono riportate le curve relative all'accumulo di sostanza secca

per ettaro ottenute durante la prova per le tesi a confronto, ripartito in biomassa fogliare, branche, bacche e totale. È stato registrato un maggior accumulo di sostanza secca totale della tesi “aziendale”, rispetto a quella “fertirrigata”, così come per l’accumulo di sostanza secca nelle branche che però ha mostrato differenze minori. È stato registrato un maggior accumulo di sostanza secca fogliare della tesi “Aziendale”, rispetto a quella “fertirrigata” mentre non si sono evidenziate differenze nell’accumulo di sostanza secca nei frutti.

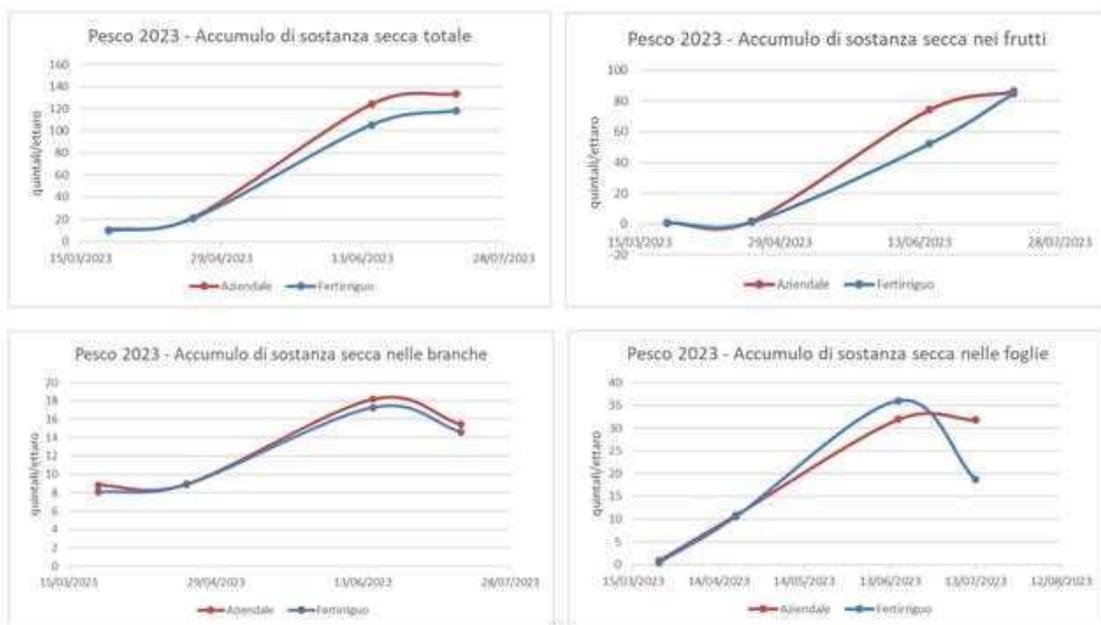


Fig. 8a, 8b, 8c e 8d: Dinamica dell’accumulo di sostanza secca.

Curve di assorbimento dell’azoto

Nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d sono invece riportate le curve relative all’assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale, branche, vegetazione e bacche.

La tesi aziendale mostra in generale un accumulo maggiore di sostanza secca rispetto alla tesi fertirrigata.

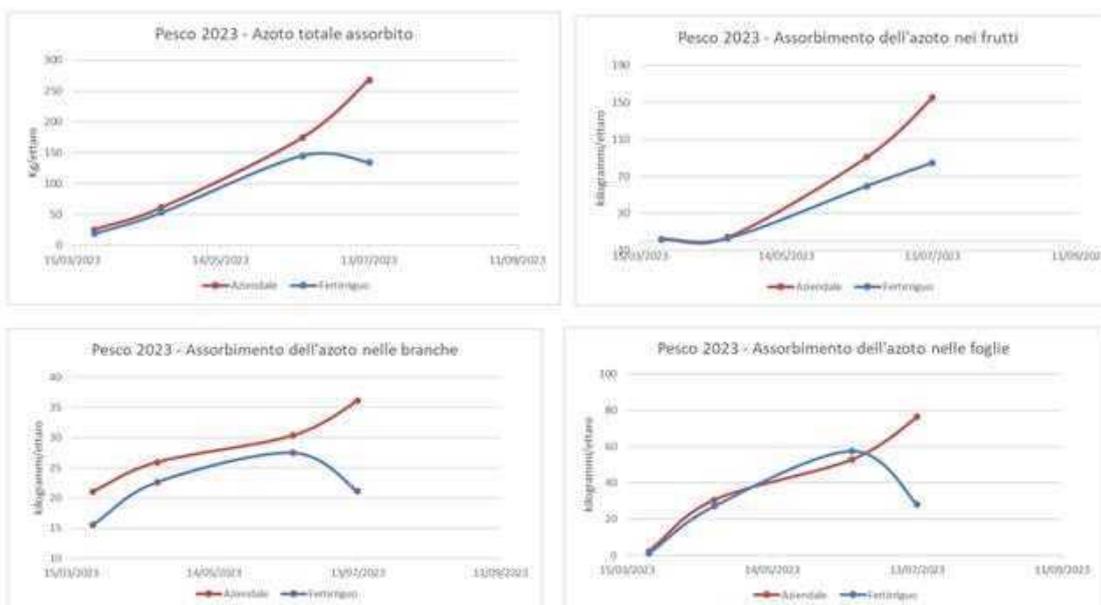


Fig. 9a, 9b, 9c e 9d: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.

Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato ipotizzando una resa attesa di 400 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Fabbri" è risultato essere maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del fosforo

Nelle figure 10a, 10b, 10c e 10d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito sempre tra totale, branche, foglie e bacche. La tesi aziendale mostra un accumulo di fosforo maggiore sia per quanto riguarda il fosforo totale assorbito che per quello assorbito dalle foglie. Non vengono invece registrate differenze tra le tesi per quanto riguarda l'assorbimento di fosforo nei frutti e nelle branche.

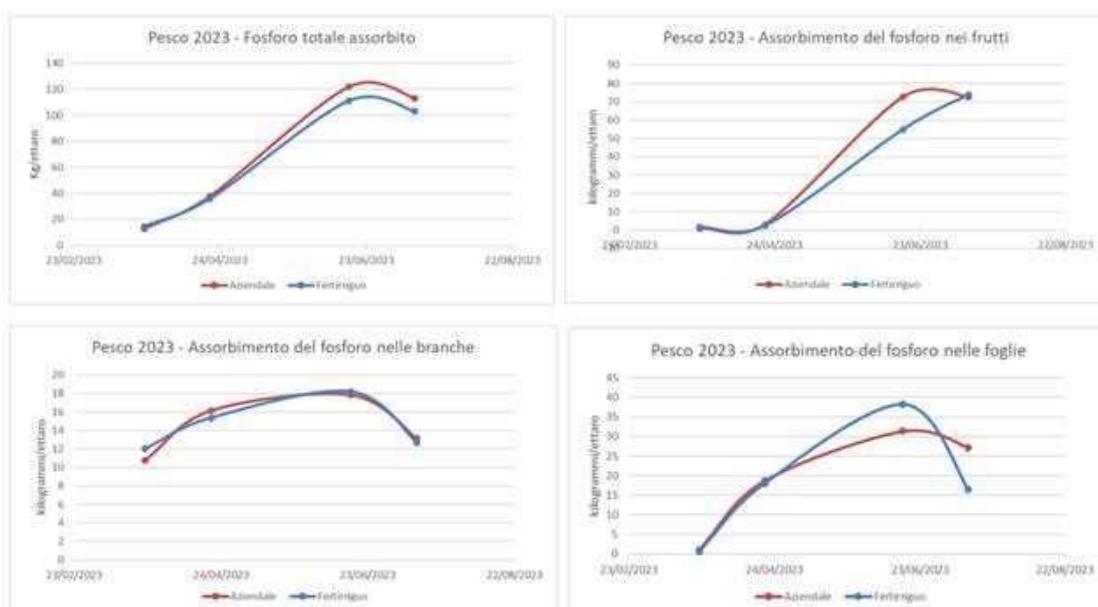


Fig. 10a, 10b, 10c e 10d: Dinamica dell'assorbimento del fosforo.

Il fabbisogno di fosforo stimato ad inizio stagione è stato in linea con gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a 11b, 11c e 11d sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro per le due tesi a confronto, ripartito tra totale, branche, foglie e bacche. La tesi aziendale mostra in generale un accumulo maggiore di sostanza secca rispetto alla tesi fertirrigata.

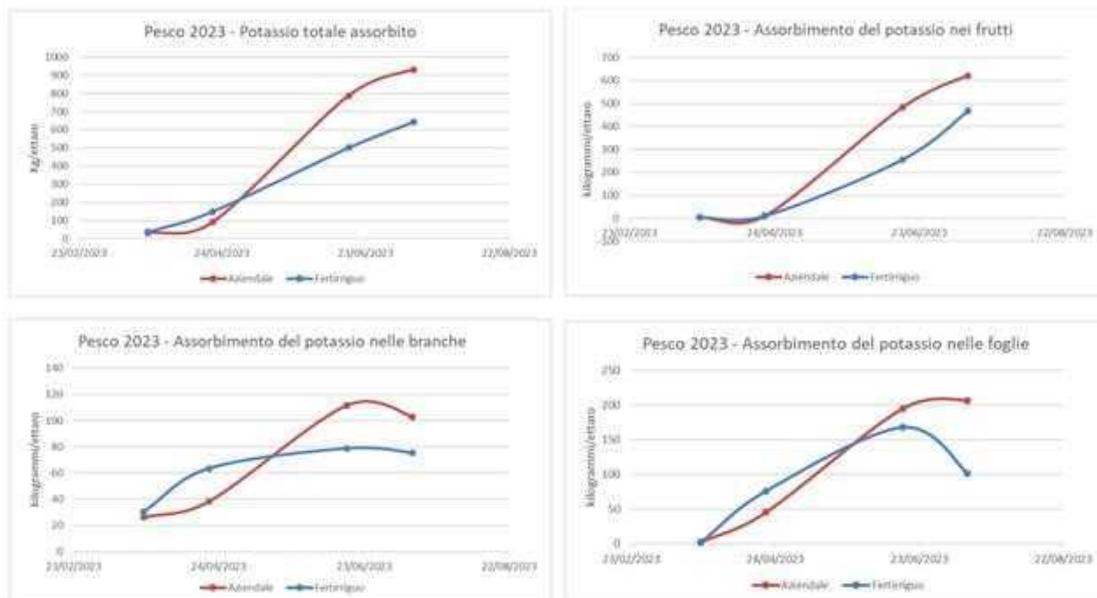


Fig. 11a 11b, 11c e 11d: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Il fabbisogno stimato ad inizio stagione per il potassio è stato inferiore rispetto l'effettiva quantità assorbita dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato (Fig. 12). Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati. Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo.



Fig. 12: Lisimetro a suzione: conformazione (sx) e suo posizionamento sulla coltura (dx).

Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del

frazionamento temporale. Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni concentrate in pochi interventi. Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nella figura 13 è riportato l'andamento dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova.



Fig. 13: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: "Fabbri".

Fragola

Per la coltura della fragola sono state messe a confronto due strategie di fertilizzazione: una aziendale e una fertirrigua.

La prova è stata effettuata in due tunnel di complessivi circa 500 m², presso l'Azienda Agricola Fabbri, suddividendo in sei parcelle: due strategie replicate tre volte (Fig. 1). Il trapianto della coltura è avvenuto il primo anno in data 20 agosto 2022, impiegando l'ibrido "Joly", con un sesto di impianto di 0,8 m fra le file e di 0,30 x 0,35 m sulla bina e con una densità teorica di 41.667 piante per ettaro.



Fig. 1: Impianto della coltura.

Andamento meteorologico e irrigazioni

L'andamento meteorologico è risultato caldo e siccitoso durante quasi tutto il ciclo colturale del pesco con piogge abbondanti solo nella prime due decadi di maggio, le quali hanno determinato la totale sospensione degli interventi irrigui in quel periodo. Di conseguenza, le irrigazioni effettuate seguendo il bilancio idrico di IRRINET (Fig. 2), con

restituzione del 100 % dell'evapotraspirato, sono risultate essere per il sito:

- Az. "Fabbri"
 - 65.62 mm,
 - frazionati in 7 interventi con volumi medi di circa 9.37 mm.



Fig. 2: Andamento meteorologico e irrigazioni presso l'Azienda Agricola Fabbri.

Gestione delle fertilizzazioni

I fabbisogni nutritivi sono stati determinati a partire dalla dotazione iniziale dei terreni, la precessione colturale, le immobilizzazioni e dalle asportazioni, considerando una produzione attesa di 300 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Fabbri". Per la determinazione della dotazione iniziale del suolo, è stato prelevato un campione di suolo su un orizzonte di 50 cm, sottoponendolo ad analisi chimico-fisiche di routine, facendo un mix di 3 punti di prelievo eseguiti sulla diagonale dell'appezzamento. Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet sviluppato sulla base dell'ultima versione dell'applicativo per la predisposizione del piano di fertilizzazione della Regione Emilia-Romagna, che a sua volta segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata regionale. Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti per la Fragola, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere di 142 kg/ha di N, 87 kg/ha di P₂O₅ e 0 kg/ha di K₂O. Di seguito, in figura 3, è riportato lo screenshot della schermata dell'applicativo.

Bilancio nutritivo (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fabbisogno annuale	142,0	86,1	0,0

Fig. 3: Fabbisogno nutritivo "Fabbri".

Il frazionamento dell'azoto e del fosforo è avvenuto distribuendo una quota di fondo e la restante in fertirrigazione, veicolandola con le acque di irrigazione. La differenziazione fra le tesi è stata ottenuta frazionando maggiormente in fertirrigazione la tesi Fertirrigata, seguendo il consiglio dell'applicativo. Per le distribuzioni in fertirrigazioni sono state impiegate formulazioni ad elevata solubilità, per consentirne il loro scioglimento in acqua. Per la determinazione dei quantitativi di nutrienti da distribuire ad ogni intervento fertirriguo, è stato adottato l'applicativo Fert-Irrinet, che calcola il bilancio giornaliero tra apporti fertilizzanti e consumi di nutrienti. A partire dalla dinamica di assorbimento degli elementi reperita in letteratura, dalle buone pratiche agronomiche, dall'operatività di campo, sono stati individuati una prima serie di parametri di calcolo dell'algoritmo per la gestione delle fertilizzazioni azotate, fosforiche e potassiche, come descritto nell'azione 3.1.

Risultati produttivi, qualitativi, economici e di efficienza d'uso dell'azoto

La raccolta è stata effettuata in maniera scalare in funzione del progressivo grado di maturazione. I dati sono stati raccolti prendendo come riferimento una pianta

rappresentativa per ogni replica ed effettuando i seguenti rilievi sperimentali (Fig. 4):

- produzione areica, con distinzione tra totale, commerciale e scarto
- suddivisione per classi di pezzatura,
- sostanza secca e brix,



Fig. 4: Particolare dei rilievi sperimentali.

I risultati ottenuti non mostrano differenze significative tra le diverse tecniche (Fig. 5).

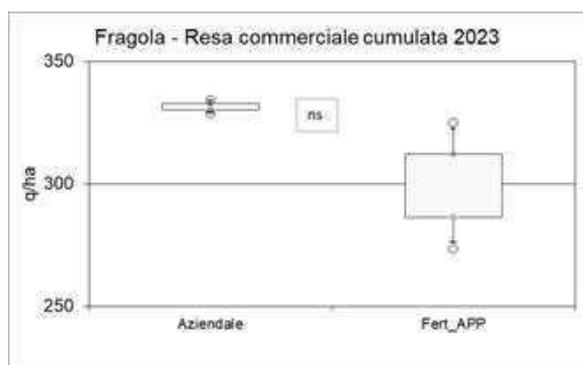


Fig. 5: Rese commerciali ottenute: “Fabbri”.

Sulla base delle rese e degli apporti azotati, è stata anche calcolata l'efficienza di utilizzo dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency). I risultati sono stati ottenuti a parità di apporti azotati, variando solo la distribuzione temporale. Seppur mediamente più efficiente la strategia aziendale, la maggiore ripartizione temporale non ha fatto osservare differenze statisticamente significative (Fig. 6).

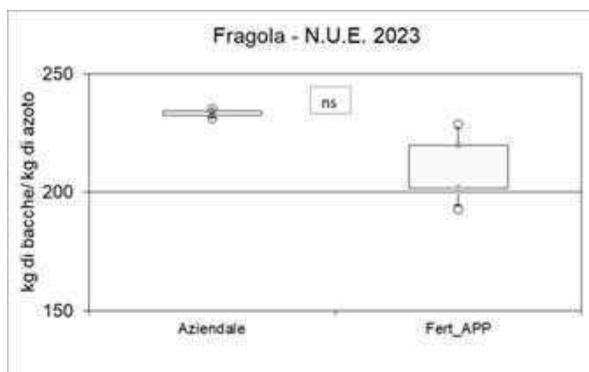


Fig. 6: Efficienza di utilizzo dell'azoto ottenuta: “Fabbri”.

L'ultimo, ma non meno importante aspetto preso in considerazione, riguarda le valutazioni economiche dei risultati ottenuti. La strategia aziendale ha registrato un incremento di produzione lorda vendibile maggiore ma non significativa, rispetto alla tesi

fertirrigata (Fig. 7).

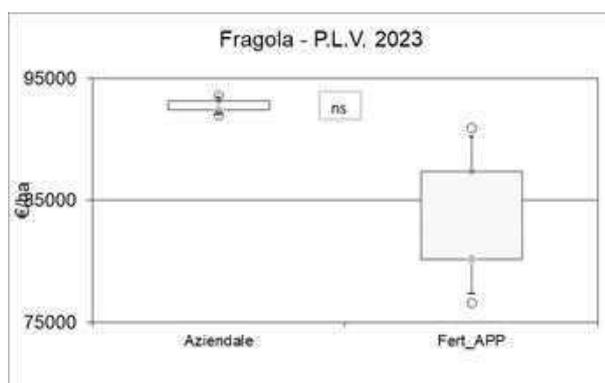


Fig. 7: Produzioni Lorde Vendibili ottenute nel 2023.

Valutazione dell'accumulo di sostanza secca e dell'assorbimento di azoto, fosforo e potassio.

Durante la prova sono stati effettuati rilievi distruttivi delle piante per determinare l'accumulo di sostanza secca totale e dei principali elementi, ripartita in biomassa totale, fogliare, radici e frutti. Il materiale campionato è stato sottoposto ad analisi chimiche, previa essiccazione in stufa ventilata a 70°C per 72 ore.

I rilievi sono stati eseguiti in corrispondenza delle fenofasi tipiche della coltura:

- al trapianto;
- ad inizio fioritura;
- in corrispondenza delle raccolte.

Accumulo di sostanza secca

Nelle figure 8a, 8b, 8c e 8d sono riportate le curve relative all'accumulo di sostanza secca per ettaro ottenute durante la prova per le tesi a confronto, ripartito in totale, fogliare, radici e frutti. L'accumulo di sostanza secca nei frutti della tesi "Aziendale" è risultata maggiore rispetto a quella "Fertirrigata". L'accumulo di sostanza secca totale è risultata maggiore nella tesi "Fertirrigata" rispetto a quella "Aziendale" così come per quanto riguarda l'accumulo di sostanza secca nelle radici e nelle foglie.

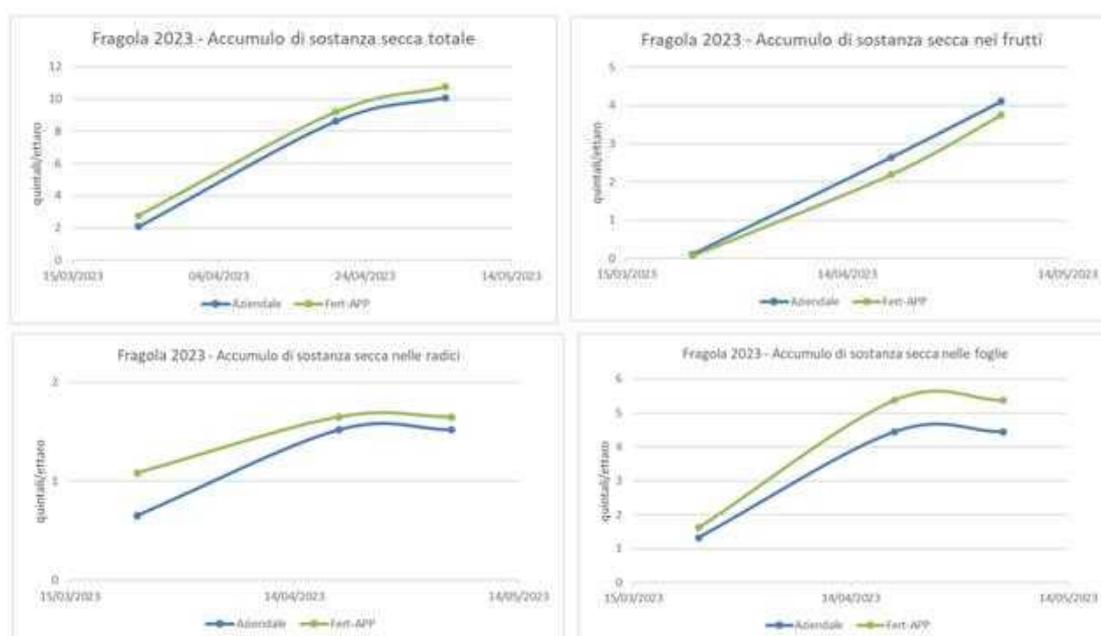


Fig. 8a, 8b, 8c e 8d: Dinamica dell'accumulo di sostanza secca.

Curve di assorbimento dell'azoto

Nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento di azoto (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartito tra vegetazione, frutti, radici e totale. La distribuzione frazionata dell'azoto mostra: nelle radici, nella vegetazione e nel totale della vegetazione assorbimenti maggiori rispetto alla tesi aziendale. Per quanto riguarda i frutti la tesi aziendale ha registrato un accumulo maggiore di azoto rispetto a quella fertirrigata.

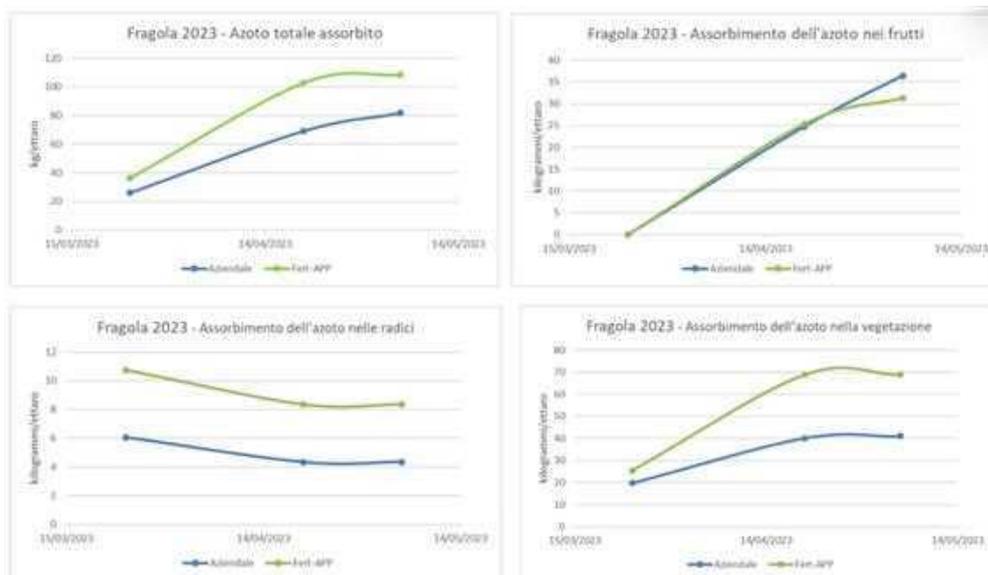


Fig. 9a, 9b, 9c e 9d: Dinamica dell'assorbimento dell'azoto.

Il fabbisogno di azoto calcolato ad inizio stagione, stimato ipotizzando una resa attesa di 300 q/ha per la prova presso l'Azienda Agricola "Fabbri", è risultato essere maggiore rispetto agli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del fosforo

Nelle figure 10a, 10b, 10c e 10d sono invece riportate le curve relative all'assorbimento del fosforo (kg/ha) ottenute durante la prova per le due tesi a confronto, ripartite sempre tra totale, radici, vegetazione e frutti. La distribuzione frazionata del fosforo mostra, in generale, assorbimenti maggiori rispetto alla tesi aziendale.

