



DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE

Peschicoltura più sostenibile grazie alla combinazione di diverse tecnologie

Sistemi agrivoltaici, robotica avanzata, sensori IoT e Dss contribuiscono a migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua, ma senza adeguati aggiustamenti gestionali possono presentarsi criticità sulla qualità del frutto

di G. Bortolotti, L. C. Grappadelli, C. Franceschini, I. Ansaloni, A. Boini, E. Tarpinelli
G. D. Perulli, L. Manfrini

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari - Università di Bologna



Vista aerea del frutteto S40 nelle sue parti: controllo monoblocco (in basso a destra) e copertura ombreggiante (in basso a sinistra)

Il progetto Smart Specialized Sustainable Stonefruit Orchard (S40) - che vede la sua realizzazione presso il Centro Sperimentale di Cadriano del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari dell'Università di Bologna - punta a trasformare entro il 2026 il pescheto in un ecosistema agricolo avanzato e resiliente, integrando tecnologie all'avanguardia come sistemi agrivoltaici, robotica avanzata, sensori IoT e strumenti Dss (Decision support systems) per la gestione delle risorse. Il progetto rappresenta un'evoluzione significativa rispetto al precedente S30, un'iniziativa di successo dedicata ai frutteti intelligenti per la coltivazione del melo che ha dimostrato la validità di un modello integrato basato su tecnologie avanzate, raggiungendo eccellenti risultati come il dimezzamento del consumo idrico e una significativa riduzione dell'uso di fitosanitari. Tuttavia, la coltivazione del pesco presenta sfide peculiari che richiedono un approccio diverso rispetto a quello adottato per il melo, in particolare per quanto riguarda la gestione della maturazione del frutto, la sua pezzatura e il contenuto zuccherino. S40 si propone di affrontare queste specificità, con l'obiettivo di portare l'innovazione nella coltivazione delle drupacee, rilanciando al contempo la sostenibilità ambientale ed economica del settore.

Partner e collaborazioni

Coordinato da Ri.Nova Lab, con la collaborazione del Consorzio di Bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo (Cer) ed i Centri Interdipartimentali Agro-Alimentare e Meccanica Avanzata e Materiali dell'Università di Bologna, il progetto è parte integrante del Programma Regionale Pr-Fesr 2021-2027, che si concentra sull'innovazione tecnologica.



> 1 febbraio 2026 alle ore 0:00

DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE



Caratteristiche della parte di frutteto in cui viene simulata la presenza di coperture agrivoltaiche fisse

ca per la sostenibilità agricola. Proprio per questo fanno parte della compagine imprese commerciali come Netafim, Winet srl, Field Robotics, e differenti cooperative della regione Emilia-Romagna, tra cui Apoconerpo, Apofruit, Granfrutta Zani e Orogel fresco. Il progetto quindi, oltre alle ambizioni nei risultati da per-

seguire, si caratterizza per un elevato grado di interdisciplinarietà, che comprende diversi settori dell'ingegneria, della frutticoltura, nelle sue articolazioni di valutazione fisiologica, agronomica, della difesa e della performance produttiva, nonché della gestione precisa della risorsa acqua attraverso sistemi esperti. Grazie a questa peculiarità ognuno dei partecipanti potrà ampliare la propria sfera di competenza oltre alle ordinarie attività di ricerca.

Gli obiettivi del progetto

Attraverso l'uso di coperture multifunzionali, sensori avanzati e un approccio basato sull'analisi dei dati, il progetto mira a ottimizzare ogni fase della produzione peschicola. Ad esempio, l'integrazione dei sistemi agrivoltaici consentirà non solo di proteggere le colture da eventi climatici avversi, ma anche di generare energia rinnovabile utilizzata per alimentare mezzi elettrici, sensori e sistemi di irrigazione. In questo modo, il pescheto S40 non solo riduce il proprio impatto ambientale, ma si avvicina a diventare un sistema agricolo a zero emissioni, contribuendo alla lotta contro i cambiamenti climatici.

Una delle principali criticità affrontate dal progetto riguarda l'ottimizzazione dell'uso dell'acqua, risorsa sempre più limitante in numerosi areali frutticoli. Il progetto S40 si pone l'obiettivo di ridurre fino al 50% i consumi idrici attraverso un approccio integrato che combina

l'impiego di coperture multifunzionali, sistemi di supporto alle decisioni (Dss) come Irriframe e sensori avanzati per il monitoraggio in tempo reale dello stato idrico del suolo, della pianta e delle condizioni microclimatiche. Tale strategia mira non solo a migliorare l'efficienza della gestione irrigua, ma anche a mantenere elevati standard qualitativi del frutto in condizioni di limitata disponibilità idrica.