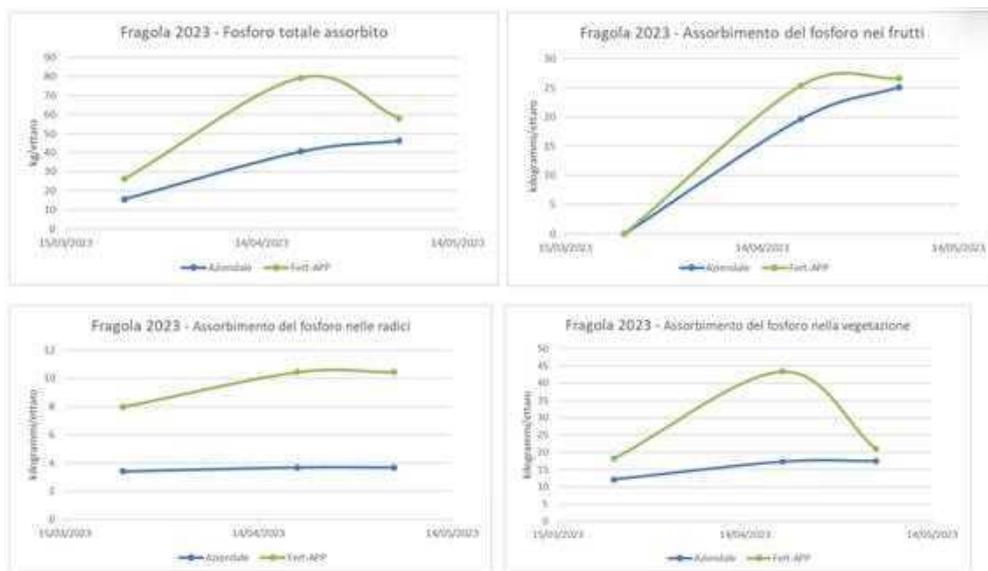


Fig. 10a, 10b, 10c e 10d: Dinamica dell'assorbimento del fosforo.

Il fabbisogno di fosforo stimato ad inizio stagione è risultato maggiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura.

Curve di assorbimento del potassio

Nelle figure 11a 11b, 11c e 11d sono riportate le curve relative all'assorbimento del potassio per ettaro, per le due tesi a confronto, ripartito tra totale, vegetazione, radici e frutti. La distribuzione frazionata del potassio mostra assorbimenti maggiori nel totale del potassio assorbito, nelle radici e nella vegetazione, rispetto alla tesi aziendale.

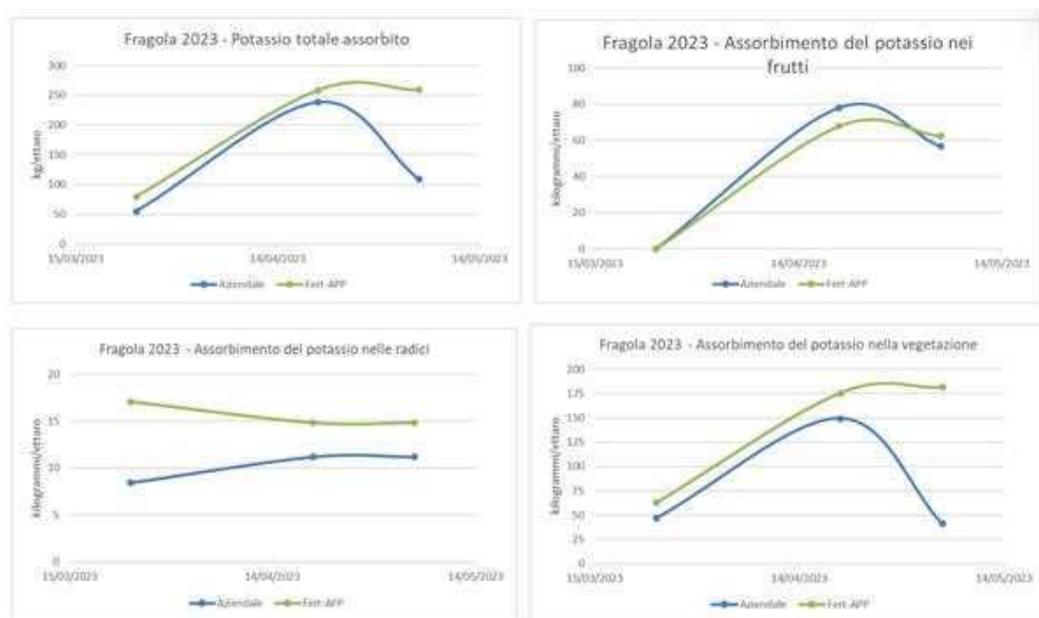


Fig. 11a 11b, 11c e 11d: Dinamica dell'assorbimento del potassio.

Il fabbisogno di potassio stimato ad inizio stagione è stato inferiore rispetto gli effettivi quantitativi assorbiti dalla coltura, la restante parte è stata integrata grazie alla dotazione iniziale del terreno.

Valutazione delle perdite di azoto minerale per lisciviazione

Durante la prova, per valutare il dilavamento dei nitrati sono stati posizionati, alla profondità di circa 60 - 70 cm, oltre lo strato esplorato dalle radici, 4 lisimetri a suzione (2 tesi x 2 repliche) per la captazione del lisciviato (Fig. 12). Le soluzioni circolanti intercettate sono state analizzate per il contenuto in nitrati. Quando non è stato possibile farlo sono stati prelevati, sempre alla medesima profondità (orizzonte 60-70 cm), campioni di suolo.

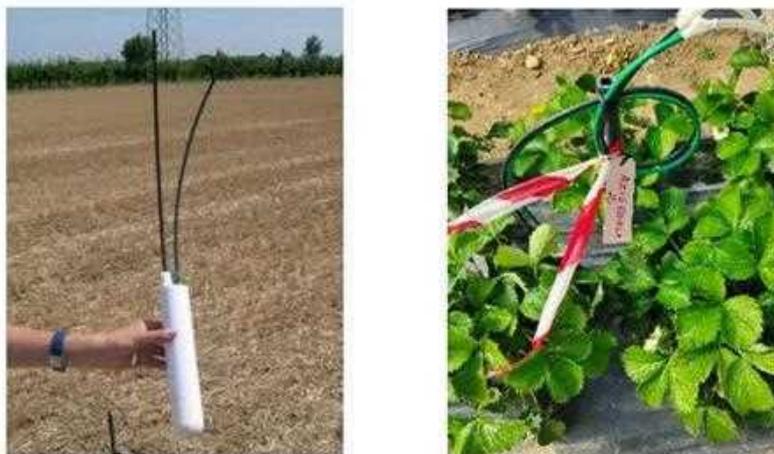


Fig. 12: Lisimetro a suzione: conformazione (sx) e suo posizionamento sulla coltura (dx).

Nonostante le dosi di nutrienti, in particolar modo di azoto, siano state distribuite in fertirrigazione in entrambe le tesi, seppur modulate nel tempo in maniera differenziata, le perdite per lisciviazione osservata dimostrano ancora una volta l'importanza del frazionamento temporale. Risulta molto importante, quindi, evitare distribuzioni concentrate in pochi interventi. Inoltre, i bassi volumi irrigui impiegati, interessando solo gli orizzonti superficiali, riducono i movimenti azotati mantenendoli concentrati nello strato maggiormente esplorato dalle radici. Nella figura 13 è riportato l'andamento dei contenuti di azoto nitrico, alla profondità di 60-70 cm, durante la prova.

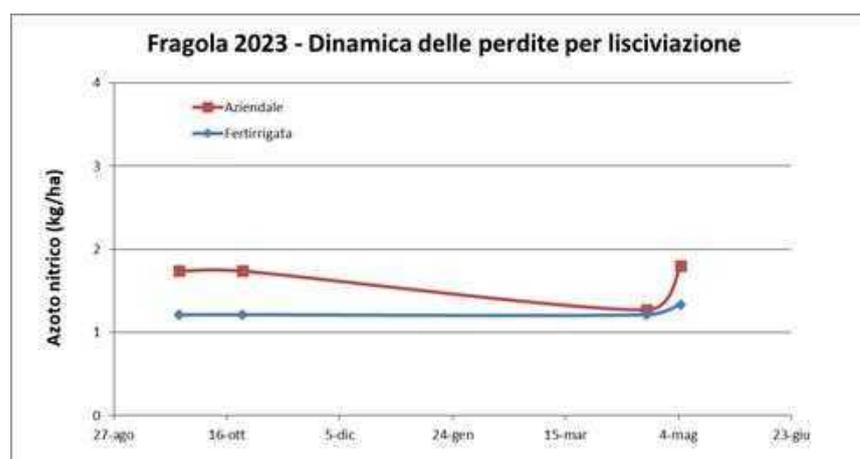


Fig. 13: Perdite di azoto per lisciviazione dei nitrati: "Fabbri".

Valutazione in campo di sonde innovative per la misurazione dei principali elementi nutritivi del suolo in tempo reale (N, P e K)

Nell'ambito di questa azione, sono state acquisite sonde innovative per il monitoraggio dei parametri nutritivi allo scopo di valutarne il funzionamento.

Queste tipologie di sensori sono tutte accomunate, per quanto riguarda la determinazione della concentrazione di N, P e K, dal medesimo principio di funzionamento che è di tipo conduttimetrico, ovvero, si basano sulla misura della conducibilità elettrica di una soluzione elettrolitica che è funzione sia della concentrazione ionica che delle specie in essa presenti. Per loro natura, infatti, ogni elettrolita possiede una specifica capacità di condurre corrente, anche se essa è direttamente proporzionale alla concentrazione, indipendentemente dal tipo di ione, in particolar modo per quelli deboli come nitrati e fosfati. Il sensore, misurando la conducibilità elettrica, calcola la concentrazione di N, P e K in base a una curva di calibrazione predeterminata. In definitiva, questi sensori restituiscono valori indiretti della concentrazione di N, P e K derivati dalla conducibilità elettrica misurata e per questo sono fortemente influenzati anche dal livello di temperatura e di umidità del mezzo in cui operano.

Per l'attività prevista si è proceduto inizialmente con l'individuazione di dispositivi presenti in commercio in grado di monitorare la concentrazione di azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) nel suolo, i quali sono stati sottoposti successivamente a validazione sia in laboratorio che in campo. Nell'azienda agricola Coltivare Fraternità sono state svolte le attività in campo di monitoraggio e rilevamento dati tramite i dispositivi elencati in tabella 1.

L'indagine ha permesso di individuare tre tipologie differenti, di cui due multi-parametrici e uno mono-parametrico. Nella tabella 1 si riportano le specifiche di ciascun sensore.

Tab. 1: Sensori oggetto di test.

Dispositivo	Variabile misurata	Range di misura	Risoluzione	Accuratezza
JXBS-4001-BXSZD 	T [°C]	-40 / +80	0,1	± 0,5
	Umidità [% V]	0 – 100	0,1	± 3
	Ecw [μS/cm]	0-1000	10	-
	pH [- log [H ⁺]]	3 – 9	0,01	± 0,3
	N [mg/kg]	0 - 1999	1	± 2 (%)
	P [mg/kg]			
K [mg/kg]				
JXBS-3001-TR-RS 	N [mg/kg]	0 - 1999	1	± 2 (%)
	P [mg/kg]			
	K [mg/kg]			
JXBS-3001-TDR 	N [mg/kg]	0 - 1999	1	± 3 (%)
	P [mg/kg]			
	K [mg/kg]			

Per valutare la risposta dei sensori in diverse condizioni operative, sono state create ad hoc soluzioni mono-elemento (N, P e K) e combinate tra di loro per ottenere un mix NPK, sottoponendo i sensori a concentrazioni note crescenti degli elementi e conducendo prove sia in acqua che a contatto con il suolo.

Per la preparazione delle soluzioni madri sono stati impiegati: acido nitrico, acido fosforico e nitrato di potassio, utilizzando acqua deionizzata per la loro preparazione, alla quale sono stati aggiunti gli elementi N, P e K in concentrazioni note, come riportato in tabella 2.

Tutte le rilevazioni sono state effettuate a temperatura ambiente e pH neutro, mantenendolo a valori il più possibile vicini a 7 tramite aggiunta di acidi (HCl) e basi forti (NaOH), ed eseguendo misure su tre repliche. I test effettuati su suolo sono avvenuti in ambiente controllato (vaso) su un terreno di medio impasto, le cui caratteristiche fisiche vengono riportate all'interno della tabella 3.

Le letture effettuate dagli strumenti sono state messe a confronto con strumentazione primaria opportunamente tarata, come nello schema riportato nella tabella 4

Tab. 2: Soluzioni madri adottate

Soluzione madre	Titolo			Azoto [mg - ml / litro]			
	NO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	25	50	75	100
Acido Nitrico	69			0,1605	0,3209	0,4814	0,6418
Acido Fosforico		85					
Nitrato di Potassio	13	0	46				

Soluzione madre	Fosforo [mg - ml / litro]				Azoto-Potassio [mg / litro]							
	50	100	150	200	28,26	100	56,52	200	84,78	300	113,04	400
Acido Nitrico												
Acido Fosforico	0,1347	0,2694	0,4042	0,5389								
Nitrato di Potassio						0,262		0,524		0,786		1,048

Sabbia (%)	42,13
Limo (%)	46,54
Argilla (%)	12,22
Umidità alla CIC (% volume)	19,02
Umidità al PA (% volume)	9,12
Acqua disponibile (% volume)	9,91
PSA (kg/dm ³)	1,313

Tab. 3: Caratteristiche del suolo utilizzato nei test.

Tab. 4: Strumentazione di riferimento utilizzata.

Variabile misurata	Strumento utilizzato	Risoluzione	Accuratezza
T [°C]	RTD Thermometer – Pt385	0,1 °C	± 0,05 %rdg + 0,2 °C
pH	Hanna Instruments - HI98140	0,01 – log [H ⁺]	±0,01
Ecw [μS/cm]	WTW - LF 330	0,1 mV/1 mV	±0,2 mV/±1mV
Umidità [% s.s.]	INSTRUMENTS M-400	0 - 100 %	± 0,01 %
PSA [kg/dm ³]	Eijkelkamp (anello)	1 – 2 [kg/dm ³]	+ 0,01 [kg/dm ³]
N [mg/kg]	DR 1900 HACH-LANGE	0,23 – 13,5	± 0,01 ppm
P [mg/kg]		0,05 – 1,5	± 0,01 ppm
K [mg/kg]		-	-

Risultati

Si riportano di seguito in forma grafica le correlazioni osservate.

1. JXBS-4001-BXSZD

- Test effettuato con soluzioni mono-elemento



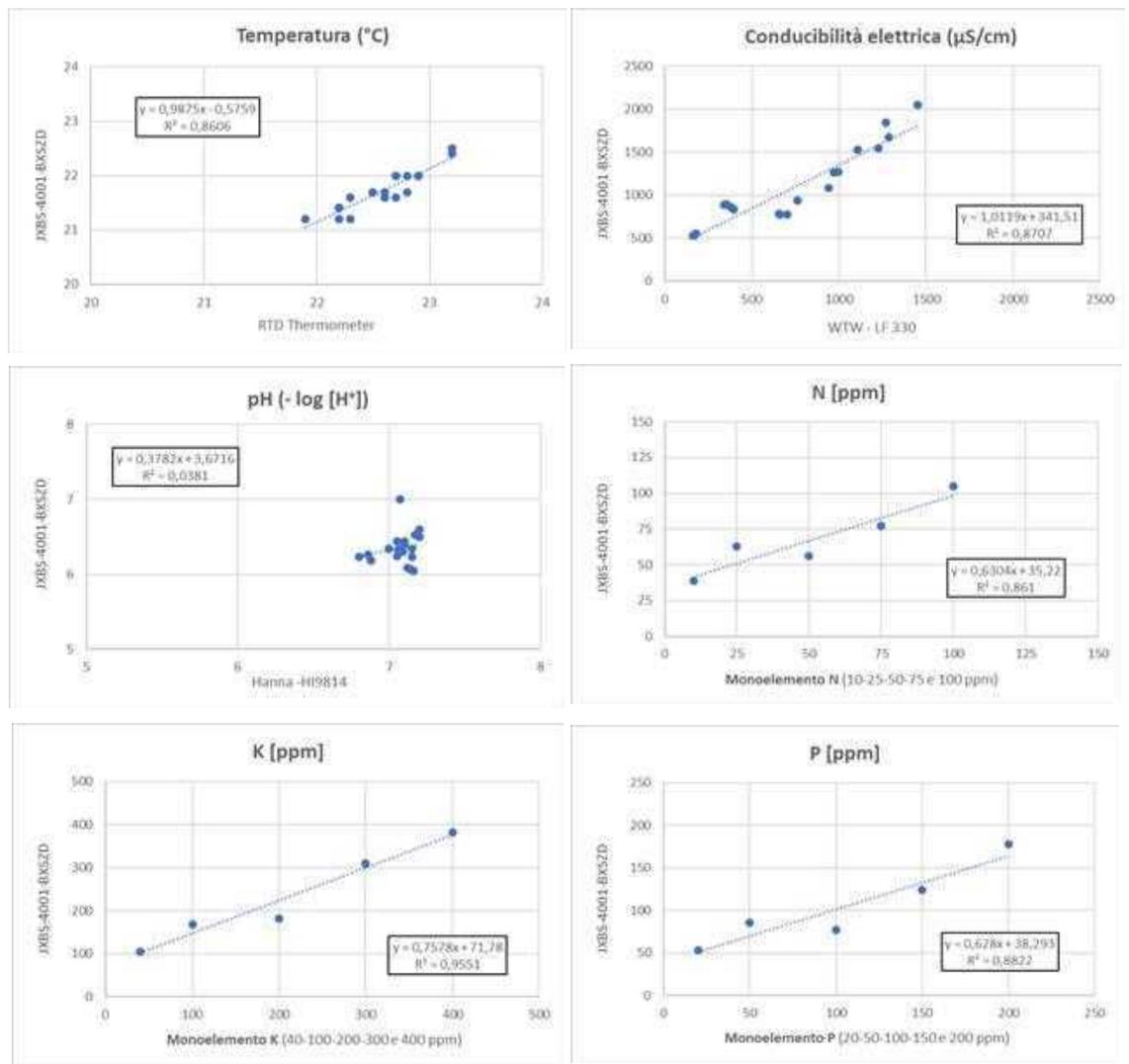


Fig. 1: Misurazione parametri su soluzioni mono elemento con JXBS-4001 BXSZD

- Test effettuato con soluzioni multielemento (mix NPK)

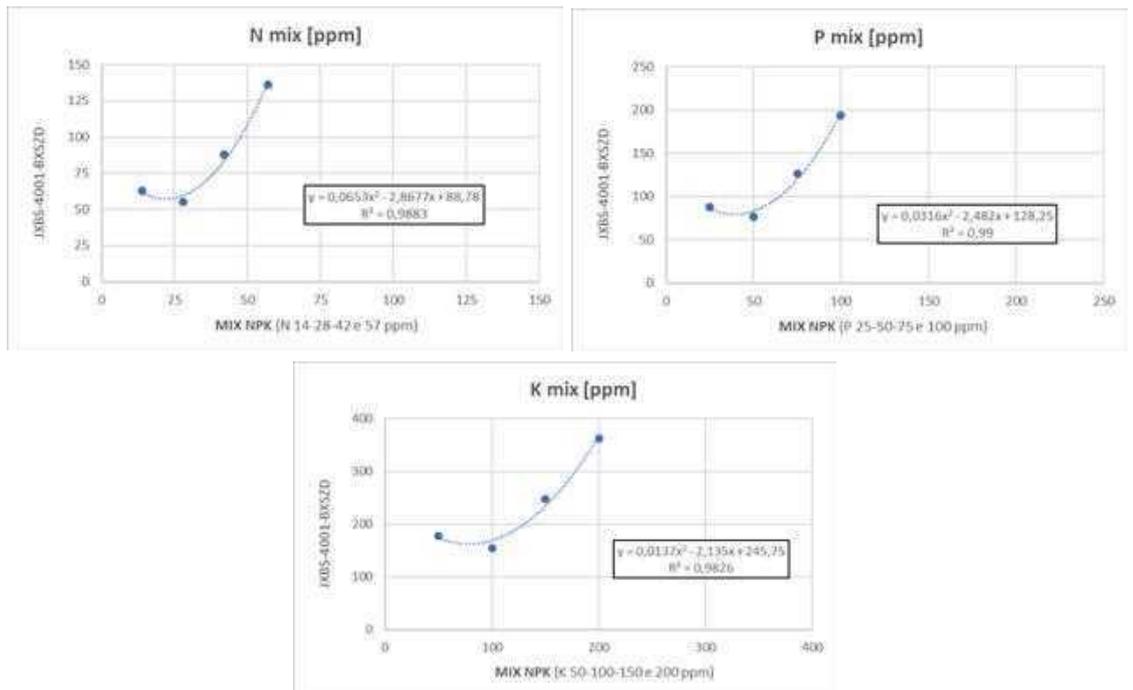


Fig. 2: Misurazione parametri su soluzioni multielemento con JXBS-4001 BXSZD

- Test effettuato su suolo con soluzioni multielemento (mix NPK)

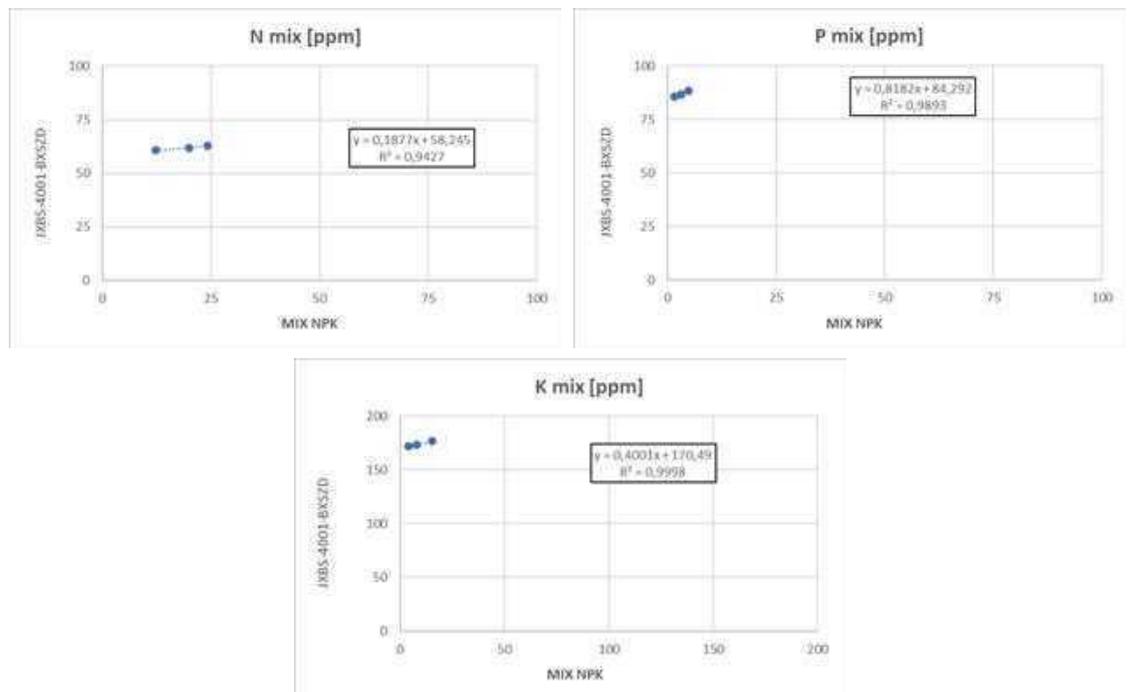


Fig. 3: Misurazione parametri su suolo con soluzioni multielemento con JXBS-4001 BXSZD

Per i parametri di base come temperatura, conducibilità elettrica e pH, meno per quest'ultimo, si è osservata una buona correlazione tra le misure rilevate dal sensore e quelle ottenute con gli strumenti di riferimento.

Per ciò che riguarda invece le variabili N, P e K, si denota una buona capacità del sensore nell'indagare le concentrazioni in soluzioni mono elemento (Fig. 1) mentre, nelle soluzioni con mix di elementi (Fig. 2), e ancor di più nelle misure fatte su suolo (Fig. 3), pur seguendo una tendenza relativa alle concentrazioni, non si sono osservate le stesse

precisioni nel discriminare il tipo di elemento e la relativa concentrazione.

In particolare, derivando la concentrazione dalla misura di conducibilità, la contemporanea presenza di più elementi ha come effetto la sovrastima degli effettivi contenuti mostrando un offset per le misure effettuate in soluzione rispettivamente di circa 90, 130 e 250 e per quelle effettuate su suolo di circa 60, 80 e 180.

2. JXBS-3001-TR-RS

o Test effettuato con soluzioni mono-elemento

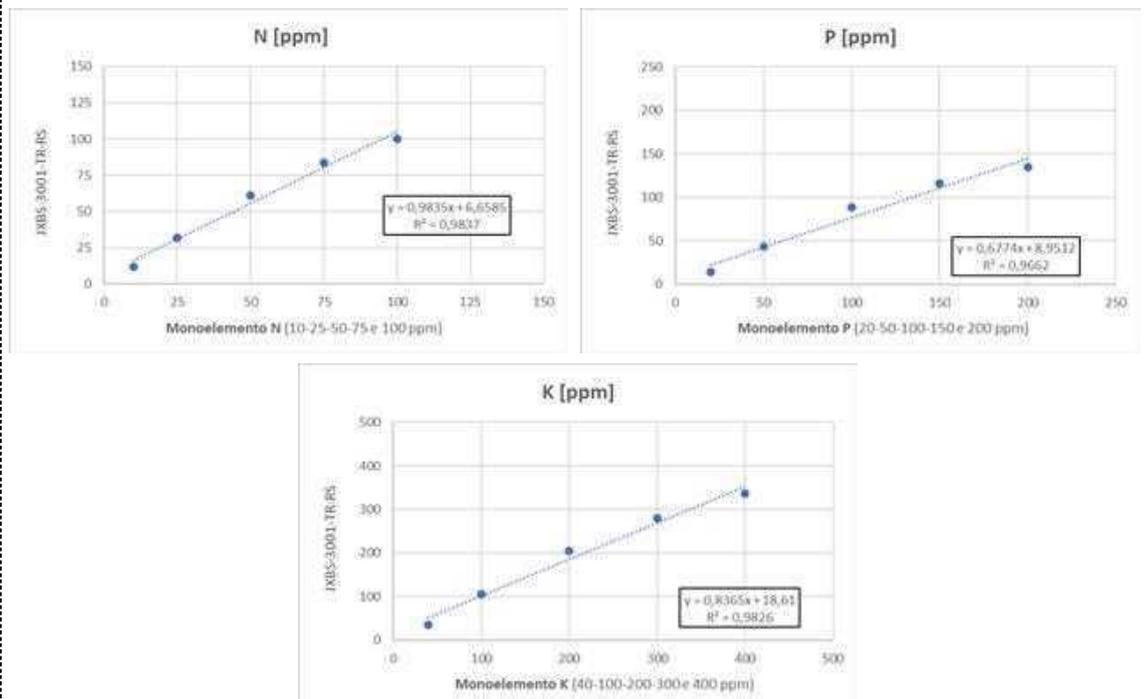


Fig. 4: Misurazione parametri su soluzioni mono elemento con JXBS-3001-TR-RS

- Test effettuato con soluzioni multielemento (mix NPK)

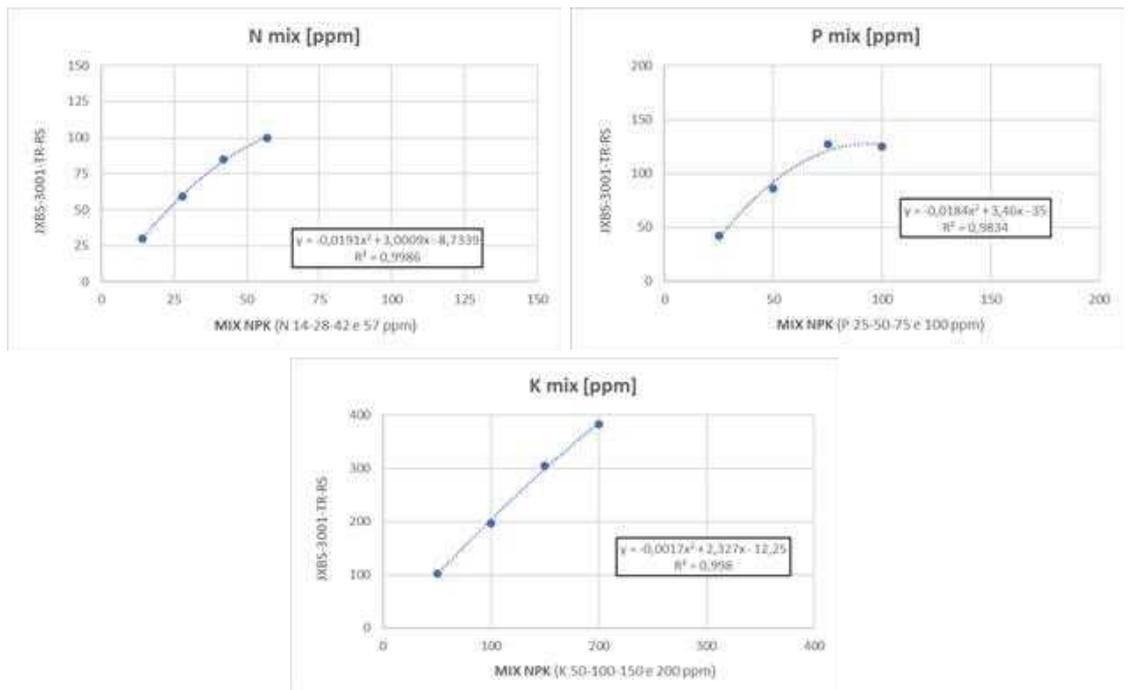


Fig. 5: Misurazione parametri su soluzioni multielemento con JXBS-3001-TR-RS

- Test effettuato su suolo con soluzioni multielemento (mix NPK)

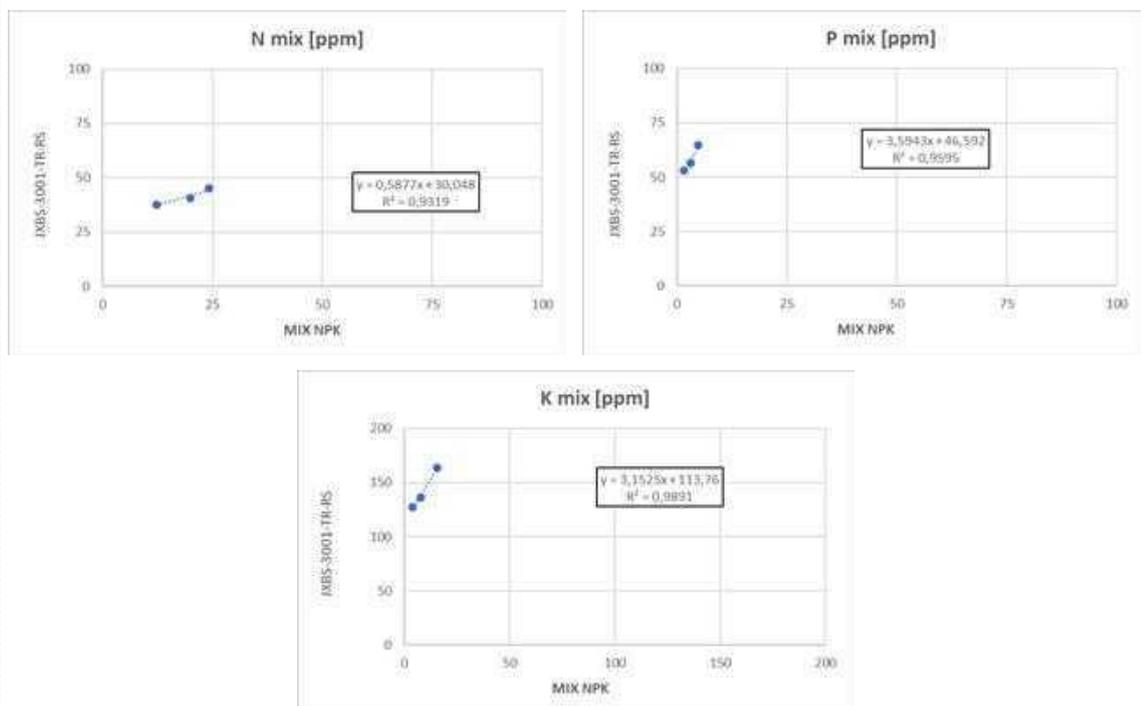


Fig. 6: Misurazione parametri su suolo con soluzioni multielemento con JXBS-3001-TR-RS.

Questa tipologia di sensori sono mono-parametrici e, pur derivando anch'essi la concentrazione dalla conducibilità, mostrano solo il valore di N, P e K. Il test su soluzioni mono elemento mette in luce una buona precisione del sensore nell'indagare l'elemento e la concentrazione di esso presente in acqua.

Tuttavia, anche in questo caso, all'interno delle soluzioni con più elementi disciolti e su

suolo, il risultato assoluto è disturbato dalla presenza degli elementi in mix. Tuttavia, rispetto ai precedenti, si è osservato un'accuratezza maggiore in tutte e tre le condizioni. Nel dettaglio, degni di nota sono soprattutto gli offset osservati per le misure effettuate su suolo risultati rispettivamente di circa 30, 50 e 110.

3. JXBS-3001-TDR



- Test effettuato con soluzioni mono-elemento

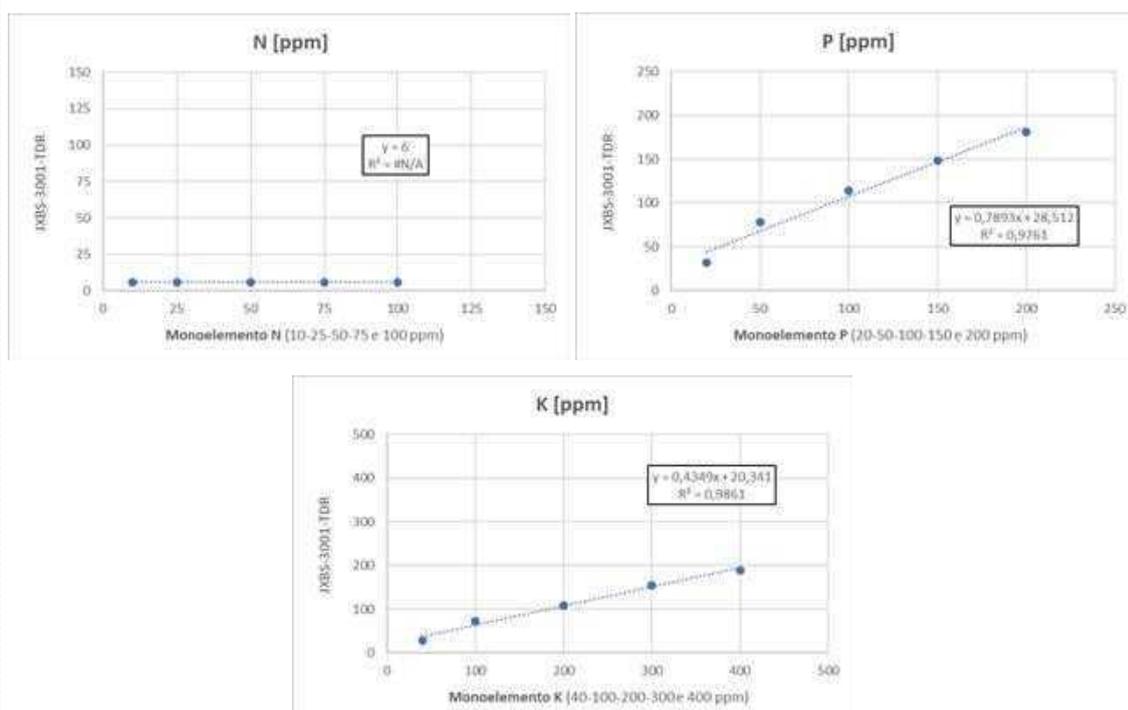


Fig. 7: Misurazione parametri su soluzioni mono elemento con JXBS-3001-TDR

- Test effettuato con soluzioni multielemento (mix NPK)

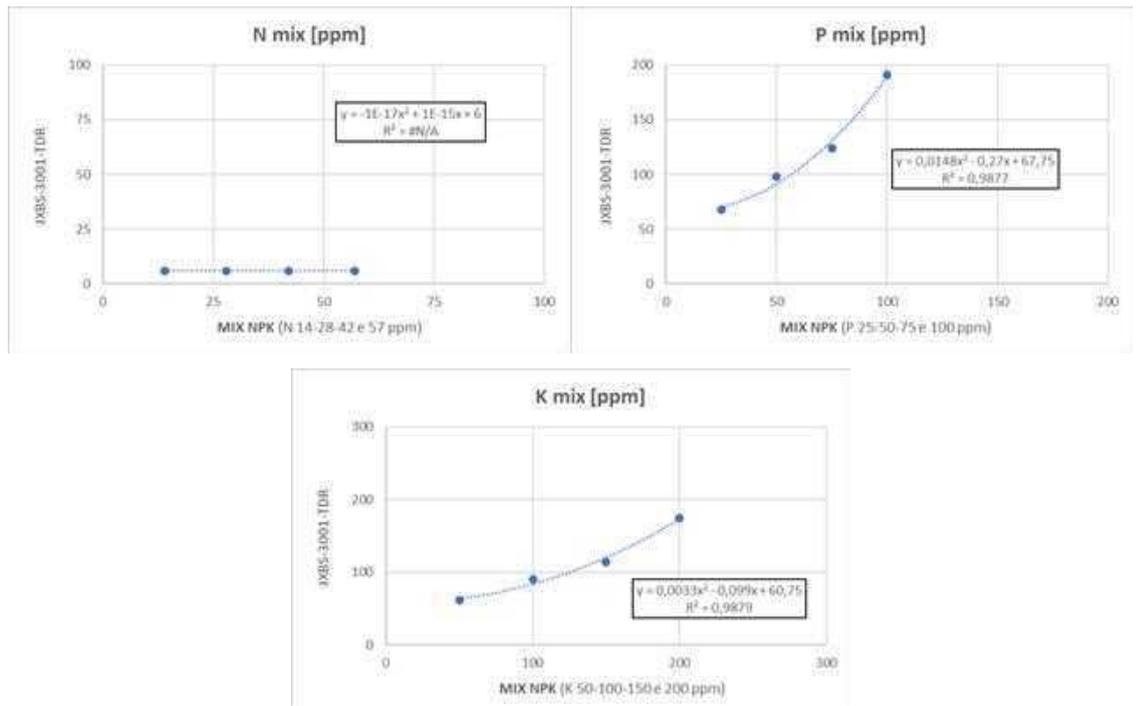


Fig. 8: Misurazione parametri su soluzioni multielemento con JXBS-3001-TDR.

- Test effettuato su suolo con soluzioni multielemento (mix NPK)

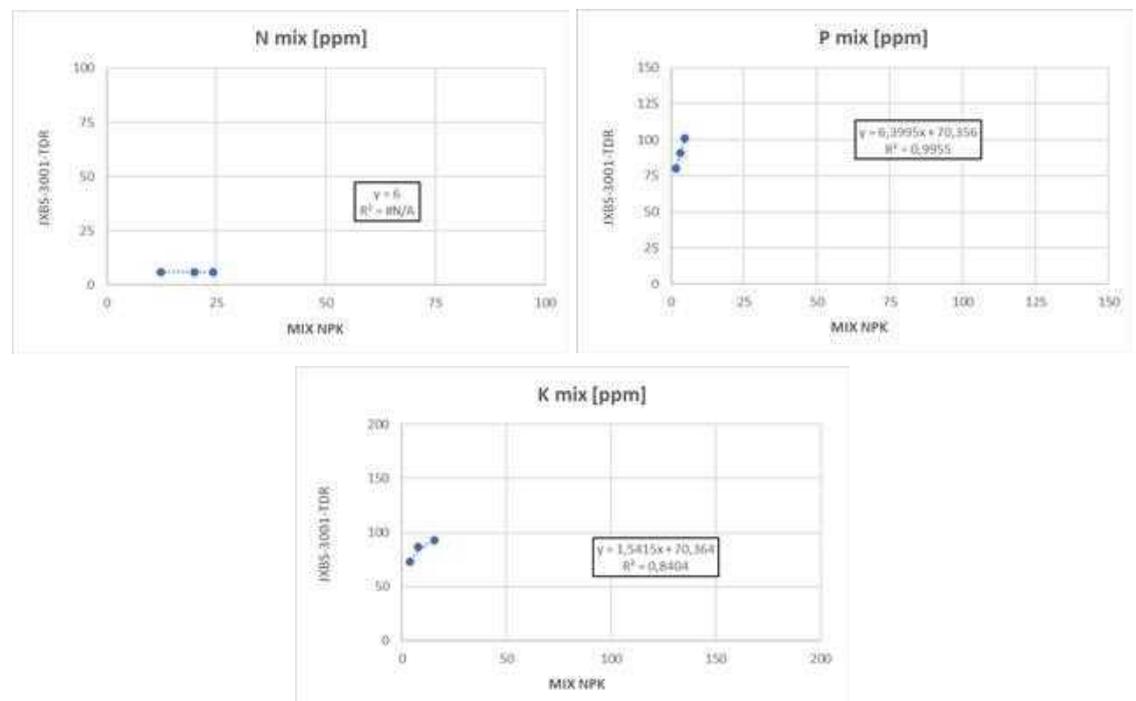


Fig. 9: Misurazione parametri su suolo con soluzioni multielemento con JXBS-3001-TDR.

Quest'ultima tipologia di sensori indagata, rispetto alla precedente, integra nuovamente in un unico strumento la misura di N, P e K. Ad eccezione della misura del contenuto di azoto, la cui lettura in tutte le condizioni rimane sempre ancorata ad un fondo scala di 6 ppm, per i test effettuati su soluzioni mono elemento, il sensore risulta essere sensibile

	<p>agli incrementi di concentrazione, pur mostrando differenti comportamenti tra gli elementi. Anche in questo caso, all'interno delle soluzioni con più elementi disciolti, il risultato è disturbato dalla presenza degli elementi in mix. Nel dettaglio, degni di nota sono soprattutto gli offset osservati per le misure effettuate su suolo risultati rispettivamente, ad esclusione dell'azoto, di circa 70 per entrambi.</p> <p>Conclusioni</p> <p>I test condotti sui sensori hanno fornito risultati eterogenei tra le diverse condizioni di misurazione con addirittura la restituzione di valori relativi a concentrazioni di elementi non presenti: come avvenuto nelle soluzioni mono elemento. Questo è dipeso dal fatto che la determinazione dei vari elementi presenti nel mezzo indagato dai sensori è derivata dalla conducibilità elettrica. Quindi, nelle condizioni in cui essa è strettamente dipendente dalla concentrazione di un singolo elemento, si riscontra un'ottima capacità da parte di tutti e tre i sensori nel determinarne in contenuto in soluzione, quando questa è invece frutto della contemporanea presenza di più elementi, le misure effettuate ne risentono dell'influenza, pur descrivendone con buona approssimazione il loro contenuto. Infine, nelle condizioni reali di campo, simulate con l'aggiunta di soluzioni multielemento, i risultati forniti dalla sensoristica di misura risultano essere influenzati anche dal substrato di coltivazione, che interagisce con gli elementi in esso presenti influenzandone la presenza in soluzione e quindi la loro disponibilità. In definitiva, i valori restituiti dai sensori non possono essere presi tal quali, ma dovranno essere dapprima corretti in maniera sito-specifica e poi interpretati in funzione del loro andamento osservandone nel tempo le oscillazioni.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta</p>

Azione 3.4 **Messa a punto di un sistema pilota in grado di automatizzare la gestione irrigua e fertirrigua degli impianti tramite il DSS FERTIRRINET e integrata all'interno di GIAS**

Unità aziendale responsabile: CER-CONSORZIO AGRIBOLOGNA

Descrizione delle attività: L'obiettivo di questa azione è quello di automatizzare l'impianto irriguo e fertirriguo sulla base delle ricette elaborate dal DSS/FERTIRRINET per ridurre gli interventi dell'operatore ed implementare i criteri razionali di irrigazione e fertilizzazione.

L'attività è stata articolata in due sotto azioni in specifico:

- *Definizione e implementazione dei protocolli operativi astratti (livello 1 del tool) per l'interconnessione con le centraline degli impianti irrigui*
- *Realizzazione del sistema pilota di automazione per una specifica centralina di controllo (livello 2 del tool) comprensivo di test operativo nel corso della stagione irrigua.*

Definizione e implementazione dei protocolli operativi astratti (livello 1 del tool) per l'interconnessione con le centraline degli impianti irrigui

In questa sotto azione sono stati definiti e implementati i protocolli operativi astratti (livello 1 del tool) per l'interconnessione con le centraline degli impianti irrigui. Questi comprendono anche le mappe di prescrizione per l'irrigazione a rateo variabile. La funzionalità è stata integrata in modalità nativa nella piattaforma GIAS e può quindi utilizzare i dati colturali e i dati da sensoristica prossimale e remota presenti.

Nel lavoro di integrazione tra GIAS e Fertirrinet è stato portato in GIAS il concetto di fertirrigazione, così come concepito su Irrinet/Irriframe (Fig.1)

Clicca sulla coltura per il menù		Descr	consumo oggi (mm)	data prevista irrigazione	volume irriguo (mm)	durata irrigazione (ore:minuti)	
58	POMODORINO DA INDUSTRIA	Prova	2,19	13/05/2024	4,7	4:44	Dettaglio >
Prossima fertilizzazione (kg/superficie)			13/05/2024	0 N	0 P:O ₂	10 K ₂ O	Dettaglio nutritivo >

SERRA >

Fig. 1: Specchietto del consiglio fertirriguo in Irriframe

È stata creata una sezione apposita sull'App GIAS (Fig. 2) dove il consiglio irriguo, presente anche nella sezione "Consiglio Irriguo" dell'App (Fig. 3), aggiunge anche i quantitativi di N-P-K richiesti per la fertirrigazione.

I massimali di nutrienti richiesti vengono presi dal disciplinare regionale che definisce la quantità massima di azoto, potassio e fosforo distribuibile.

Questi massimali, definiti per ogni regione, vengono presi dalla banca dati di GIAS per assicurare la conformità del consiglio, nel momento in cui il sistema viene interpellato.

Nell'App è stato portato anche il consiglio irriguo, già presente sul web nella sezione "DSS Irrigazione".



Fig. 2: Sezione "Consiglio Fertirriguo" dell'App GIAS



Fig. 3: Sezione “Consiglio Irriguo” dell’App GIAS

Realizzazione del sistema pilota di automazione per una specifica centralina di controllo (livello 2 del tool) comprensivo di test operativo nel corso della stagione irrigua.

In seguito all’installazione della centralina presso il centro sperimentale Acqua Campus è stata avviata la fase di realizzazione del codice per l’automazione dell’irrigazione e fertirrigazione. Le fasi di implementazione del codice hanno riguardato:

	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acquisizione degli accessi al webserver della centralina e della documentazione: In questa fase è stato prioritario ottenere autorizzazioni e credenziali necessarie per accedere al webserver della centralina. Contestualmente sono state acquisite le specifiche tecniche, i protocolli di comunicazione e i dettagli sulle funzionalità disponibili. 2. Studio degli end-point del webserver della centralina fertirrigua: Si è condotto un approfondito esame degli end-point del webserver della centralina fertirrigua. Questo processo ha compreso l'analisi della lista di API disponibili e dei relativi parametri, al fine di comprendere il processo di interazione con il sistema e quali informazioni possono essere recuperate o inviate. 3. Studio dei programmi implementabili nella centralina e verifica della prassi gestionale della stessa per la gestione delle operazioni di irrigazione e fertirrigazione: Un'analisi dettagliata è stata condotta per comprendere i programmi implementabili all'interno della centralina. Questo include la verifica della possibilità di gestire operazioni specifiche di irrigazione e fertirrigazione. Sono stati inoltre esaminati i protocolli di controllo, le regolazioni di flusso, e le interfacce con le componenti idrauliche ed elettromeccaniche. 4. Studio degli output di Irriframe e di Fertirrinet: È stata effettuata un'analisi approfondita degli output generati da Irriframe e Fertirrinet. Questo ha incluso lo studio delle informazioni fornite dal sistema di supporto alle decisioni per la fertirrigazione, valutando come tali dati possono essere utilizzati per ottimizzare le operazioni della centralina. 5. Progettazione del software: Sulla base delle informazioni acquisite dalle fasi precedenti, è stato avviato il processo di progettazione del software. Ciò ha compreso la definizione degli algoritmi, delle interfacce utenti, e la struttura generale del programma software, considerando la necessità di interfacciare in modo efficiente i dati provenienti da Irriframe e Fertirrinet con la centralina. 6. Sviluppo del codice: Con la progettazione completa, è stato avviato lo sviluppo effettivo del codice software. Questo passaggio ha coinvolto la scrittura, il test e l'ottimizzazione del codice, garantendo che il software implementasse in modo efficace le funzionalità previste e soddisfacesse i requisiti specifici del sistema di gestione delle centraline fertirrigue. 7. <u>Validazione</u> e test: Nella fase di validazione e test, l'automazione sviluppata viene sottoposta a verifiche approfondite. Ciò include test di robustezza, test di stress e verifica della conformità rispetto agli standard e alle specifiche stabilite. La validazione assicura che il sistema sia affidabile e aderente alle esigenze operative.
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta</p> <p>4</p>

Azione 3.5	Prove di campo per il controllo con metodi a basso impatto del Pythium
Unità aziendale responsabile	ASTRA - CONSORZIO AGRIBOLOGNA

Descrizione delle attività

L'obiettivo della prova è valutare l'efficacia di composti a basso impatto ambientale per contrastare il marciume causato da microrganismi appartenenti al genere *Pythium* attraverso prove in campo su zuccino. Sono stati confrontati diversi prodotti, utilizzabili anche in agricoltura biologica, di cui si hanno poche informazioni sull'efficacia a differenti dosaggi e tempi di applicazione. È importante approfondire questi temi per controllare le problematiche fitosanitarie che attaccano le colture con intensità diversa a causa dei cambiamenti climatici. Questi prodotti sono stati paragonati con un testimone non trattato e un trattamento chimico standard.

Materiali e metodi

È stata fatta una ricerca da parte del gruppo operativo per individuare i prodotti da confrontare nella prova, utilizzando le informazioni reperite dai disciplinari di produzione integrata e dall'esperienza professionale dei partecipanti. I prodotti scelti sono tutti contraddistinti da scarse informazioni sull'efficacia a diverse dosi e tempistiche di applicazione. La scelta è ricaduta sui prodotti indicati in Tabella 1, che insieme al controllo non trattato e al trattamento chimico standard rappresentano le 6 tesi utilizzate per la prova.

Tabella 1. Tesi sperimentali della prova

Tesi	Prodotto
1	Testimone non trattato (UTC)
2	Amylo x
3	Tusal
4	Remedier
5	Trianum – P
6	Previcur energy

L'azione ha previsto la realizzazione di una prova nell'arco dell'intero progetto, organizzata per valutare le performance dei formulati a basso impatto individuati dal gruppo operativo. La prova ha previsto lo sviluppo di 6 tesi replicate 4 volte. Le attività sono state effettuate in pieno campo presso l'azienda agricola Calegari, situata in Via Cerlacchia, 1 – 40054 Budrio (BO). (Figura 1 – 2)



Figura 1. Localizzazione della prova.



Figura 2. Superficie dedicata alla prova

Nella Tabella 2 sono indicate tutte le specifiche tecniche e agronomiche sul piano sperimentale utilizzato per la prova, la figura 3 rappresenta la disposizione dello schema sperimentale utilizzato.

Tabella 2. Specifiche tecniche della prova

Coltura	Zucchini chiaro bolognese	Densità [piante/m²]	1,25
Data trapianto	05/05/2023	Sesto d'impianto [m²]	0,4 x 0,2
Tesi [n]	6	Repliche [n]	4
Piante a replica [n]	20	Piante a tesi [n]	80
Superficie tesi [m²]	64	Schema sperimentale	BCR
Altitudine [m s.l.m.]	22	Sistema allevamento	Pieno campo

A	B	C	D
3	6	2	4
1	5	3	6
4	2	5	3
5	1	4	2
2	3	6	1
6	4	1	5

Figura 3. Schema sperimentale.

Le applicazioni per le 4 repliche sono state effettuate in data:

- A) 08/05/2023
- B) 23/05/2023
- C) 06/06/2023
- D) 28/06/2023

Nelle tabelle 3, 4, 5, 6, per ogni tesi e replica sono riportate le dosi di prodotto utilizzate e il volume di soluzione per ogni applicazione.

Tabella 3. Dosi di prodotto e volume di soluzione applicata per il timing A.

Tesi	Prodotti (A)	Dosaggio	Volume H ₂ O [L/ha]
1	UTC	-	-
2	Amylo x	3,5 L/ha	1800
3	Tusal	1,0 kg/ha	1800
4	Remedier	2,5 kg/ha	1800
5	Trianum – P	2,5 kg/ha	1800
6	Previcur energy	150 mL/hL	1800

Tabella 4. Dosi di prodotto e volume di soluzione applicata per il timing B.

Tesi	Prodotti (B)	Dosaggio	Volume H2O [L/ha]
1	UTC	-	-
2	Amylo x	3,5 L/ha	1800
3	Tusal	0,5 kg/ha	1800
4	Remedier	-	-
5	Trianum – P	-	-
6	Previcur energy	150 mL/hL	1800

Tabella 5. Dosi di prodotto e volume di soluzione applicata per il timing C.

Tesi	Prodotti (C)	Dosaggio	Volume H2O [L/ha]
1	UTC	-	-
2	Amylo x	-	-
3	Tusal	0,5 kg/ha	2000
4	Remedier	-	-
5	Trianum – P	1,0 kg/ha	2000
6	Previcur energy	-	-

Tabella 6. Dosi di prodotto e volume di soluzione applicata per il timing D.

Tesi	Prodotti (D)	Dosaggio	Volume H2O [L/ha]
1	UTC	-	-
2	Amylo x	-	-
3	Tusal	0,5 kg/ha	2500
4	Remedier	-	-
5	Trianum – P	1,0 kg/ha	2500

6	Previcur energy	-	-
---	-----------------	---	---

Per ogni prova, personale specializzato ha valutato gli effetti dei formulati applicati attraverso rilievi vegetativi, fitosanitari e produttivi quali:

- Misura del contenuto relativo di clorofilla nelle foglie tramite indice SPAD;
- Misura della densità e della salute della vegetazione tramite indice NDVI;
- Numero di piante morte;
- Stima del numero dei frutti per m² attraverso il conteggio dei tagli su catena fruttifera alla fine della raccolta.

Risultati

I dati raccolti dai rilievi vegetativi, fitosanitari e produttivi sono stati analizzati mediante analisi statistica ANOVA ($p > 0,05\%$ test Newman Keuls) al fine di valutare l'effetto dei prodotti saggiati sul contrasto del Pythium.

Indice SPAD

Il primo rilievo SPAD è stato effettuato il 26/05/2023. Il secondo rilievo SPAD è stato effettuato il 12/06/2023, mentre il terzo rilievo è stato effettuato il giorno 03/07/2023. La misura dell'indice SPAD è stata presa sulle foglie della parte apicale della pianta. Nel grafico è indicato l'indice SPAD medio preso su un campione di 40 foglie a replica, quindi 2 foglie a pianta a replica.

La tesi 4 (Remedier) ha evidenziato l'indice SPAD maggiore, seguito dalla tesi 5 (Trianum – P) e dalla tesi 6 (Previcur energy), essendo comunque tutte le tesi comprese in un range da 55,1 a 56,1. (Figura 4)

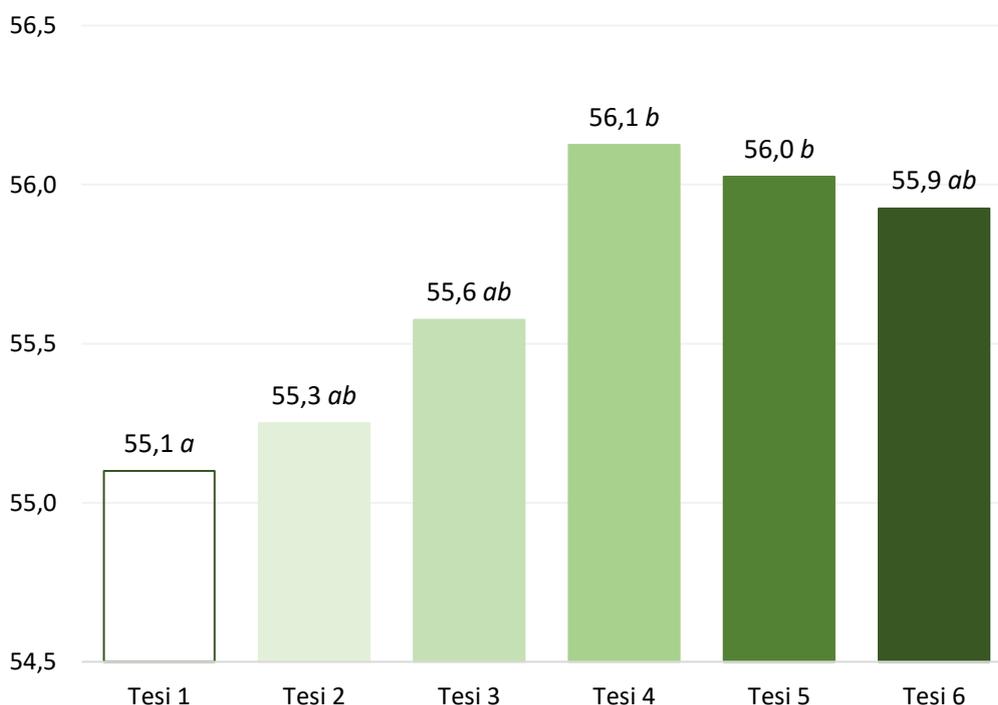


Figura 4. Indici SPAD medi data 26/05/2023.

In figura 5 la tesi con un maggiore indice SPAD è la tesi trattata con Trianum – P, seguita dalla tesi trattata con Previcur energy e Remedier.



Figura 5: Indici SPAD medi data 12/06/2023.

In figura 6 la tesi con maggiore indice SPAD è la tesi trattata con Amylo x, seguita dalla tesi trattata con Tusal e Trainum – P.

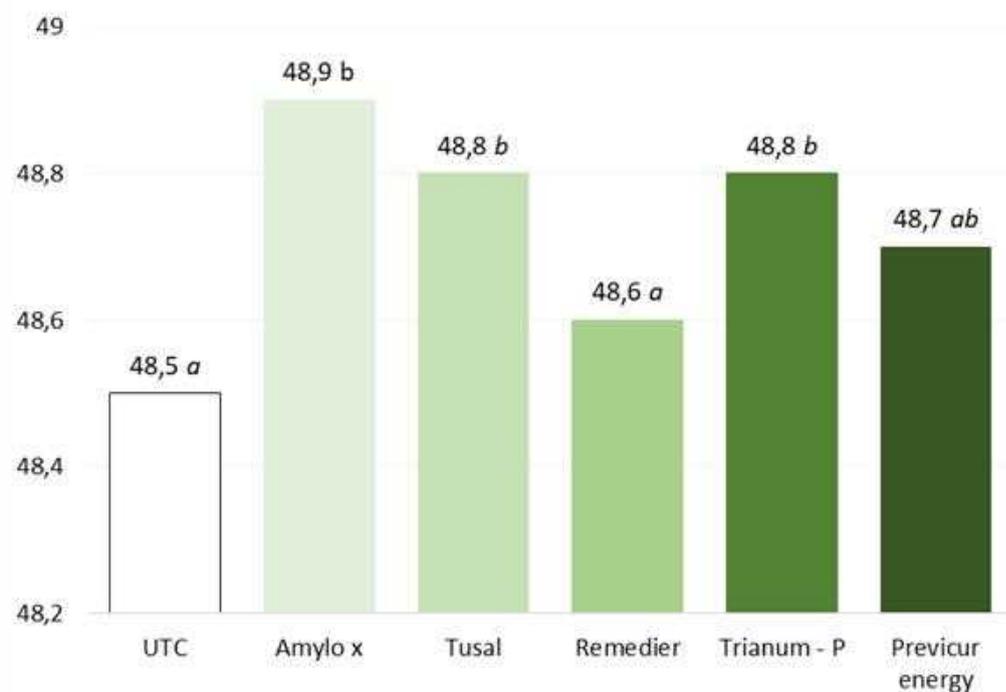


Figura 6: Indici SPAD medi data 03/07/2023.

Indice NDVI

Il primo rilievo per misurare NDVI è stato effettuato il 12/06/2023. Il secondo rilievo è stato effettuato il giorno 03/07/2023. La misura del NDVI indica la media delle quattro repliche prese sull'intera parcella.

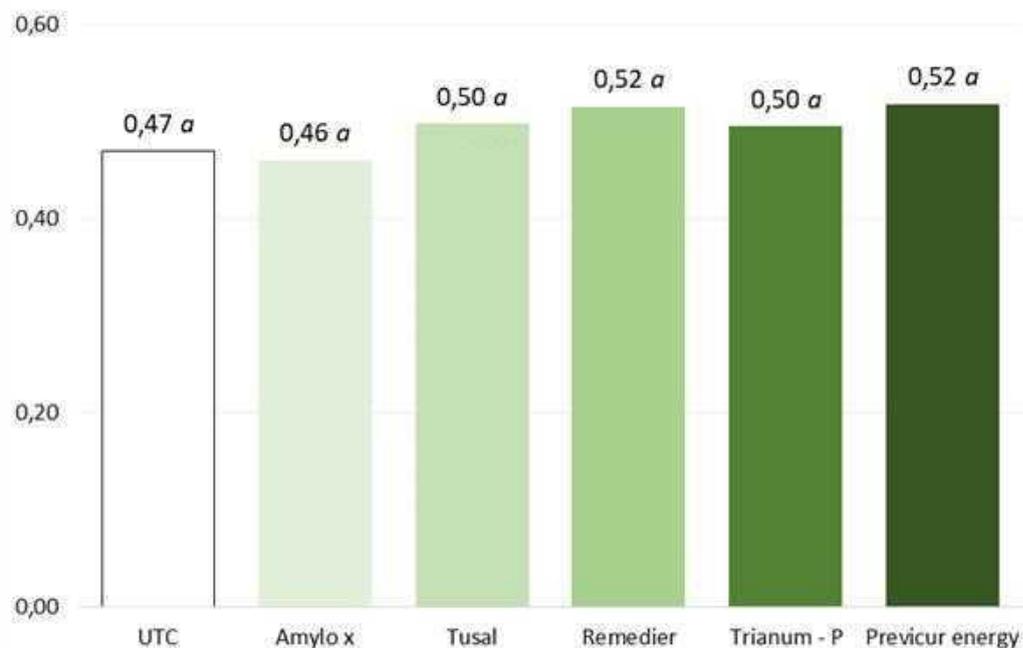


Figura 7: Misurazione NDVI in data 12/06/2023.

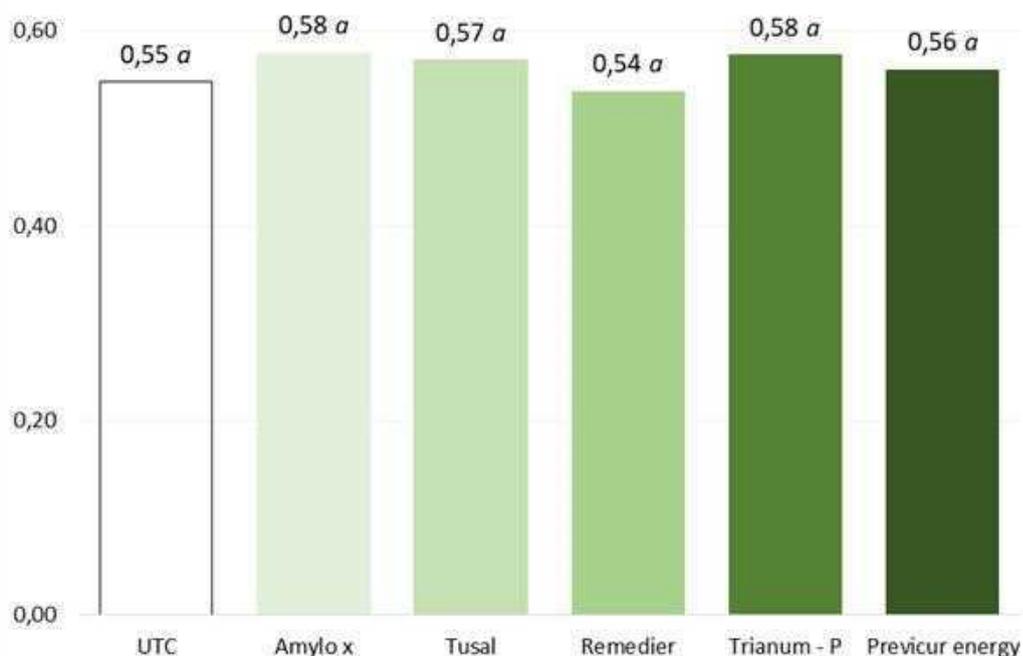


Figura 8: Misurazione NDVI in data 12/06/2023.

In entrambe le date in cui sono stati effettuati i rilievi con NDVI non sono emerse differenze significative fra le varie tesi.

Vigoria e Omogeneità

In data 06/06/2023 sono stati effettuati dei rilievi visivi su una scala da 1 a 10 di vigoria e omogeneità delle piante. Di seguito nella Figura 10 sono riportati i risultati. Dalla figura si nota come il controllo non trattato ha avuto una vigoria più bassa con piante più disomogenee fra loro. La tesi trattata con il prodotto Trianum – P, Previcur energy e Amylo x hanno mostrato una vigoria e una omogeneità delle piante sulla fila maggiore.

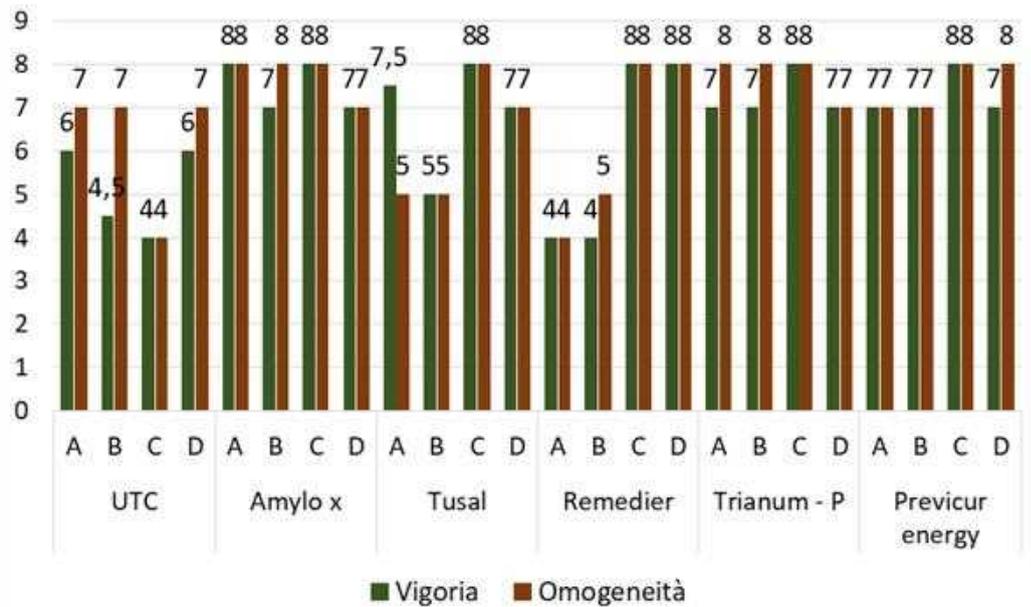


Figura 10. Rilievi di vigoria ed omogeneità divisi per tesi e replica effettuati in data 06/06/2023.

Conteggio piante morte

La tesi 2 (Amylo x) e la tesi 3 (Tusal) hanno avuto un maggior numero di piante morte soprattutto nel primo mese dopo il trapianto. (Figura 6)

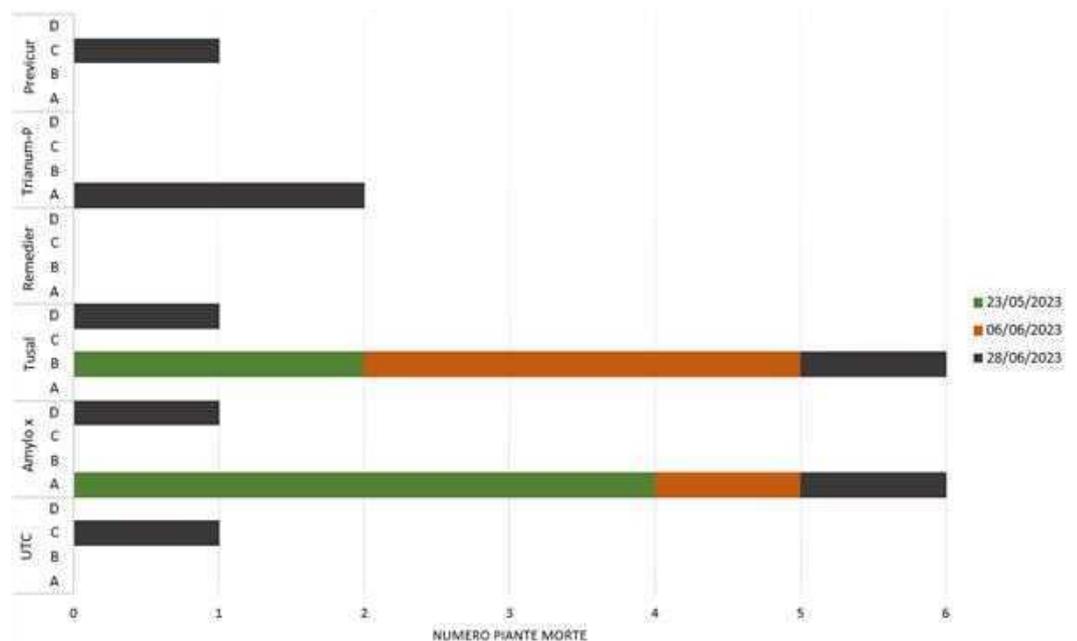


Figura 11. Conteggio piante morte effettuato in tre differenti date.

Numero frutti a m²

Il conteggio dei tagli sulla catena è stato effettuato a fine mese di luglio, quando buona parte della produzione era stata raccolta.

La tesi 6 (Previcur energy) ha prodotto un maggior numero di frutti a m², leggermente superiore alla tesi 5 e 4. La produzione nel complesso si è aggirata attorno a un numero di 4,25 – 5,55 frutti a m² in tutte le tesi.

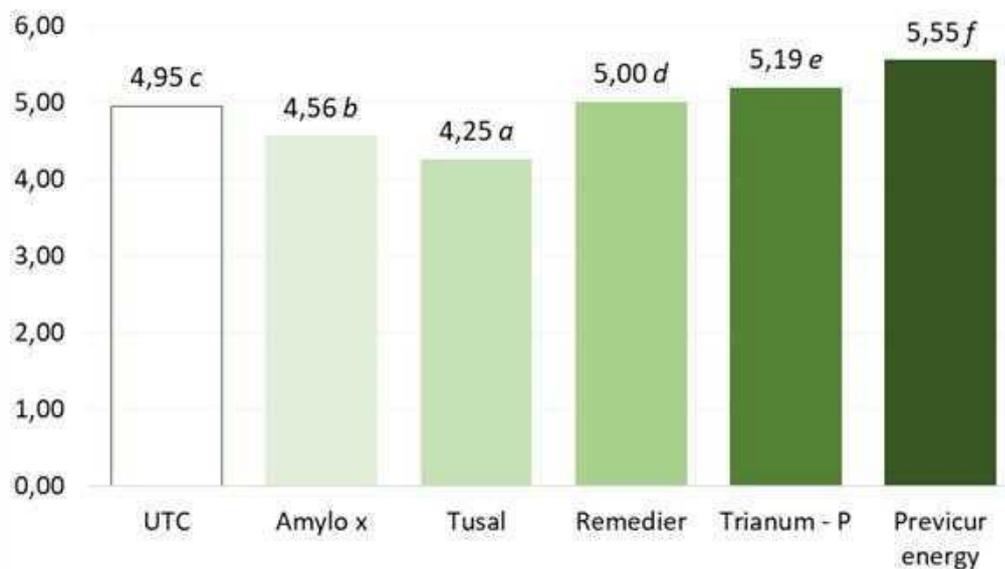


Figura 12. Numero di frutti a m2 a fine ciclo produttivo tramite conteggio dei tagli sulla catena fruttifera.

Conclusioni

Nelle diverse tesi trattate con differenti prodotti non sono state riscontrate differenze significative sia in termini di misurazione dell'NDVI, sia in termini di indice SPAD. Si sono evidenziate differenze significative nel numero di frutti prodotti a m2, con una maggiore produzione per la tesi trattata con Previcur energy, seguita da Trianum - P. Per il numero di piante morte, soprattutto ad un mese dal trapianto, si è avuto un maggior numero per la tesi trattata con Tusal e con Amylo x. Probabilmente questo è dovuto al fatto che si trovassero in una posizione del campo in cui c'è stato maggiore ristagno di acqua a seguito degli eventi alluvionali che hanno colpito la regione nel maggio 2023.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta

Azione 3.6	Studio di capacità di adattamento ai cambiamenti climatici
Unità aziendale responsabile	CER- RI.NOVA- CONSORZIO AGRIBOLOGNA
Descrizione delle attività	<p>E' stato realizzato uno studio per valutare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici ottenuti tramite l'applicazione di sistemi evoluti di gestione dell'irrigazione e della fertirrigazione in ambiente protetto.</p> <p>Lo studio descritto di seguito è incentrato sulla valutazione della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici ottenibile grazie all'adozione di sistemi evoluti per la gestione dell'irrigazione e della fertirrigazione in ambiente protetto. Su tali presupposti si basa il presente studio che mira a condurre una valutazione quantitativa della capacità di adattamento ai cambiamenti climatici perseguibile attraverso pratiche fertirrigue supportate da Fert-Irrinet anche per le colture in serra.</p> <p>A tale fine, è stata impostata un'analisi della vulnerabilità focalizzata sulle fasi di nutrizione delle colture, per valutare come l'utilizzo dell'applicativo Fert-Irrinet possa ridurre gli impatti negativi dei cambiamenti climatici, rispetto ad una gestione di tipo tradizionale caratterizzata da fertilizzazioni a spaglio.</p> <p>L'area analizzata riguarda il territorio dell'Emilia-Romagna all'interno del quale sono state selezionate due aree rappresentative delle zone scelte per la sperimentazione, in particolare quella dell'areale della bassa pianura Bolognese e quella dell'areale romagnolo.</p> <p>All'interno dello studio, in particolare, si descrivono le tendenze climatiche in atto, l'elaborazione degli scenari di breve e medio termine, la coltivazione in ambiente protetto, il confronto tra le modalità di gestione delle colture, le potenzialità della fertirrigazione. Si è quindi analizzato lo stato dell'arte, descritta la metodologia di analisi, presentati i risultati, e infine sono stati discussi e conclusi i principali punti dello studio. Infine, è stata condotta una stima della capacità di adattamento perseguibile attraverso le pratiche fertirrigue e l'utilizzo di apprestamenti protettivi per valutare come l'introduzione di Fert-Irrinet e la fertirrigazione possano ridurre la vulnerabilità del settore.</p> <p><u><i>Analisi delle tendenze climatiche in atto</i></u></p> <p>Al fine di valutare il contributo del progetto Figaro per la riduzione della vulnerabilità della produzione agricola, in questa sezione vengono analizzati le attuali tendenze climatiche su scala regionale. Sono state dunque prese in considerazione le diverse proiezioni future a livello nazionale e regionale ed infine valutati i potenziali impatti che i cambiamenti climatici possono avere sulla nutrizione delle colture e, con esse, sulla produzione agricola.</p> <p>A livello regionale, la principale fonte di informazioni sui trend climatici in atto è l'Atlante climatico dell'Emilia-Romagna 1961-2015 (Antolini et al. 2017). Grazie a questo, è possibile confrontare il periodo 1991-2015 con il trentennio 1961-1990, selezionato come periodo climatico di riferimento, per evidenziare le variazioni nei valori medi ed estremi delle variabili di temperatura e piovosità. I primi dati che risultano evidenti nel confronto tra i due periodi, sono le variazioni regionali delle temperature medie (+1,1 °C rispetto al riferimento 1961-1990) e nelle precipitazioni totali (-22mm rispetto al riferimento 1961-1990) (Antolini et al. 2017). Sebbene questi dati siano già un segnale dei cambiamenti in atto, di maggior rilevanza per il contesto del presente studio sono alcuni indicatori sulle precipitazioni complessive stagionali; sulle temperature massime e, soprattutto, su fenomeni meteorologici estremi come ondate di calore, precipitazioni intense, periodi di siccità.</p> <p>Nel dettaglio, per la valutazione dei trend climatici a livello locale, sono state analizzate le variazioni di precipitazioni medie stagionali e temperature medie massime estive tra il periodo di riferimento (1961-1990) e l'ultimo periodo (1991-2015) disponibile nei database ARPAE (https://www.arpae.it/cartografia/).</p> <p>Le analisi sono state condotte per i cinque comuni in cui sono presenti i casi di studio del progetto. I periodi considerati sono primavera ed estate, poiché rappresentano le stagioni più</p>

rilevanti per le pratiche irrigue e fertirrigue. Osservando le variazioni nella media delle temperature massime estive, si può notare come siano stati rilevati aumenti dell'ordine di grandezza di 1 °C per tutti e cinque i comuni dove hanno sede i casi studio del progetto (Fig. 1). Riflessioni analoghe sono possibili anche per i valori di precipitazione primaverili; mentre per le precipitazioni estive si segnala che per entrambe le serie storiche prese in considerazione le precipitazioni medie mensili risultano inferiori a 150mm (Fig. 2), perciò, in tale periodo, la scala di misura è tale da non permettere di apprezzare eventuali variazioni. Infine, si sottolinea come nei territori considerati sia verificabile un'incrementata frequenza dei fenomeni metereologici estremi, che in maniera ancor più evidente compromettono la produzione agricola. Un'analisi approfondita di questi fenomeni verrà condotta nella sezione inerente alla metodologia del progetto, dove, attraverso il calcolo di opportuni indicatori, sarà fornito un quadro completo dei trend in atto e degli impatti che questi hanno nell'incrementare la vulnerabilità della produzione agricola.

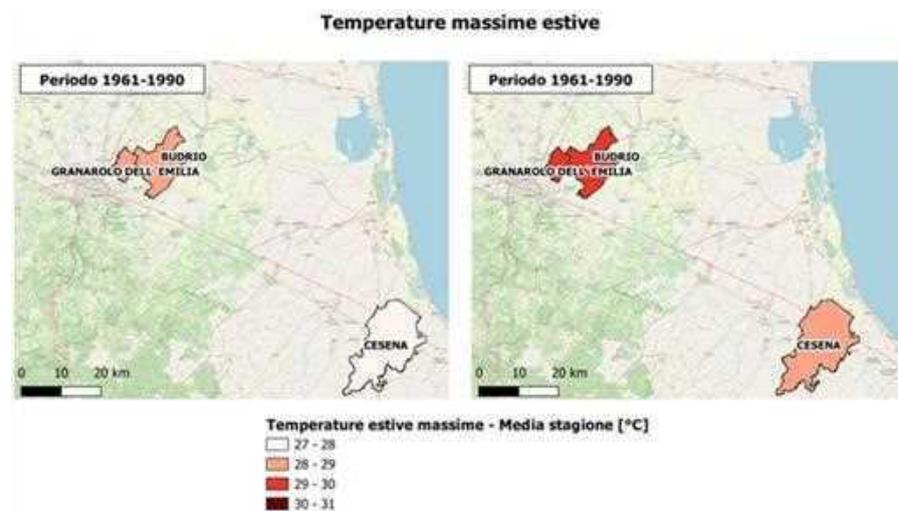


Fig. 1: Temperature massime (fonte: elaborazioni CER su dati dell'Atlante Climatico Arpae - 2015).

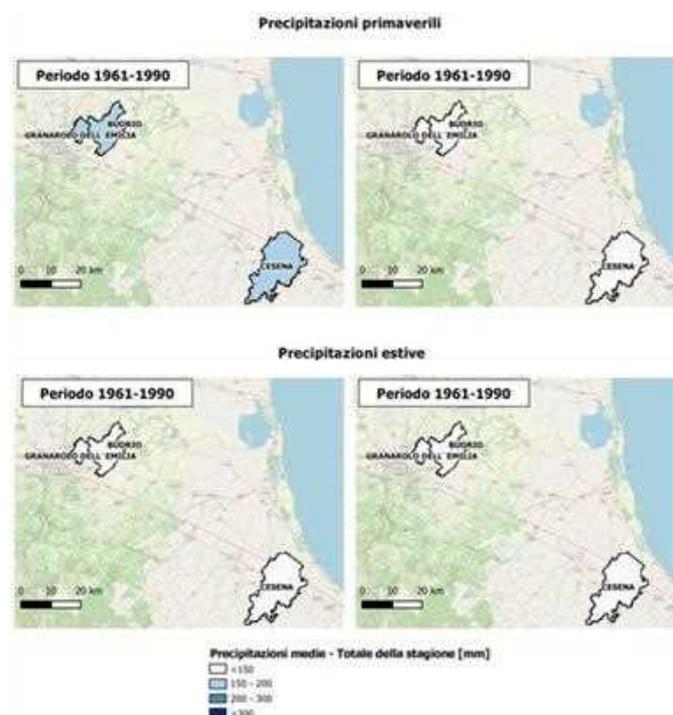


Fig. 2: Precipitazioni (fonte: elaborazioni CER su dati dell'Atlante Climatico Arpae - 2015).

Per quanto riguarda le proiezioni future dei parametri climatici monitorati, sono disponibili pubblicazioni a livello europeo, nazionale e regionale (Calzadilla et al. 2014; Castellari and Artale 2009; Antolini et al. 2017).

Elaborazione degli scenari di breve e medio termine

A tutti i livelli considerati vi è accordo nelle tendenze climatiche future e nell'evidenziare molteplici criticità nel cambiamento del clima. Tra queste, si segnala un aumento delle temperature medie e massime e, soprattutto, un'augmentata variabilità negli eventi meteorologici.

A conferma delle tendenze osservate a livello regionale, nel confronto tra il trentennio di riferimento (1961-1990) con l'ultimo periodo (1991-2015), vi sono le proiezioni per il periodo 2021- 2050 (scenario A1B). Queste mostrano un aumento generalizzato delle temperature minime e massime in tutte le stagioni, con le variazioni più significative nelle temperature massime estive. Per quanto riguarda le precipitazioni, risulta invece rilevante osservare come ci sia una diminuzione in tutte le stagioni, tranne quella autunnale, dove queste sono attese aumentate (Tab. 1).

Tab. 1: Variazioni attese di precipitazioni e temperature in Emilia-Romagna (fonte: Atlante Climatico dell'Emilia-Romagna).

	Variazione T. minima [°C]	Variazione T. massima [°C]	Variazione precipitazioni [%]
Inverno	+ 1,7	+ 1,4	-2
Primavera	+ 1,3	+ 2,1	-11
Estate	+ 1,8	+ 2,5	-7
Autunno	+ 1,7	+ 1,8	+19

Oltre agli elementi di temperatura massima e minima, e precipitazione, altri fenomeni estremi sono attesi ricorrere con più frequenza a livello europeo. A conferma di ciò, il Report speciale dell'IPCC (*Special Report: Global Warming of 1.5 °C*) (Allen, Dube, and Solecki 2018) evidenzia come i segnali di allarme non derivino solo dall'aumento delle temperature. Infatti, a livello globale si è osservato un aumento dei fenomeni estremi come ondate di calore, forti precipitazioni, temperature estreme e prolungati periodi di siccità; nel prossimo futuro, la frequenza di tali fenomeni è attesa in aumento. Queste condizioni costituiscono una sfida per le aziende agricole che sono chiamate a mettere in atto una serie di tecniche e strategie finalizzate alla massimizzazione della redditività aziendale, con l'obbligo di garantire allo stesso tempo una sostenibilità ambientale delle loro attività.

La coltivazione in ambiente protetto

Il cambiamento climatico in corso comporta eventi atmosferici sempre più estremi, aumentando l'incertezza sulla produzione agricola. In questo contesto, le coltivazioni in ambiente protetto giocano un ruolo cruciale, offrendo vari vantaggi agli agricoltori, come la possibilità di anticipare o ritardare i periodi di maturazione e proteggere le colture dalle avversità climatiche (ad esempio, piogge intense e grandinate).

Esistono diverse tipologie di serre con tecnologie variabili, dalle serre fredde, che sfruttano solo il sole come fonte di calore, alle serre high-tech, dotate di sistemi avanzati per monitorare le condizioni di coltivazione e attuare automaticamente interventi come la climatizzazione e

la fertirrigazione. All'interno delle serre, il microclima è alterato rispetto all'esterno dalla presenza di una copertura (che può essere in PVC, PE, vetro o altri materiali).

A differenza di quanto si potrebbe pensare, una maggiore temperatura in serra non comporta sempre una maggiore necessità irrigua. Anche se con l'aumento delle temperature le piante sono portate a traspirare di più per raffreddarsi, questo processo richiede la diffusione del vapore acqueo dall'interno delle foglie all'esterno attraverso gli stomi.

Tuttavia, la velocità di questa diffusione è condizionata dal deficit di pressione di vapore dell'atmosfera (VPD), che rappresenta il rapporto tra l'umidità presente nell'aria e quella che l'aria può trattenere quando è completamente satura. Di conseguenza, le piante traspirano meno quando l'aria è molto umida. Al contrario, con un'aria molto secca, le piante devono traspirare di più per compensare il deficit di pressione di vapore. Diventa quindi fondamentale l'uso di stazioni meteorologiche per misurare i principali parametri climatici e automatizzare l'irrigazione. L'irrigazione in serra prevede nella maggior parte dei casi l'utilizzo di manichette, che permettono una distribuzione oculata dell'acqua da parte dell'agricoltore. L'irrigazione con manichetta si integra perfettamente con la fertirrigazione, offrendo diversi vantaggi sia per l'agricoltore che per l'ambiente. La dose di concime può essere calcolata e distribuita in base alle necessità di ogni fase fenologica, permettendo di suddividere la dose totale in più interventi e riducendo così la lisciviazione in profondità di elementi mobili come l'azoto.

L'irrigazione a manichetta, inoltre, è particolarmente efficiente nell'uso dell'acqua, una risorsa che oggi più che mai non deve essere data per scontata, riducendo le perdite per evaporazione e percolazione e diminuendo anche l'incidenza di certe patologie fungine. L'aumento dell'accuratezza nell'utilizzo della fertirrigazione e dell'irrigazione in serra con metodi ad alta efficienza diventa fondamentale per affrontare e adattarsi ai cambiamenti climatici, oltre che per preservare una risorsa così preziosa.

Le potenzialità della fertirrigazione

Grazie all'introduzione della fertirrigazione supportata da Fert-Irrinet, è possibile favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici e dare risposta concreta alle aziende agricole per far fronte a tali sfide.

Le potenzialità della fertirrigazione nel contribuire all'efficienza nell'uso dei fertilizzanti sono rese note da numerose pubblicazioni, tra cui il report FAO (2008) "Climate change, water and food security" (Hugh Turrall et al. 2011) ne evidenzia il ruolo per favorire l'adattamento e la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Lo studio della vulnerabilità previsto nel presente Piano risponde direttamente a tali assi strategici, fornendo i dati e le informazioni necessarie per supportare la diffusione di buone pratiche, come la fertirrigazione e l'adozione di DSS, per favorire l'adattamento ai cambiamenti climatici. Di particolare interesse per comprendere le dinamiche dei cambiamenti climatici e per definire linee guida per l'adattamento sono anche la "*Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*" (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 2014) e la "*Strategia di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici della Regione Emilia-Romagna*" (Regione Emilia-Romagna 2019).

La Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 2014) ha individuato 5 assi strategici su cui intervenire. Tra questi si segnalano azioni volte a:

- "*Specificare gli strumenti da utilizzare per identificare le migliori opzioni per le azioni di adattamento, evidenziando anche i co-benefici*";
- "*Adottare un approccio integrato nella valutazione dell'adattamento*";
- "*Adottare un approccio basato sul rischio nella valutazione dell'adattamento*".

In letteratura, la quantificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici e della vulnerabilità si basa frequentemente sulle linee guida redatte dal Gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici (IPCC). Numerosi sono gli studi che applicano tali linee guida per valutare capacità di adattamento e vulnerabilità di molteplici settori, tra cui l'agricoltura è uno dei più ricorrenti.

Tuttavia, in letteratura non è riscontrabile una definizione univoca di vulnerabilità; la natura multisettoriale e la complessità degli argomenti hanno portato la comunità scientifica a sviluppare definizioni e metodologie specifiche per l'area di applicazione (agricoltura, ecologia, epidemiologia, economia, ecc.) (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 2014). Per far fronte a tale complessità, nel quinto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5) viene adottato un quadro che identifica le diverse componenti che contribuiscono alla vulnerabilità, questo risulta in grado di conciliare le definizioni precedenti e quelle provenienti dai molteplici settori (Giordano et al. 2018). Nel report, la vulnerabilità viene definita così come segue (Calzadilla et al. 2014):

“La propensione o la predisposizione ad essere negativamente colpiti. La vulnerabilità comprende una varietà di concetti ed elementi inclusa la sensitività o la suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e adattarsi”

Da tale definizione emergono due componenti chiave che determinano la vulnerabilità: la suscettibilità al danno e la capacità di adattarsi.

Questi, fattori assieme agli altri elementi che costituiscono il rischio, sono utilizzati da numerosi studi per la stima della vulnerabilità. In particolare, il framework di analisi su cui è stata sviluppata la metodologia del presente progetto, si basa su quanto proposto da Giordano et al. (2018) e GIZ & EURAC (2017). Seguendo la definizione dell'IPCC, in questi lavori la vulnerabilità è definita dalla combinazione di due elementi:

- **impatto potenziale:** definisce l'effetto negativo che i cambiamenti climatici possono avere sulle attività umane, è causato a sua volta dalla combinazione tra suscettibilità al danno ed esposizione ai fattori climatici
- **capacità di adattamento:** viene espressa come possibilità di attenuare l'impatto dei cambiamenti climatici attraverso l'adozione di opportune pratiche, modalità operative, tecnologie, ecc.

Per la stima dell'impatto potenziale, entrambi i lavori propongono l'utilizzo di opportuni indicatori, specifici per il contesto di riferimento, che nel caso del presente studio si focalizzeranno soprattutto sulle fasi di nutrizione delle colture. Viceversa, la capacità di adattamento attraverso l'adozione di Fert-Irrinet verrà valutata come suggerito da GIZ & EURAC (2017) attraverso un sistema di ponderazione degli indicatori selezionati. Il flusso logico di tale processo di valutazione della vulnerabilità è rappresentato nello schema in figura 3, dove si nota la relazione tra capacità di adattamento e impatto potenziale nella determinazione della vulnerabilità.

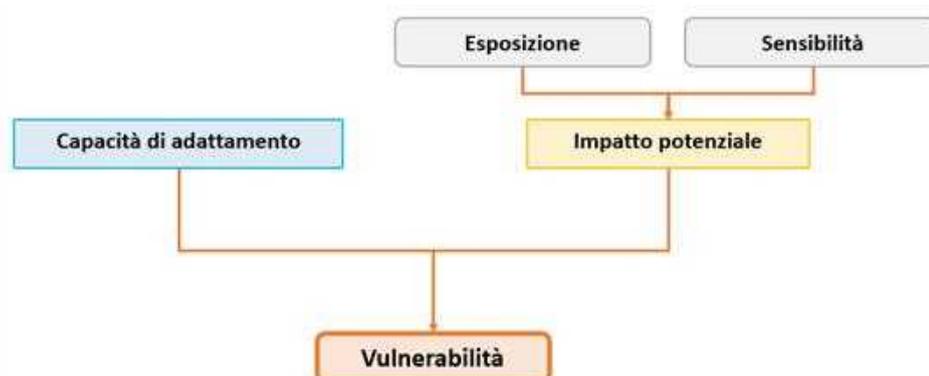


Fig. 3: Schematizzazione dei fattori che determinano la vulnerabilità (Giordano et al. 2018; GIZ & EURAC 2017).

Metodologia

Applicando il framework concettuale descritto in letteratura, in questa sezione verrà delineata la metodologia per la stima dell'influenza dei cambiamenti climatici sull'area di studio. Nel dettaglio, verranno individuati i potenziali fattori di rischio, i relativi impatti e sarà quindi stimata la capacità di adattamento e, con essa, la vulnerabilità delle pratiche tradizionali rispetto a quelle fertirrigue.

Nella stima di esposizione e sensibilità per la determinazione dell'impatto potenziale, il presente studio riconosce come il settore agricolo sia tra quelli più soggetti ai cambiamenti del clima. Il fatto che la quasi totalità delle operazioni avvenga all'aria aperta, rende l'agricoltura completamente esposta ai fattori climatici in tutte le sue fasi, con un impatto potenziale che ha molteplici ricadute, in termini ambientali; produttivi; economici e sulle risorse (acqua; suolo; ecc.). Tuttavia, per semplificare le analisi, la stima dell'impatto potenziale è focalizzata su tre principali fattori di rischio coinvolti nelle fasi di nutrizione delle colture, ossia:

- **Inquinamento ambientale:** i cambiamenti climatici possono esacerbare fenomeni di inquinamento puntuale e diffuso. Tra questi, si segnalano i problemi di lisciviazione e di volatilizzazione dei fertilizzanti. Questi fenomeni sono tipicamente causati da: (i) concimazioni eccessive e precedenti periodi di forte piovosità nel caso di lisciviazione; o (ii) concimazioni in periodi in cui il terreno risulta secco, causando quindi la non solubilizzazione degli elementi azotati che non trattenuti nel suolo subiscono processi di volatilizzazione. La sempre più frequente alternanza di periodi estremamente piovosi con periodi di siccità prolungata non fa altro che aumentare il rischio di tali fenomeni, causando così problematiche di tipo ambientale.
- **Degradazione del suolo:** la distribuzione di fertilizzanti a spaglio richiede molteplici passaggi con il trattore sull'appezzamento, causando inevitabilmente fenomeni di calpestamento. Questi sono ininfluenti in condizioni di suolo asciutto, ma con l'aumentare dell'umidità il calpestamento risulta sempre più dannoso per la struttura del suolo stesso. Con il manifestarsi di periodi prolungati di precipitazioni intense in concomitanza con i fabbisogni nutrizionali delle colture, l'agricoltore si trova quindi a dover effettuare passaggi su terreno bagnato causando compattazione e degradazione della struttura del suolo.
- **Decrementi produttivi:** la variabilità climatica già descritta ha come effetto diretto per l'agricoltore anche quello di rendere più difficile la nutrizione delle colture e non tempestive le fertilizzazioni, aumentando così lo stress delle piante. Questo si traduce in problematiche di natura fisiologica che a loro volta rendono le colture più soggette ad attacchi da parte di patogeni (insetti e funghi) con conseguenze di tipo ambientale ed economico, per la necessità di maggiori trattamenti fitosanitari e produzioni ridotte.

Al fine di quantificare l'impatto potenziale dei cambiamenti climatici sui tre principali fattori di rischio individuati, verranno selezionati opportuni indicatori. Questi avranno come dati di base principali i valori medi ed estremi di temperatura e piovosità dell'area di interesse.

La letteratura sulla valutazione della vulnerabilità esprime infatti come la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici richieda dati aggiornati sia sulle tendenze attuali sia sui valori storici. A fianco di tali indicatori di tipo climatico, ne saranno selezionati alcuni sulle caratteristiche pedologiche dell'area di studio, per identificare meglio la suscettibilità del suolo ai rischi già identificati.

Infine, per stimare la capacità di adattamento delle due tecniche di nutrizione delle colture, verranno stimati gli impatti delle due tecniche di fertilizzazione (fertirrigazione vs concimazione a spaglio). Queste stime costituiranno inoltre un importante mezzo per verificare la bontà del sistema degli indicatori adottato per la stima della vulnerabilità e descritto nei paragrafi seguenti.

Il framework concettuale derivante dalla letteratura e declinato nel contesto del presente studio è rappresentato in figura 4, dove viene evidenziata: (i) la modalità di stima dell'impatto potenziale, attraverso indicatori, e (ii) la valutazione della capacità di adattamento, attraverso opportune misurazioni sul campo.

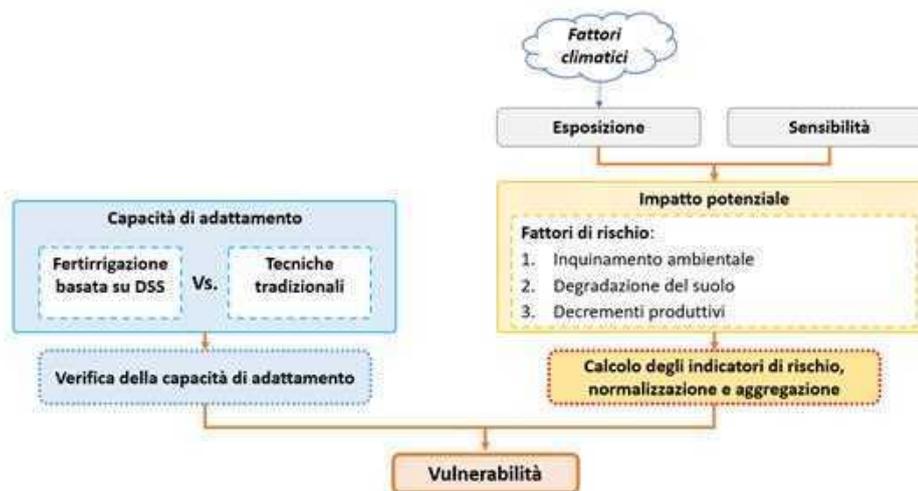


Fig. 4: Schematizzazione dei fattori analizzati per lo studio della vulnerabilità.

Per quanto riguarda l'individuazione degli indicatori sul clima per la stima dell'impatto potenziale, questi sono stati selezionati a partire dai web-tool sviluppati dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Per il relativo calcolo, il principale strumento utilizzato è **ClimPACT2** (<https://climpact-sci.org/>), versione 1.2.8.

Questo software è stato realizzato dalla University on New South Wales e dal ARC Centre of Excellence for Climate System Science; è un *package* che lavora in ambiente R e a sua volta si basa su altri *package* tra cui il principale è RclimDEX, software sviluppato dalla World Meteorological Organization (WMO) - Commission for Climatology. Attraverso la corretta formattazione dei dati provenienti dalle stazioni meteo, con l'uso di ClimPACT2 è possibile portare avanti operazioni di controllo della qualità dei dati (outlayer; missing value; ecc.) e di calcolo di indicatori semplici e complessi, esprimibili su base mensile o annua. Nel dettaglio, ClimPACT2 richiede come input i seguenti dati:

- Precipitazione cumulata giornaliera [mm/giorno]
- Temperatura massima media mensile [°C]
- Temperatura minima media mensile [°C]

Avendo come input i dati sopracitati, ClimPACT2 permette di calcolare l'intero menù di indici selezionati dall'ETCCDI. Tali indici sono opportunamente descritti e definiti dal punto di vista computazionale nel sito di ClimPACT2 (<https://climpact-sci.org/indices/>).

Poiché non tutti gli indici disponibili (più di 60) sono appropriati per descrivere gli impatti potenziali di interesse, è stata portata avanti una selezione degli stessi. Questa ha avuto lo scopo di identificarne un numero di indici che fosse contenuto, ma al tempo stesso sufficiente per descrivere in maniera esaustiva l'impatto potenziale dei cambiamenti climatici nell'area e nel settore di interesse.

Risulta opportuno sottolineare che tali indicatori non possono rappresentare direttamente l'effetto del cambiamento del clima sulla produzione agricola, sono invece da intendersi come proxy per descrivere alcuni fenomeni particolarmente critici per la nutrizione delle colture. Per descrivere l'impatto potenziale di un singolo fattore di rischio sono stati selezionati molteplici indicatori derivanti da misure di precipitazione, temperatura e caratteristiche del

suolo.

La presenza di indicatori di origine e forma differente ha permesso una valutazione più accurata del singolo impatto, cogliendone le molteplici sfaccettature; ciò ha però richiesto un'ulteriore fase di normalizzazione degli indicatori stessi. Attraverso la normalizzazione, è stato possibile uniformare i valori degli indicatori, misurati a diverse scale e in unità differenti, in valori comparabili, slegati da unità di misura e variabili in un range da 0 a 1. In letteratura sono disponibili diversi metodi di normalizzazione, quello selezionato è denominato metodo del Min-Max, e segue la formula (OCSE 2008) (Equazione 1):

$$X_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_i}$$

Equazione 1

Dove, x_i e X_i sono rispettivamente il valore dell'indicatore i così come misurato (x_i) e dopo il processo di normalizzazione (X_i); x_{min} e x_{max} sono invece i valori di minimo e massimo per lo stesso indicatore osservati nella stazione per il periodo selezionato. Gli indicatori così normalizzati sono aggregati tra di loro e pesati per ottenere un indice globale che quantifichi l'adattamento al cambiamento climatico apportato dall'innovazione che si vuole introdurre. Come per i metodi di normalizzazione, in letteratura sono disponibili diversi metodi di aggregazione (OCSE 2008).

Il metodo consigliato nel Vulnerability Sourcebook (GIZ & EURAC 2014) è il più comune e viene chiamato aggregazione aritmetica ponderata, dove i singoli indicatori già normalizzati sono moltiplicati per la relativa matrice di ponderazione, quindi sommati per determinare un indicatore composito. Tale metodologia di ponderazione comporta la così detta "piena compensabilità" (OCSE 2008), dove il valore di un indicatore può compensare un punteggio basso di un altro indicatore. La formula per l'aggregazione aritmetica ponderata prevede che per la stima del singolo Fattore di Rischio (FR_n), gli indicatori normalizzati (X_i) vengano moltiplicati per relativo peso (w_i), quindi sommati e divisi per la somma di tutti i pesi(

Equazione 2):

$$FR_n = \frac{X_{i1} * w_{i1} + X_{i2} * w_{i2} + X_{i3} * w_{i3} + \dots + X_{in} * w_{in}}{w_{i1} + w_{i2} + w_{i3} + \dots + w_{in}} = \frac{\sum_i^n X_i * w_i}{\sum_i^n w_i}$$

Equazione 2

Per la determinazione della matrice di ponderazione, sono stati stimati i singoli pesi attraverso un approccio partecipativo per quantificare l'impatto del fenomeno descritto attraverso l'indicatore sulle due tecniche di fertilizzazione.

Tale peso permette inoltre di quantificare la capacità di adattamento assieme alle misure di produzione e lisciviazione misurati sul campo.

Una schematizzazione delle procedure metodologiche adottate nel presente studio è proposta in figura 5 per facilitare la comprensione dei vari step e delle loro relazioni nel flusso di lavoro.



Fig. 5: Schematizzazione della metodologia di studio

Risultati

Per l'applicazione della metodologia descritta al paragrafo precedente, sono stati raccolti i dati provenienti da tre stazioni meteo ritenute significative per le aree di studio. Queste sono collocate nei comuni di Budrio e Cesena.

I dati sono provenienti dal dataset climatico di Arpae (<https://dati.arpa.e.it/dataset/erg5-eraclito>) che copre tutto il territorio regionale dal 1961 ad oggi. Per ulteriori informazioni sul metodo di raccolta dei dati meteo elementari si consiglia di consultare la pubblicazione di riferimento: *G. Antolini, L. Auteri, V. Pavan, F. Tomei, R. Tomozeiu, V. Marletto, 2015. A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010. International Journal of Climatology 08/2015; DOI:10.1002/joc.4473*

Caratterizzazione delle principali variabili climatiche

Nel dettaglio, sono stati raccolti i dati meteo di temperatura massima, minima e precipitazione totale a cadenza giornaliera; le annate prese in considerazione sono quelle dal 2006 al 2020.

Le singole annate presenti in file diversi sono state armonizzate e aggregate in un file unico in formato .txt, utilizzato come input per ClimPACT2 e ne sono stati individuati i valori medi e le relative varianze. I dati di sintesi dei valori rilevati presso la stazione meteo collocate nei due comuni di Budrio e Cesena sono rappresentati nei boxplot di figura 6.

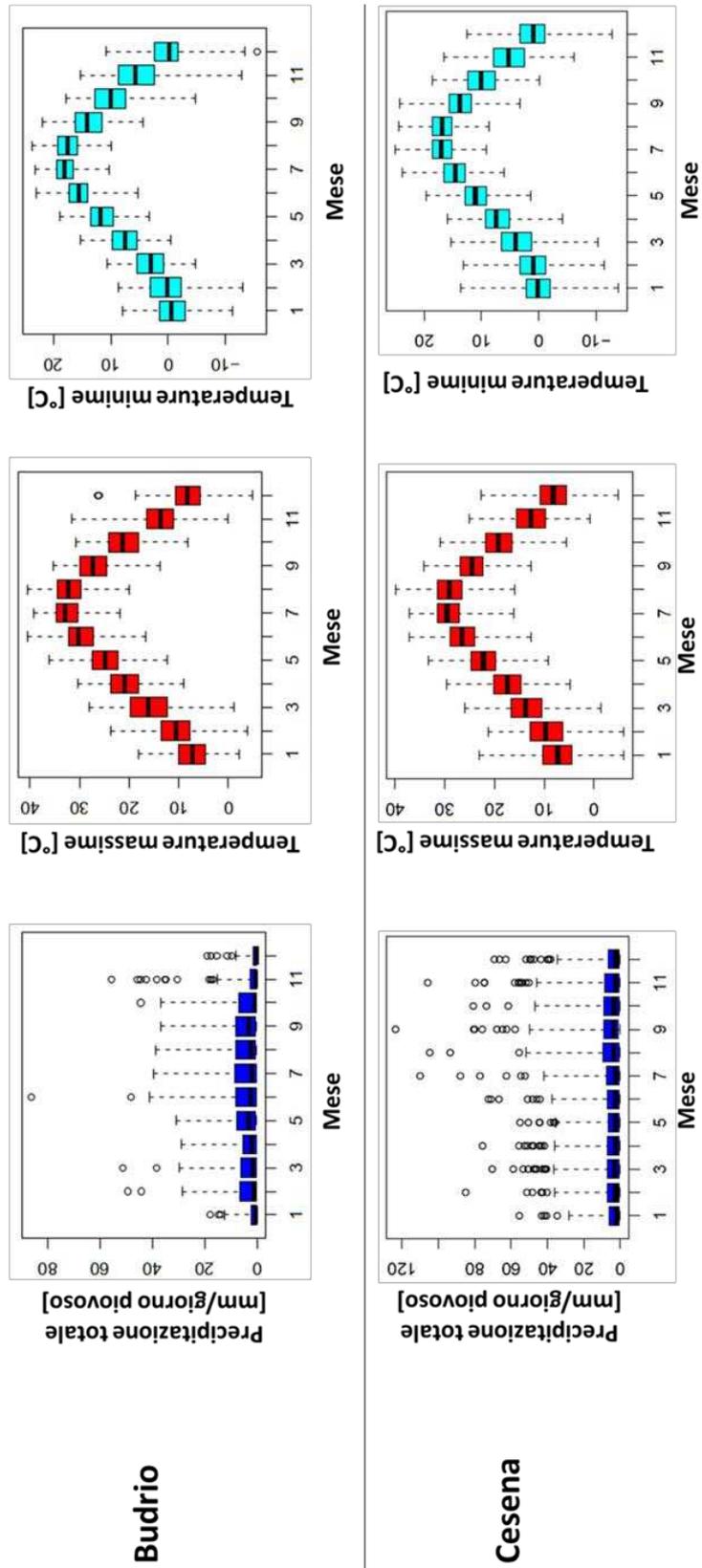


Fig. 6: Caratteristiche climatiche dell'area di Budrio. I dati si riferiscono alla media mensile dei valori misurati nelle 24h; con il simbolo "o" sono indicati gli outlier.

Selezione e stima degli indicatori climatici

A seguito del calcolo dei valori medi di temperatura e precipitazione che caratterizzano le

due stazioni selezionate, si è proceduto alla selezione degli indicatori per la descrizione di ognuno dei tre fattori di rischio individuati. La tabella 2 riporta i risultati della selezione degli indicatori, la loro descrizione e attribuzione ai fattori di rischio. In tabella è inoltre descritto il potenziale beneficio dell'adozione di Fert-Irrinet e fertirrigazione per la riduzione dell'impatto potenziale specificato e quindi per favorire la capacità di adattamento.

Per l'analisi della vulnerabilità, tale stima di tipo qualitativo risulta estremamente importante. Questa è incentrata sulla capacità delle innovazioni introdotte dal presente progetto nel favorire la capacità di adattamento dei sistemi agricoli.

Seppur questo tipo di informazione si limita ad una descrizione del contributo della fertirrigazione, assieme alle misure della vulnerabilità riportate in questo paragrafo e supportate dai risultati produttivi delle colture stesse descritti nelle azioni precedenti, è possibile ottenere un quadro completo dei fenomeni in atto.

Tab. 2: Sintesi degli elementi che contribuiscono allo studio della vulnerabilità.

Fattori di rischio	Impatto potenziale	Indicatori di rischio	Capacità di ridurre l'impatto con la fertirrigazione
Danno ambientale	<ul style="list-style-type: none"> Lisciviazione Volatilizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> <u>RX1day</u> – <u>Precipitazione massima giornaliera</u>: valore massimo di precipitazione giornaliera <u>R95p</u> – <u>Giorni molto piovosi</u>: totale annuale delle precipitazioni > 95° percentile del periodo climatologico di riferimento <u>R10</u> – <u>Giorni con precipitazione intensa</u>: numero di giorni l'anno con precipitazione ≥ 10mm <u>%A</u> – <u>Tessitura del terreno</u>: percentuale di <u>argilla</u> capace di trattenere i nutrienti nel suolo 	Grazie alla distribuzione dei fertilizzanti in corrispondenza degli effettivi fabbisogni della pianta è possibile minimizzare le perdite dei nutrienti per percolazione in falda. Inoltre, la solubilizzazione del fertilizzante permette di azzerare le perdite in atmosfera per volatilizzazione (rilevante soprattutto per i fertilizzanti azotati).
Degradazione del suolo	<ul style="list-style-type: none"> Compattazione Calpestamento 	<ul style="list-style-type: none"> <u>CWD</u> – <u>Giorni piovosi consecutivi</u>: numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera ≥ 1 <u>R20</u> – <u>Giorni con precipitazione molto intensa</u>: numero di giorni l'anno con precipitazione ≥ 20mm <u>SDII</u> – <u>Intensità di precipitazione giornaliera</u>: Totale annuale di precipitazione diviso per il numero di giorni piovosi nell'anno (definiti come giorni con precipitazione ≥ 1.0mm) <u>%S</u> – <u>Tessitura del terreno</u>: percentuale di <u>sabbia</u> in grado di favorire un drenaggio rapido delle acque meteoriche <u>%SO</u> – <u>Sostanza Organica</u>: percentuale di <u>sostanza organica</u> in grado di favorire la 	Grazie alla distribuzione dei fertilizzanti tramite l'acqua irrigua, sono evitati passaggi ripetuti di trattori e macchine operatrici sul terreno, evitando così problematiche di calpestamento e compattazione dei suoli

		ritenzione idrica del suolo e la sua struttura	
Decrementi produttivi	<ul style="list-style-type: none"> • Problemi fitosanitari • Stress fisiologici • Tempistiche degli interventi 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>TX90P – Giorni caldi</u>: percentuale di giorni l'anno in cui $T_N > 90^o$ percentile del periodo climatologico di riferimento • <u>CDD – Giorni secchi consecutivi</u>: numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera < 1 • <u>CWD – Giorni piovosi consecutivi</u>: numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera ≥ 1 • <u>SPEI – Indicatore standardizzato di precipitazione ed evapotraspirazione</u>: misura della siccità utilizzando le variabili di precipitazione ed evapotraspirazione • <u>Hwn ($T_n > 90$) – Numero di ondate di calore</u>: numero di ondate di calore definite come eventi in cui per almeno 3gg la temperatura minima (T_n) sia superiore al 90° percentile 	Grazie al mantenimento delle condizioni nutrizionali ottimali, la fertirrigazione contribuisce ad un buon stato fisiologico, rendendo così la pianta meno suscettibile a problemi di natura fitosanitaria. Sono inoltre possibili interventi veloci e tempestivi, anche in condizioni di terreno troppo secco o troppo umido, inefficaci per la nutrizione di tipo tradizionale.

Il calcolo degli indicatori è stato svolto per tutte le stazioni considerate ed effettuando le elaborazioni con cadenza annuale. Particolare attenzione è stata posta all'analisi del trend dell'indicatore stesso. L'interpolazione lineare dei dati storici ha quindi permesso di identificare la pendenza del trend e, soprattutto, la relativa significatività.

Questa è espressa attraverso il valore p (*p-value*), tale valore è comunemente usato in statistica e nella letteratura scientifica come strumento di lettura dei test statistici. Il *p-value*, infatti, esprime il livello di significatività dell'interpolazione proposta fornendo una stima di tipo probabilistico circa la differenza tra il risultato osservato e quello ipotizzato sia essa dovuta alla casualità introdotta dal campionamento, oppure effettivamente spiegabile mediante l'interpolazione calcolata.

Per convenzione, a valori del *p-value* inferiori a 0,05 è possibile rifiutare l'ipotesi nulla e confermare, nel caso dei grafici sotto riportati, la significatività dei trend osservati. I risultati sono riportati nei grafici delle pagine seguenti (Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17). Tra questi si segnalano trend negativi per quanto riguarda le precipitazioni, con valori tuttavia che non risultano significativi.

Contrariamente, per quanto riguarda le temperature, gli indicatori da esse derivanti mostrano risultati interessanti con trend significativi. Tra gli aspetti che portano ad un incremento della vulnerabilità, si segnalano le ondate di calore.

Qui risulta molto critico il loro aumento netto in termini di frequenza (HWN) e durata (HWD), assieme ad un generico aumento delle temperature massime su valori superiori al 90° percentile (tx90p). È quindi possibile affermare la presenza di un trend significativo, come

causa dei cambiamenti climatici, che incrementa la vulnerabilità delle produzioni agricole con danni in termini produttivi per incrementati stress fisiologici.

Per la definizione del parametro sulle ondate di calore sul quale si basano gli indicatori sopracitati, i calcoli utilizzati sono basati sulla pubblicazione di Perkins e Alexander (2013) e Nairn e Fawcett (2013). Queste definizioni si basano sul 90° percentile di temperatura massima giornaliera (TX) per il periodo storico considerato; si manifesta quindi un'ondata di calore ogni qual volta per tre o più giorni consecutivi la temperatura massima giornaliera supera il 90° percentile (TX > 90° percentile di TX) giornaliera designato Tn90, sul 90° percentile di TX (temperatura giornaliera massima) designato Tx90 e sull'EHF (vedere D.3 di seguito). Il periodo di calcolo delle ondate di calore nell'emisfero settentrionale va da maggio a settembre di ogni anno.

Infine, risulta interessante osservare il trend dell'indice gddGrow10C. Questo esprime la somma annua dei gradi giorno, considerando come soglia i 10°C. In altre parole si è proceduto a sommare la temperatura media giornaliera per ogni anno, qualora questa superasse i 10°C. Tale indicatore risulta molto importante per la fisiologia delle piante, fornendo una proxy di quella che è la durata della stagione vvegetativa. Il trend positivo e significativo misurato per tutte le stazioni esprime un generale aumento della stagione vegetativa delle colture.

Tale fattore può essere considerato positivo per le aree di studio e per molte delle più comuni colture irrigue, ciò risulta quindi a ridurre la vulnerabilità delle produzioni agricole. Il fattore non è tuttavia sempre possibile considerarlo favorevole, in quanto, come evidenziato nel capitolo successivo, rischia di esporre le colture a ritorni di freddo, stress fisiologici ed espone i patogeni (principalmente insetti e funghi) ad una maggior danno.

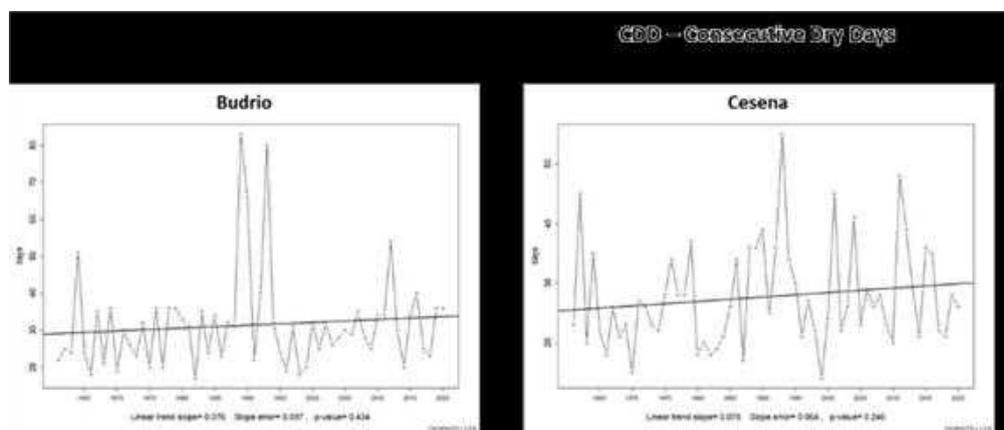


Fig. 7: CDD

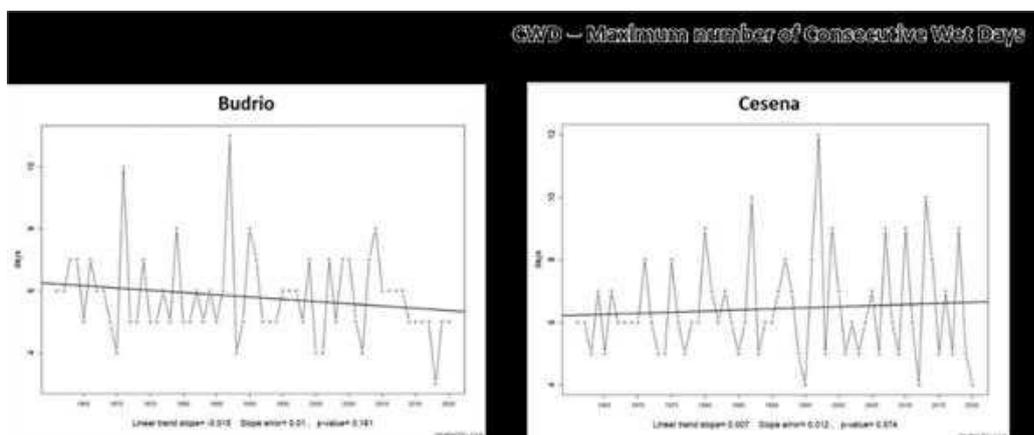


Fig. 8: CWD

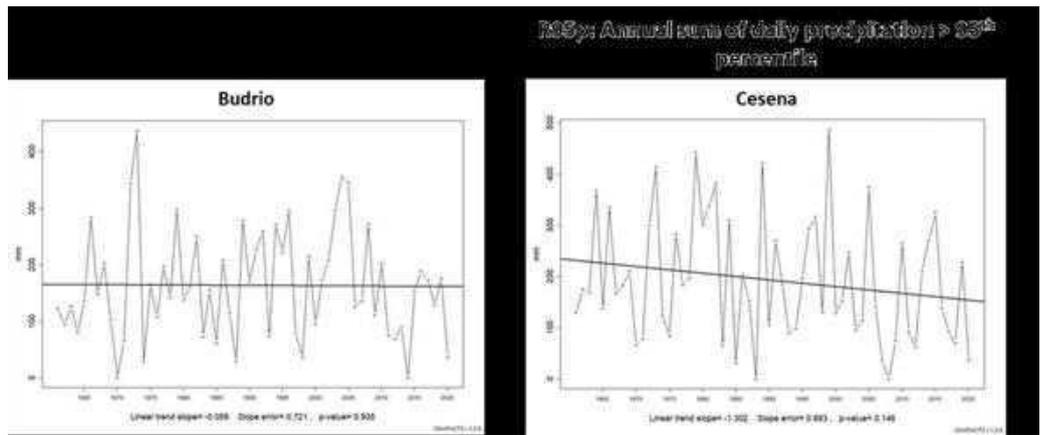


Fig. 9: R95p

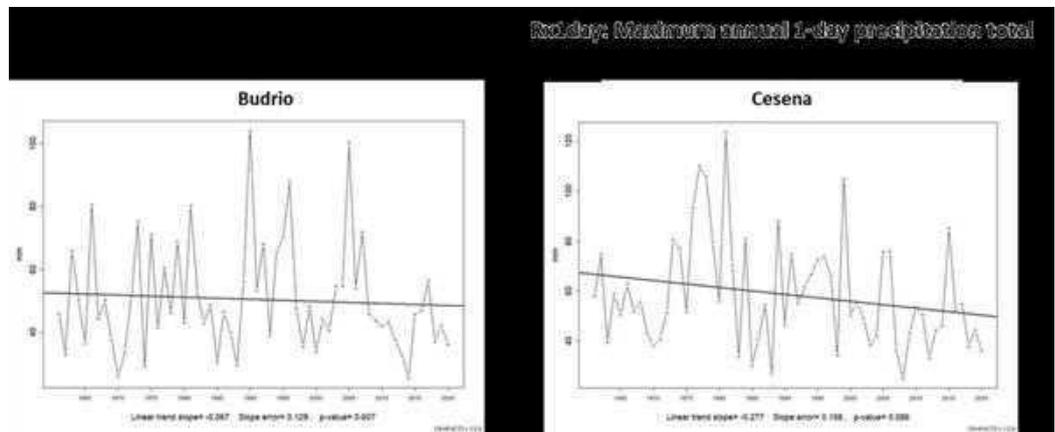


Fig. 10: Rx1day

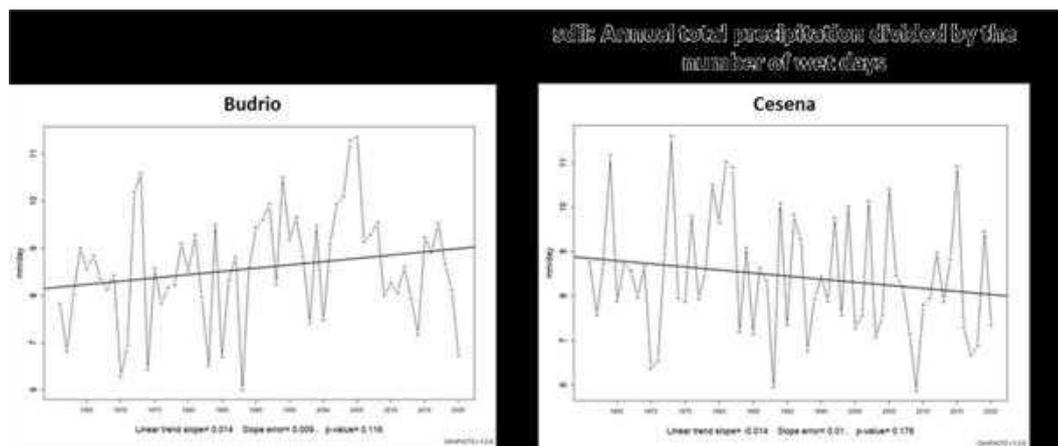


Fig. 11: sdi

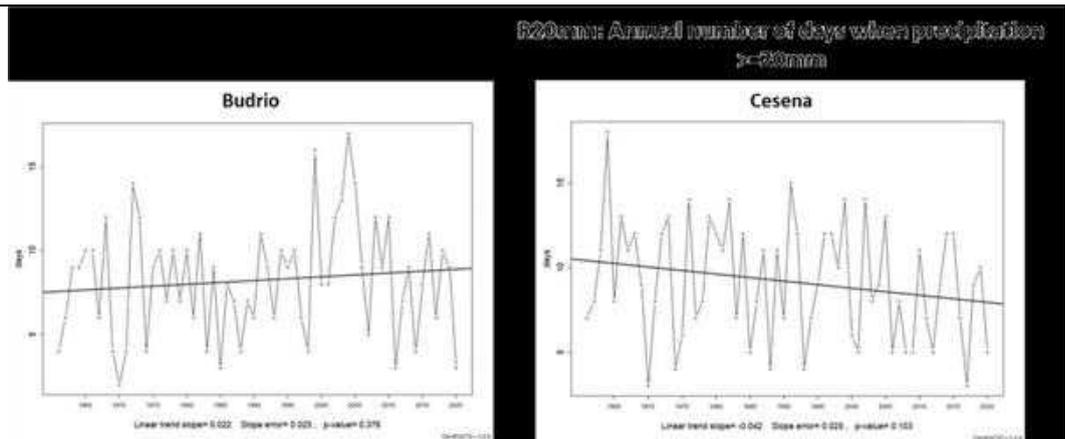


Fig. 12: R20mm

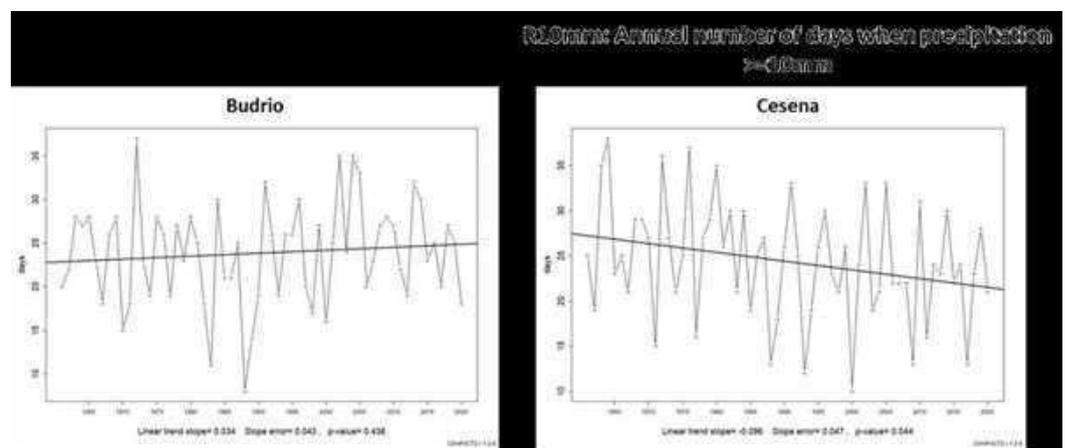


Fig. 13: R10mm

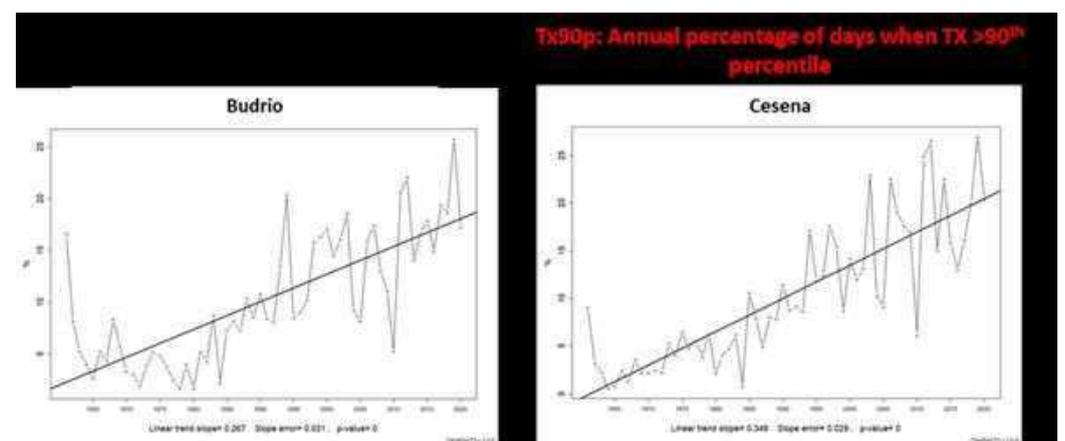


Fig. 14: Tx90p - Trend significativo

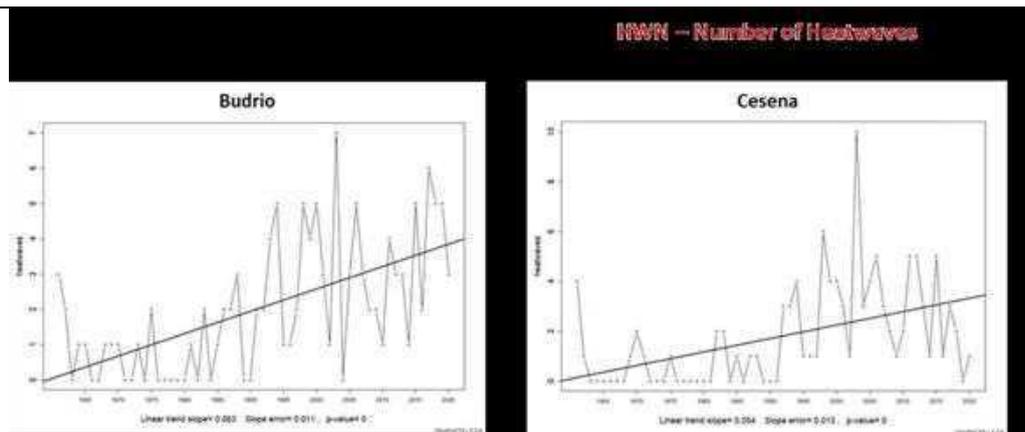


Fig. 15: HWN - Trend significativo

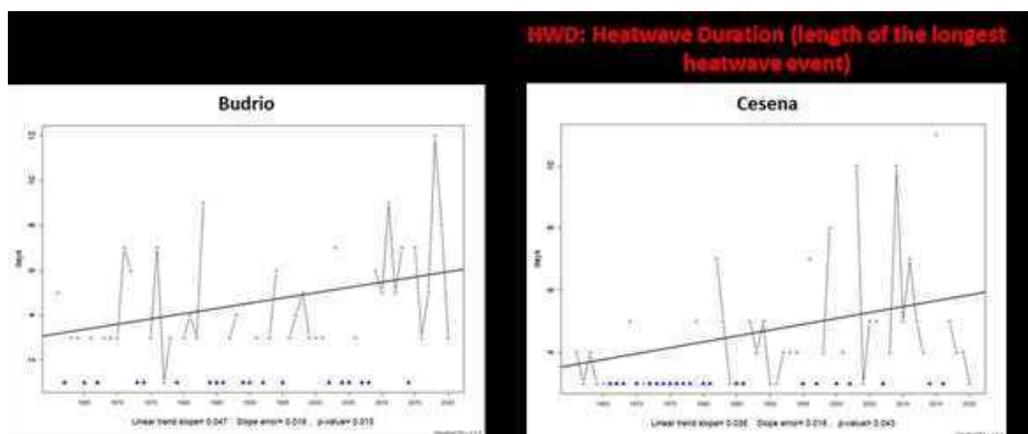


Fig. 16: HWD - Trend significativo

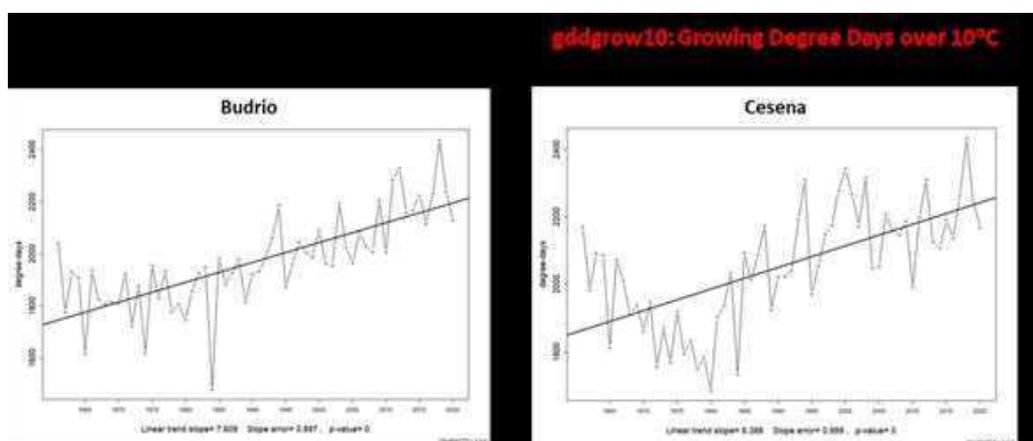


Fig. 17: gddgrow – Trend significativo

Attribuzione dei pesi agli indicatori e analisi della vulnerabilità

Per definire la vulnerabilità delle aree di studio, gli indicatori climatici e pedologici identificati, sono stati aggregati e pesati secondo la metodologia descritta. Per quanto riguarda gli indicatori climatici, si è scelto di selezionare solo quelli il cui trend temporale risultasse significativo. Questa scelta è motivata dalla necessità di individuare fattori che influenzano la vulnerabilità e che fossero ascrivibili ai cambiamenti climatici in atto. A tale fine, nel processo di ponderazione è stato incluso il valore della pendenza della linea di tendenza, e non il valore assoluto di tale indicatore espresso come media nel periodo di riferimento. Questa scelta ha permesso di valutare il cambiamento in atto, evitando che la differenza storica nei microclimi locali possa indurre ad errori nell'analisi sulla vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Per quanto riguarda gli indicatori pedologici, questi sono stati valutati in termini di percentuale, così come espresso dalle analisi del suolo raccolte nell'arco del progetto. I risultati sintetici

derivanti dalla raccolta e calcolo degli indicatori sono riportati nella Tab. 2.

Tab. 2: Indicatori calcolati

<i>Indicatore</i>	<i>Valore</i>	Budrio	Cesena
gddgrow10	trend	7.609	6.388
HWD	trend	0.047	0.038
HWN	trend	0.063	0.054
Tx90p	trend	0.267	0.349
%A	%	20.5	43.6
%S	%	37.6	4.8
%SO	%	1.6	1.6

I singoli indicatori sono stati normalizzati seguendo la formula descritta nell' *Equazione 1*, così da ottenere un valore adimensionale compreso tra 0 e 1 per tutti gli indicatori (*Tab. 3*)

Tab. 3: Indicatori normalizzati

<i>Indicatore</i>	<i>Valore</i>	Budrio	Cesena
gddgrow10	trend	1.00	-
HWD	trend	1.00	0.56
HWN	trend	0.93	-
Tx90p	trend	0.23	1.00
%A	valore %	-	1.00
%S	valore %	1.00	-
%SO	valore %	0.50	-

Ha quindi avuto luogo la consultazione con tre esperti del settore per identificare e descrivere l'impatto di ogni fattore di rischio, quindi assegnarne un peso. Il peso proposto ai tre esperti varia tra -5 e +5. Questo ha permesso di catturare gli effetti positivi e negativi di ogni fattore di rischio (*Tab. 4*).

Tab. 4: Attribuzione dei pesi per ogni indicatore

<i>Indicatore</i>	Pesi			Media
	Esperto 1	Esperto 2	Esperto 3	
gddgrow10	-			
	1.00	0	4.00	1.00
	-	-	-	-
HWD	4.00	5.00	5.00	4.67
	-	-	-	-
HWN	3.00	2.00	4.00	3.00
	-	-	-	-
Tx90p	3.00	2.00	2.00	2.33
	-	-	-	-
%A	2.00	3.00	1.00	1.33
	-	-	-	-
%S	1.00	-	2.00	0.33
	-	-	-	-
%SO	5.00	4.00	5.00	4.67

Infine, grazie ai pesi è stato quindi possibile stimare il fattore di rischio specifico per ogni area studio. Questo è stato calcolato utilizzando l'equazione 2 e riportato nella Tab. 5

Tab. 5: Calcolo del fattore di rischio

<i>Indicatore</i>	<i>Valore</i>	Budrio	Cesena
gddgrow10	trend	-	1.00 -
HWD	trend	18.67	23.33
HWN	trend	9.00	6.00
Tx90p	trend	7.00	4.67
%A	valore %	2.67	4.00
%S	valore %	-	0.33 -
%SO	valore %	23.33	18.67
Fattore di Rischio		-	11.13 - 10.63

Discussione e conclusioni

Il presente studio ha analizzato le potenzialità della fertirrigazione supportata da Fert-irrinet per un'efficiente produzione agricola, resiliente ai cambiamenti climatici. Nella prima fase del presente studio sono stati analizzati i trend climatici in atto e le proiezioni future per l'area d'interesse del progetto.

Le principali criticità causate dai cambiamenti climatici sono relative all'aumento delle temperature, riduzione delle precipitazioni nel periodo primaverile-estivo (nel quale i fabbisogni delle colture sono massimi) e, soprattutto, aumento della frequenza dei fenomeni estremi di temperatura e precipitazione.

Grazie ad una prima analisi di tipo qualitativo è stato possibile identificare i principali fattori di rischio che coinvolgono le produzioni agricole nell'ambito del progetto. Questi sono stati identificati in tre categorie: danno ambientale, degradazione del suolo, decrementi produttivi. Su tali fattori di rischio agisce la fertirrigazione supportata da Fert-App mitigandoli. È stato quindi identificato l'impatto potenziale di ogni fattore di rischio, ad esso associato un menù di indicatori che permettessero di identificarlo. Infine, per ogni fattore di rischio si è proceduto all'identificazione del ruolo che la fertirrigazione e le innovazioni del progetto possono avere nel favorire la capacità di adattamento presso le aziende considerate, diminuendo in questo modo la vulnerabilità del settore ai cambiamenti climatici.

Si è quindi proceduto all'analisi quantitativa, attraverso il calcolo dei dati Arpae per il periodo 1960-2020. Per ogni singolo indicatore, si è proceduto all'analisi del trend lineare e del relativo livello di significatività. Per quanto riguarda gli indicatori legati alle precipitazioni, tra questi non si è trovato nessun trend significativo. Tra le possibili cause è possibile segnalare la maggior complessità di questa classe di indicatori legati alle precipitazioni, rispetto a quelli di temperatura. Viceversa, risultati interessanti e significativi sono osservabili per le temperature ed in particolare per gli indicatori che descrivono il fenomeno delle ondate di calore estive, con aumenti significativi sia in termini di durata che intensità.

Su tali indicatori, assieme a quelli di natura pedologica, si è focalizzata l'analisi di vulnerabilità. I risultati pesati grazie alla consultazione di tre esperti hanno permesso di valutare l'impatto dell'indicatore stesso sull'attività agricola.

A valle di questo processo è stato quindi possibile ottenere un fattore di rischio per ogni area di studio, identificando come maggiormente vulnerabile l'area Cesena.

Su tale rischio quantificato, intervengono, mitigandolo, le attività e le innovazioni proposte dal presente progetto.

La marcata variabilità climatica nel periodo estivo influenza, in maniera significativa sullo stato fisiologico delle colture. A tale proposito il ruolo della fertirrigazione è chiave nel mitigare tali fattori di rischio riducendo quindi la vulnerabilità stimata delle due aree. Questo è vero soprattutto nelle aree maggiormente interessate dai cambiamenti climatici e per le colture più sensibili a stress fisiologici come le orticole e frutticole.

Di seguito sono riportate le fonti utilizzate per lo studio effettuato nell'azione 3.6.

Allen, Myles R., Opha Pauline Dube, and William Solecki. 2018. *IPCC SPECIAL REPORT: GLOBAL WARMING OF 1.5° - Summary for Policymakers*.

Antolini, Gabriele, Pavan Valentina, Rodica Tomozeiu, and Vittorio Marletto. 2017. *Atlante Climatico Dell'Emilia-Romagna 1961-2015*.

Calzadilla, Alvaro, Tingju Zhu, Katrin Rehdanz, Richard S. J. Tol, and Claudia Ringler. 2014. "Climate Change and Agriculture: Impacts and Adaptation Options in South Africa." *Water Resources and Economics* 5:24–48. doi: 10.1016/j.wre.2014.03.001.

Castellari, S., and V. Artale. 2009. *I Cambiamenti Climatici in Italia: Evidenze, Vulnerabilità e Impatti*. Bononia University Press.

Giordano, F., L. Barbieri, T. Freixo Santos, L. Bono, A. Ballarin Denti, M. Lapi, L. Cozzi, M. Pregolato, S. Oliveri, S. Marras, D. Maragno, F. Magni, F. Musco, G. Satta, A. Congiu, and F. Arras. 2018. *LINEE GUIDA, PRINCIPI E PROCEDURE STANDARDIZZATE PER L'ANALISI CLIMATICA E LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ A LIVELLO REGIONALE E LOCALE*.

GIZ & EURAC. 2014. *The Vulnerability Sourcebook – Concept and Guidelines for Standardised Vulnerability Assessments*.

GIZ & EURAC. 2017. *Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk*.

Hugh Turrall, Jacob Burke, and Jean-Marc Faurès. 2011. *Climate Change, Water and Food Security*. Rome.

Kafkafi, U., and S. Kant. 2004. "Fertigation." Pp. 1–9 in *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Vol. 4. Elsevier Inc.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. 2014. *Strategia Nazionale Di Adattamento Ai Cambiamenti Climatici*.

OCSE. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and UserGuide*.

Regione Emilia-Romagna. 2019. *Strategia Di Mitigazione e Adattamento per i Cambiamenti Climatici Della Regione Emilia-Romagna*.

G. Antolini, L. Auteri, V. Pavan, F. Tomei, R. Tomozeiu, V. Marletto, 2015. *A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010*. International Journal of Climatology 08/2015; DOI:10.1002/joc.4473

Perkins S E and Alexander L V 2013 *On the Measurement of heatwaves* J. Clim. 26 4500–17 Online: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>

Nairn J R and Fawcett R G 2013 *Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia* (Centre for Australian Weather and Climate Research)

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta
---	--

2.2 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo orario	Costo totale
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	48	27	1.296,00
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Coordinamento tecnico	520	27	14.040,00
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	306,5	27	8.275,50
AGRIBOLOGNA	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	690	27	18.630,00
Soc. Agr. Calegari S.S.	Imprenditore agricolo	Prove in campo	165	20	3.217,50
Az. Agr. Castellari Coltivare Fraternità	Imprenditore agricolo	Prove in campo	165	20	3.217,50
	OTD	Prove in campo	165	20	3.217,50
Soc. Agr. Fabbri	Imprenditore agricolo	Prove in campo	165	20	3.217,50
ASTRA	Impiegato tecnico	Prove in campo	97	27	2.619,00
ASTRA	Impiegato tecnico	Prove in campo	48	27	1.296,00
ASTRA	Impiegato tecnico	Prove in campo	96	27	2.592,00
AGRONICA	Impiegato tecnico	Analisi SW	652	27	17.604,00
AGRONICA	Impiegato tecnico	Sviluppo SW	827	27	22.329,00
CER	Dirigente	Responsabile scientifico	104	75	7.800,00
CER	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	62	27	1.674,00
CER	Quadro - Tecnico	Supporto tecnico-scientifico	55	43	2.365,00
CER	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	277	27	7.479,00
CER	Impiegato tecnico	Supporto tecnico	174	27	4.698,00
CER	Quadro - Tecnico	Supporto tecnico-scientifico	260	43	11.180,00
CER	Operaio Agricolo	Prove in campo	245	20	4.777,50
CER	Operaio Agricolo	Prove in campo	245	20	4.777,50
CER	Operaio Agricolo	Prove in campo	245	20	4.777,50
Totale:					151.080,00

AZIONE 4 – DIVULGAZIONE

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione 4	DIVULGAZIONE
Unità aziendale responsabile	RI.NOVA
Descrizione delle attività	<p>L'azione di diffusione dei risultati è stata rivolta alle aziende agricole partner e a tutti gli operatori del settore agricolo ed agro-industriare.</p> <p><u>Piano di comunicazione</u> Le diverse azioni divulgative organizzate da RI.NOVA sono state indirizzate a garantire il trasferimento delle informazioni. RI.NOVA ha organizzato un piano di divulgazione attraverso i classici canali quali articoli ed incontri tecnici, sia attraverso le piattaforme web che consentono la condivisione e visualizzazione in rete di contenuti multimediali (es. YouTube, Portale pagina web) che rappresenta un obiettivo intrinseco del PSR. In accordo con il capofila Consorzio Agribologna e con le diverse U.O., il personale RI.NOVA ha quindi organizzato e gestito le iniziative e azioni di diffusione previste dal progetto.</p> <p>Tutte le iniziative svolte hanno rappresentato anche momenti di discussione e confronto sul tema oggetto dell'evento, permettendo così un utile scambio di esperienze e risposte a vantaggio di tutti i partecipanti e del GO stesso. In totale, dall'attivazione del progetto fino al termine della durata del progetto sono state realizzate in totale n. 9 iniziative di divulgazione così suddivise:</p> <ul style="list-style-type: none">• n. 1 Pagina web sul Portale di Ri.NOVA;• n. 1 Incontro tecnico;• n. 3 Visite guidate;• n. 1 Articolo tecnico• n. 1 Articolo divulgativo;• n. 1 Audiovisivo;• n. 1 Podcast. <p><u>Portale RI.NOVA</u> RI.NOVA ha messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio Portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente Piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza. All'interno del portale RI.NOVA è stata individuata una pagina dedicata al Piano (https://rinova.eu/it/progetti/figaro-fertirrigazione-e-irrigazione-razionale-in-orticoltura/) composta da una testata e da un dettaglio dove sono stati caricati tutti i dati essenziali del progetto. Inoltre attraverso un contatto continuo con il Responsabile del Piano, un referente RI.NOVA ha proceduto all'aggiornamento della pagina con il materiale divulgativo ottenuto nell'ambito del Piano. Questo strumento comunicativo e divulgativo consente altresì di poter visionare collegamenti e sinergie che il presente piano può avere anche con altri progetti e/o iniziative.</p>

Incontri tecnici, visite guidate

Tutte le iniziative svolte hanno rappresentato momenti di discussione e confronto sul tema oggetto dell'evento, permettendo così un utile scambio di esperienze a vantaggio di tutti i partecipanti. Sono stati realizzati n.1 incontro tecnico e n.3 visite guidate. Di seguito le date degli incontri tecnici e visite guidate riportato nel dettaglio nella tabella 1:

Tab.1 - Programma visite guidate e incontro tecnico

DATA	TITOLO	LUOGO
13/07/2023	Progetto "FIGARO" – Applicazione pratiche di DSS nella fertirrigazione del pesco.	Società Agricola Fabbri di Fabbri Maurizio e Roberto S.S. Sanarcangelo di Romagna (RN)
27/09/2023	Progetto "FIGARO" – Applicazione pratiche di DSS nella fertirrigazione del cetriolo e della melanzana in serra e dello zucchini in pieno campo.	Società Agricola Calegari S.S di Calegari Alessandro &C. Budrio (BO)
08/11/2023	Progetto "FIGARO" – Applicazione pratiche di DSS nella fertirrigazione della lattuga in pieno campo.	Azienda Agricola Castellari Massimo – Castenaso (BO)

Durante le visite guidate e gli incontri tecnici sono state presentate dai vari relatori le attività e tematiche inerenti al progetto per fare conoscere ai partecipanti il lavoro svolto. Di seguito alcune foto scattate durante le diverse visite guidate e incontro tecnico realizzati nel corso del 2023.



Foto 1 - Visita guidata e Incontro tecnico realizzato in data 13 luglio presso Az. Fabbri(RN)



Foto 2 - Visita guidata presso l'azienda Calegari (BO) in data 27 settembre



Foto 3 - Visita guidata presso l'azienda Castellari (BO) realizzata in data 8 novembre.

Tutta la documentazione relativa alle locandine prodotte e diffuse e i fogli firma registrati in occasione delle diverse iniziative sopra indicate sono riportate in allegato (All. 1 - Az.4 Divulgazione).

Articolo tecnico e articolo divulgativo

E' stato realizzato un articolo tecnico dal titolo "*Fertirrigazione automatizzata più efficiente e razionale*" pubblicato nella rivista specializzata l'Informatore Agrario n.21/2024 redato dai partner CER e Agronica Group. Un articolo divulgativo dal titolo "*Colture protette, meno acqua e minor impatto ambientale*" pubblicato nella rivista settimanale, specializzata Terra e Vita nello Speciale irrigazione n.5-2024 redato dal partner del CER. (Tabella 2). Gli articoli sono riportati in allegato (All.1 Az.4 Divulgazione).

Tab.2 – Articoli tecnici

ARTICOLI		
Data	Titolo	Rivista
21/2024	<i>Fertirrigazione automatizzata più efficiente e razionale</i>	Informatore Agrario
12 febbraio 2024	<i>Colture protette, meno acqua e minor impatto ambientale</i>	Terra e vita

Audiovisivo

E' stato realizzato n. 1 audiovisivi con la descrizione delle attività svolte del Piano FIGARO. Il video è stato realizzato dai tecnici di Ri.NOVA che si sono occupati di individuare i referente per le interviste, l'organizzazione, definire una "scaletta" degli argomenti da presentare in collaborazione con i partner, e la definizione delle riprese filmate. L'audiovisivi della durata di 5 minuti è consultabili tramite la piattaforma Youtube al seguente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=mGNA89pDY-Y>

Podcast

Tra le attività portate avanti nell'ambito della divulgazione, Ri.Nova ha realizzato il **podcast** già **disponibile sulla Pagina web di Ri.NOVA dedicata a FIGARO**. Si è scelto di approfittare di questo mezzo di comunicazione che può essere ascoltato in qualsiasi luogo anche in movimento, direttamente in streaming su Internet o si scaricano sul proprio dispositivo – tablet o smartphone - attraverso piattaforme dedicata. All'interno della traccia audio è si parlerà di fertirrigazione e di irrigazione delle colture orticole e frutticole coltivate in pieno campo e in colture protette che sono il tema centrale del progetto FIGARO, inoltre si darà ampio spazio alle tecniche e strategie innovative per contribuire a ridurre l'inquinamento da nitrati per un agricoltura sostenibile. Di seguito il link di collegamento che si trova nella Pagina web di Ri.NOVA dedicata al Piano.

<https://www.spreaker.com/episode/figaro-fertirrigazione-e-irrigazione-in-orticoltura-sostenibilita-e-cambiamento-climatico--57211869>

Collegamento alla rete PEI

Come indicato nell'Azione 1, il personale di Ri.NOVA si è infine fatto carico di predisporre in lingua italiana e inglese, le modulistiche richieste per la presentazione del Piano al fine del collegamento alla Rete PEI-Agri.

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.

2.2 PERSONALE

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo orario	Costo totale
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Divulgazione	8	27	216,00
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Coordinamento tecnico	110,5	27	2.983,50
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Divulgazione	42	27	1.134,00
RI.NOVA	Impiegato segreteria	Segreteria	60,5	27	1.633,50
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Divulgazione	66,5	27	1.795,50
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Supporto divulgazione	32	43	1.376,00
RI.NOVA	Impiegato tecnico	Coordinamento divulgazione	118	43	5.074,00
CER	Quadro - tecnico	Supporto divulgazione	32	43	1.376,00
CER	Quadro - tecnico	Supporto divulgazione	32	43	1.376,00
				Totale:	16.964,50

2.3 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

Ragione sociale della società di consulenza	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
STUDIO KAIROS	950,00 €	Realizzazione audiovisivo	950,00 €
			Totale: 950,00 €

AZIONE 5 – FORMAZIONE E CONSULENZA

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione 5	FORMAZIONE/CONSULENZA
Unità aziendale responsabile	DINAMICA
Descrizione delle attività	<p>E' stato realizzato la seguente attività:</p> <ul style="list-style-type: none">• N.1 Corso di formazione• Titolo del corso: "Come realizzare una fertirrigazione e irrigazione razionale in orticoltura per: ridurre l'inquinamento, adattare le coltivazioni al cambiamento climatico e integrando metodi a basso impatto"• Proposta: nr domanda Agrea 5518025• Domanda di avvio GOI: n. domanda Agrea 5694717• Domanda di pagamento: n. 5752029• Periodo di svolgimento: dal 5/10/23 al 30/11/2023• Durata: 29 ore• Partecipanti: n. 19• Spesa totale rendicontata: 13.642,76 €• Contributo sulla spesa rendicontata: 10.000,00 €
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati completamente raggiunti. Nessun scostamento rispetto al piano di lavoro da segnalare. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Criticità tecnico-scientifiche	<p>Le attività svolte hanno consentito il raggiungimento degli obiettivi prefissati ed in particolare hanno fornito i dati e le indicazioni attese Nessuna criticità da segnalare</p>
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	<p>Nessuna criticità da segnalare</p>
Criticità finanziarie	<p>Nessuna criticità da segnalare</p>

4 - ALTRE INFORMAZIONI

////////////////////////////////////

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

////////////////////////////////////

6 - RELAZIONE TECNICA

Descrizione delle attività complessivamente effettuate

Esercizio della cooperazione

RI.NOVA ha svolto nel suo ruolo di coordinatore e gestore delle azioni del Piano d'innovazione, pianificando e mettendo in atto tutte le iniziative necessarie a realizzare l'attività progettuale e conseguire i risultati previsti dal Piano stesso. In primo luogo, è stato costituito un Comitato di Progetto, composto dal Responsabile del Piano d'innovazione, dal Responsabile Scientifico e da almeno un Rappresentante per ogni Unità Operativa coinvolta nella realizzazione delle diverse azioni previste dal Piano. Per tutta la durata del Piano, RI.NOVA ha quindi svolto una serie di attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso, e in particolare: il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori; la valutazione dei risultati in corso d'opera; l'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi con quelli raggiunti e quelli attesi; la definizione delle azioni correttive. Inoltre, il Responsabile del Piano d'innovazione, in stretta collaborazione con il Responsabile Scientifico, si è preoccupato di pianificare una strategia di controllo circa il buon andamento delle attività del Piano.

Azione 3.1 – Reperimento dei parametri per la determinazione dei fabbisogni idrici e delle curve di assorbimento degli elementi nutritivi

Il CER ha raccolto i dati necessari allo svolgimento dell'azione dalla bibliografia esistente e dalle Norme Generali dei Disciplinari di Produzione Integrata (DPI) della regione Emilia-Romagna. Questi dati hanno permesso di definire le curve di assorbimento per azoto, fosforo e potassio per colture orticole (melanzana, cetriolo, zucchino e lattuga) e frutticole (pesco e fragola), determinando il corretto frazionamento dei nutrienti in funzione dei fabbisogni delle singole colture durante il ciclo produttivo e delle specificità dei diversi sistemi irrigui (aspersione e microirrigazione). Le informazioni raccolte sono state utilizzate per creare un database che aiuti nella gestione nutrizionale delle colture, migliorando le rese produttive e riducendo l'impatto ambientale.

Il software in cui sono stati inseriti i dati ottenuti dalle curve di assorbimento effettuate delle previsioni, sulla base dei dati chimici del suolo e sulle informazioni inerenti alla coltura, per calcolare il bilancio nutritivo secondo le norme regionali. Inserendo questi dati, il sistema determina il fabbisogno annuale della coltura e fornisce informazioni sul consumo giornaliero di N, P e K, la data della prossima fertilizzazione, e la dose da distribuire per ogni elemento, considerando il metodo irriguo utilizzato. Questi dati sono visualizzati sia nella pagina delle informazioni nutritive che nel "cruscotto irriguo", generando così il consiglio fertirriguo. Inoltre, il sistema calcola automaticamente la dose di prodotto commerciale da distribuire sulla superficie interessata, basandosi sulle percentuali di elementi presenti all'interno del prodotto stesso. Inoltre, viene generato anche un report stampabile che documenta le fertilizzazioni effettuate, utile per chi aderisce alle misure agro-ambientali.

Azione 3.2 - Strumenti integrati di smart farming per la gestione della fertirrigazione in orticoltura

Questa attività ha ampliato l'integrazione tra la piattaforma GIAS e il sistema Irrinet/Irriframe, ottimizzando l'uso dell'acqua grazie a consigli irrigui personalizzati basati su dati accurati ed aggiornati. La piattaforma GIAS utilizza il piano colturale e il quaderno di campagna per creare un

dataset completo che Irrinet/Irriframe impiega per elaborare raccomandazioni specifiche per l'irrigazione. L'integrazione dei dati, effettuata tramite Webservice, include informazioni meteorologiche, umidità del terreno, geolocalizzazione degli appezzamenti, dettagli delle colture, e dati dalle operazioni registrate nel quaderno di campagna. Questa integrazione permette di elaborare consigli irrigui precisi e puntuali, migliorando la gestione sostenibile delle risorse idriche e aumentando la produttività e sostenibilità delle attività agricole. Inoltre, è stato sviluppato un algoritmo per calcolare l'evapotraspirazione corretta per le colture in serra, considerando il particolare microclima interno. Sono state installate stazioni meteorologiche all'interno delle serre per misurare i parametri climatici e determinare il tasso di evapotraspirazione. I dati raccolti all'interno delle serre sono stati confrontati con quelli esterni, permettendo di sviluppare regressioni polinomiali specifiche per diverse tipologie di serre (Veronese, Tunnel e Serra multipla). Un'interfaccia utente in Irriframe consente di selezionare la coltivazione in serra e applicare le correzioni appropriate ai dati di evapotraspirazione, escludendo le piogge dal computo del bilancio idrico.

Azione 3.3 – Prove in campo per il confronto tra la fertirrigazione aziendale e la fertirrigazione mediante DSS Fertirrinet

La realizzazione dell'azione ha permesso di confrontare due modalità di fertirrigazione per le colture su cui è stato effettuato lo studio delle curve di assorbimento: una pratica aziendale tradizionale e una innovativa basata sull'utilizzo del DSS Fert-Irrinet. Questo confronto è stato condotto in diversi contesti agricoli, pieno campo e diverse tipologie di serra presso le diverse aziende agricole partner. La fertirrigazione aziendale segue le pratiche tradizionali dell'agricoltore, dove la concimazione e l'irrigazione sono gestite in base alle prassi comuni senza l'uso di strumenti di supporto decisionale automatizzati. La fertirrigazione con Fert-Irrinet utilizza i dati forniti dal DSS progettato per gestire la fertirrigazione in modo ottimizzato. L'applicativo considera variabili come la solubilità dei fertilizzanti, la conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione e la salinità per calcolare e distribuire in modo mirato la nutrizione idrico-minerale delle colture.

È stato valutato l'uso efficiente di azoto attraverso le due tecniche di fertirrigazione. Sebbene non siano stati osservati aumenti significativi di resa nelle colture fertirrigate rispetto a quelle gestite tradizionalmente, è stata registrata una maggiore efficienza nell'uso dell'azoto, anche se non statisticamente significativa in termini di produzione commerciale.

Sono state valutate le implicazioni economiche dell'implementazione di Fert-Irrinet rispetto alla pratica aziendale tradizionale. È stato osservato un incremento marginale nel profitto lordo vendibile con l'approccio fertirrigato, nonostante la mancanza di significatività statistica.

Sono state utilizzate tecnologie innovative come le sonde per il monitoraggio in tempo reale dei principali elementi nutritivi nel suolo, valutando la loro accuratezza e affidabilità nelle condizioni operative di campo.

Azione 3.4 – Messa a punto di un sistema pilota in grado di automatizzare la gestione irrigua e fertirrigua degli impianti tramite il DSS Fertirrinet e integrata all'interno del GIAS

In questa azione è stato messo a punto un sistema pilota per permettere di automatizzare la gestione irrigua e fertirrigua e integrare sistemi avanzati di fertirrigazione e automazione per centraline di controllo degli impianti irrigui. Nella prima parte sono stati definiti e implementati protocolli operativi astratti per l'interfacciamento con le centraline, includendo mappe di prescrizione per l'irrigazione a rateo variabile. Questa funzionalità è stata integrata nativamente nella piattaforma GIAS, permettendo l'utilizzo di dati colturali e sensoristici per ottimizzare le operazioni.

Nella seconda parte, è stato realizzato un sistema pilota di automazione per una specifica centralina di controllo. Dopo l'installazione presso il centro sperimentale Acqua Campus, sono stati compiuti significativi progressi:

- Acquisizione delle credenziali e delle specifiche tecniche del webserver alla centralina;
- Studio dettagliato degli end-point del webserver per comprendere le API disponibili e i parametri associati;
- Analisi dei programmi implementabili nella centralina per gestire operazioni di irrigazione e fertirrigazione;

- Integrazione e utilizzo efficiente dei dati generati da Irriframe e Fert-Irrinet per ottimizzare le operazioni della centralina.

Azione 3.5 - Prove di campo per il controllo con metodi a basso impatto del Pythium

La ricerca ha valutato l'efficacia di vari composti a basso impatto ambientale nel contrastare il Pythium su colture di zucchini, confrontandoli con un controllo non trattato e un trattamento chimico standard. I prodotti testati sono stati Amylo x, Tusal, Remedier, Triatum – P, e Previcur energy. La sperimentazione ha coinvolto 6 tesi replicate 4 volte su un campo in Emilia-Romagna.

I risultati principali indicano che non ci sono state differenze significative tra le tesi per quanto riguarda l'indice SPAD e l'indice NDVI, che misurano rispettivamente il contenuto di clorofilla e la salute vegetativa delle piante. Tuttavia, si è osservata una significativa variazione nel numero di frutti prodotti per metro quadrato, con Previcur energy che ha registrato la produzione più elevata seguita da Triatum – P.

Per quanto riguarda la mortalità delle piante, Amylo x e Tusal hanno mostrato un maggiore numero di piante morte nel primo mese dopo il trapianto, possibilmente a causa di condizioni di ristagno idrico nel campo. Questi risultati indicano che, nonostante alcune differenze nella mortalità delle piante e nella produzione di frutti, i composti testati non hanno avuto un impatto significativo sulle misurazioni vegetative. In conclusione, mentre alcuni prodotti hanno mostrato promettenti risultati nella produzione di frutti, è necessario ulteriori studi per comprendere appieno l'efficacia di questi composti contro il Pythium nelle condizioni specifiche dell'Emilia-Romagna e sotto l'influenza dei cambiamenti climatici.

Azione 3.6 - Studio capacità di adattamento ai cambiamenti climatici

Lo studio condotto si è concentrato sull'analisi della vulnerabilità e sull'adattamento ai cambiamenti climatici attraverso l'implementazione della fertirrigazione supportata da Fert-Irrinet nelle colture in serra dell'Emilia-Romagna. Inizialmente, sono stati esaminati i trend climatici attuali e le proiezioni future per l'area di studio, evidenziando un aumento delle temperature e una diminuzione delle precipitazioni estive, critiche per le colture.

Utilizzando una metodologia che include normalizzazione e ponderazione degli indicatori climatici e pedologici, sono stati identificati e valutati fattori di rischio specifici per due aree: Budrio e Cesena. Gli esperti hanno attribuito pesi agli indicatori in base alla loro rilevanza nell'influenzare la vulnerabilità delle colture ai cambiamenti climatici. I risultati hanno mostrato che Cesena è più vulnerabile rispetto a Budrio, con i fattori di rischio calcolati rispettivamente a 10,63 e 11,13.

Infine, l'analisi ha evidenziato che l'introduzione della fertirrigazione supportata da Fert-Irrinet può mitigare significativamente questi rischi, migliorando l'adattamento delle colture agli stress climatici. Questo approccio non solo mira a proteggere la produzione agricola, ma anche a garantire una gestione sostenibile delle risorse idriche e a promuovere la resilienza del settore agricolo della regione.

Attività di divulgazione

In accordo con i partner del GO, il personale di RI.NOVA ha organizzato e gestito diverse iniziative e azioni di divulgazione. In particolare, sono state realizzate nr. 3 visite guidate, nr. 1 incontro tecnico, nr. 2 articoli e nr. 1 audiovisivo ed nr. 1 Podcast. RI.NOVA ha inoltre messo a disposizione del Gruppo Operativo il proprio portale Internet, affinché le attività ed i risultati conseguiti nel presente Piano siano facilmente identificabili e fruibili dall'utenza.

Attività di formazione

E' stato realizzato un corso di formazione dal titolo "Come realizzare una fertirrigazione e irrigazione razionale in orticoltura per: ridurre l'inquinamento, adattare le coltivazioni al cambiamento climatico e integrando metodi a basso impatto" al quale hanno partecipato 19 persone tra tecnici e titolari della aziende agricole partner del GOI.

Risultati innovativi e prodotti che caratterizzano il Piano

L'estensione delle funzioni di integrazione tra GIAS e Irrinet/Irriframe rappresenta un significativo passo avanti nella gestione sostenibile delle risorse idriche in agricoltura. Grazie alla trasmissione precisa e puntuale dei dati rilevati nell'ambito del progetto, è possibile elaborare consigli irrigui che rispondono in maniera specifica alle esigenze delle colture e alle condizioni ambientali locali. L'approccio integrato adottato dimostra l'importanza di utilizzare strumenti digitali avanzati per affrontare le sfide attuali dell'agricoltura. La disponibilità di dati dettagliati e accurati consente agli agricoltori di prendere decisioni informate, migliorando la produttività e la sostenibilità delle loro attività. L'integrazione tra GIAS e Irrinet/Irriframe non solo ottimizza la gestione dell'irrigazione, ma rappresenta anche un modello virtuoso di come le tecnologie digitali possano essere applicate con successo nel settore agricolo. Questo approccio ha migliorato la precisione dei consigli irrigui per le colture protette, ottimizzando l'uso dell'acqua e migliorando l'efficienza dell'irrigazione nelle serre.

Un altro risultato importante dell'attività del progetto è stato quello di posizionare una stazione meteorologica all'interno delle serre che ha permesso di rilevare i principali parametri climatici e determinare il tasso di evapotraspirazione grazie all'utilizzo di formule climatiche. Queste informazioni sono state recepite e hanno permesso di mettere a punto un sistema di irrigazione e fertirrigazione completamente automatizzato, sfruttando le potenzialità del sistema Irriframe. Questo permette di contribuire con precisione nel determinare il momento ottimale per l'intervento irriguo e fertirriguo, applicare volumi irrigui effettivi in relazione all'esigenza delle singole specie.

Il confronto tra le due modalità di fertirrigazione (aziendale e mediante DSS Fertirinet) ha evidenziato vantaggi potenziali nell'uso dei sistemi DSS per ottimizzare la gestione delle risorse e migliorare l'efficienza nutrizionale delle colture. Tuttavia, le differenze nei risultati di resa ed efficienza economica non sono risultate statisticamente significative nelle prove condotte. La gestione razionale degli elementi nutritivi grazie ad un dosaggio frazionato più accurato degli stessi, in particolare dell'azoto, migliorerà comunque sia le rese che la qualità dei prodotti ortofrutticoli.

Gli studi condotti hanno permesso di implementare in Irriframe algoritmi in grado di ridurre l'evapotraspirazione ed escludere i dati di precipitazioni per le colture protette e automatizzare la gestione attraverso il trasferimento del fertirriguo direttamente dalla centralina senza l'intervento dell'agricoltore. Il risultato finale è stato il completamento della progettazione e lo sviluppo del software, seguito da una fase intensiva di validazione e test. Questi sforzi hanno garantito un sistema robusto e conforme agli standard operativi, migliorando l'efficienza e la precisione nell'irrigazione e fertirrigazione degli impianti agricoli. La necessità irrigua e quella riportate sui DSS irrigazione di GIAS, basato sul modello Irriframe, permette all'agricoltore di avere un dato preciso sia dei volumi irrigui sia dei nutrienti necessari questo è stato possibile grazie alle aziende agricole coinvolte nel progetto che sono state "utilizzate" come aziende pilota e contribuire così alla diffusione delle innovazioni ottenute agli altri agricoltore della filiera.

In generale, Le azioni svolte nel progetto hanno contribuito a migliorare la gestione delle risorse idriche e nutritive in agricoltura, riducendo l'impatto ambientale e aumentando l'efficienza produttiva. Attraverso studi dettagliati, implementazione di tecnologie avanzate e test di campo, sono state sviluppate pratiche agricole più sostenibili e adattabili ai cambiamenti climatici, garantendo al contempo la qualità e la quantità delle produzioni agricole.

Potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

Il sistema tecnologico Irriframe/feririnet permetterà all'agricoltore di limitare il controllo alla sola supervisore dei processi riducendo l'aggravio associato alla gestione operativa. Esso permetterà inoltre di migliorare l'efficienza e l'efficacia delle pratiche agricole quali irrigazione e concimazione contribuendo anche alla sostenibilità ambientale per una minor perdita per lisciviazione una riduzione dei nitrati nella falda ipodermica regionale. Un miglioramento della produttività, grazie ad una maggior sinergia degli elementi funzionali quali acqua e nutrienti, sarà anche possibile grazie ai risultati ottenuti nell'ambito di questo progetto; come pure un beneficio economico potrà derivare dal risparmio economico a seguito di una riduzione delle quantità di input impiegate. Infine si evidenzia il ruolo importante della tecnologia, applicata nell'affrontare le sfide ambientali legate al cambiamento climatico. Il tutto per valorizzare e riconoscere l'importante ruolo dell'agricoltore, non solo perché produce prodotti di qualità, ma perché presidia e tutela il territorio contribuendo al contrasto dei cambiamenti climatici.

Data: 2 lug. 24

Firma del legale rapp.te

.....
Firma autografa (*) Firma digitale (**)¹

¹ (*) In caso di firma autografa allegare copia di un documento di identità in corso di validità
(**) Ai sensi dell'art. 24 del D.Lgs. 82/2005