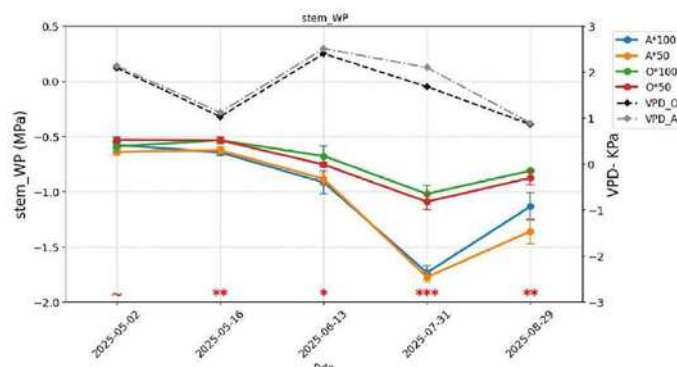
Caratteristiche dell'impianto

Nel 2025 la sperimentazione è stata condotta sulla cultivar di nettarina Extreme 615 innestata su portinnesto GF677, confrontando due ambienti caratterizzati da differenti condizioni di illuminazione: uno con rete antinsetto e uno con copertura multifunzionale. Queste condizioni sono state progettate per simulare, rispettivamente, un pescheto commerciale tradizionale con ombreggiamento pari a circa il 18% e un sistema frutticolo innovativo dotato di coperture fotovoltaiche di tipo statico. In quest'ultimo ambiente sono state adottate coperture con differente intensità ombreggiante: lungo la fila, con estensione perpendicolare all'asse del frutteto di 1 m per lato (totale 2m di copertura delle piante), è stata installata una copertura nera con potere ombreggiante prossimo al 100% (94-97%), mentre nell'interfilare l'ombreggiamento risultava quello di una rete antinsetto/antigrandine, pari a circa il 18% - nell'arco della giornata (alba-tramonto) questo sistema ha provocato una riduzione dell'illuminazione pari al 53%. All'interno dei due ambienti luminosi sono stati inoltre applicati due livelli di restituzione irrigua, pari al 100% e al 50% dell'evapotraspirato stimato, per l'intera stagione produttiva. Le differenti strategie irrigue sono state ottenute mediante l'installazione di ali gocciolanti con portate differenziate. Nel dettaglio, nel corso della stagione 2025 il trattamento al 100% ha ricevuto un volume irriguo complessivo di circa 160 mm, mentre il trattamento al 50% ha ricevuto circa 79 mm.

Lo stato idrico della pianta

Nella prova S40 sono così identificati 2 trattamenti differenziati di illuminazione, antigrandine/antinsetto (A) e ombreggiato (O) e di irrigazione, 100% e 50%, in cui sono state misurate sia performance fisiologiche che produttive. In particolare, nel corso della stagione produttiva è stato analizzato lo stato idrico della pianta,

FIG. 1 ANDAMENTO DEL VPD E DEL POTENZIALE IDRICO DEL FUSTO LUNGO LA STAGIONE PER I DIFFERENTI TRATTAMENTI





> 1 febbraio 2026 alle ore 0:00

DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE

sia a livello di fusto (potenziale idrico di fusto, *fig. 1*) sia a livello fogliare. La misurazione di riferimento per la valutazione dello stato idrico della pianta è stata effettuata al mezzogiorno solare, momento della giornata in cui la domanda evaporativa è massima, mediante l'utilizzo della camera di Scholander. La misurazione del **potenziale idrico di fusto** è stata eseguita utilizzando una foglia precedentemente ombreggiata, posta in equilibrio idrico con il fusto e con l'intera pianta. La foglia viene inserita all'interno della camera, lasciando il picciolo all'esterno attraverso un'apposita apertura; successivamente, la pressione all'interno dello strumento viene gradualmente aumentata fino alla comparsa di una goccia di linfa dal picciolo. Il valore di pressione registrato in quel momento (espresso in MPa; 1 MPa = 10 bar) rappresenta il potenziale idrico della pianta. Lo stesso approccio è stato applicato anche a una foglia ben illuminata, al fine di valutare lo stato idrico a livello fogliare.

Come riportato in *figura 1*, le irrigazioni differenziate nei due trattamenti sono state avviate a partire dal 29 maggio. Di conseguenza, nelle date precedenti alla differenziazione degli apporti irrigui, tutti i trattamenti mostra-

no uno stato idrico simile e ottimale, sebbene siano presenti differenze statisticamente significative attribuibili al tipo di copertura. Con l'avanzare della stagione, emerge chiaramente come le diverse coperture influenzino in modo differenziato lo stato idrico delle piante. In particolare, gli alberi coltivati sotto copertura ombreggiante (O) mantengono uno stato idrico ottimale per l'intera stagione, indipendentemente dal livello di restituzione irrigua (50% o 100%). Al contrario, sotto rete antigrandine (A) lo stato idrico risulta progressivamente più negativo, fino a raggiungere un livello di stress idrico marcato in data 31 luglio, che si attenua nel rilievo successivo.

Anche sotto rete antigrandine non si osserva una chiara differenziazione tra i trattamenti irrigui, che risultano non significativamente differenti dal punto di vista statistico. È importante sottolineare che il forte stress idrico registrato il 31 luglio è riconducibile a una rottura della condotta principale, che ha determinato un periodo di secca protratto di circa 10 giorni, interessando in modo analogo entrambe le coperture (A e O). Tuttavia, risulta evidente come la copertura ombreggiante abbia esercitato un effetto mitigante sullo

stress idrico, limitando la severità delle condizioni di deficit rispetto a quanto osservato sotto rete antigrandine.

Nella *figura 1* è inoltre riportato il **deficit di pressione di vapore** (Vpd), indice che integra temperatura e umidità relativa dell'aria e fornisce un'indicazione della domanda traspirativa dell'ambiente. Contrariamente a quanto atteso, i valori di Vpd risultano simili per gran parte della stagione; tuttavia, in corrispondenza del rilievo del 31 luglio si osserva un chiaro effetto della copertura ombreggiante nel ridurre il Vpd, e quindi la richiesta traspirativa delle piante, contribuendo alla mitigazione dello stress idrico. Andamento simile è stato registrato per il potenziale idrico della foglia. In generale lo stato idrico di foglie piante e foglie risulta ottimale per la funzionalità delle piante in praticamente tutte le date considerate, se non per il momento di stress del 31 luglio; probabilmente, senza questo periodo di mancata irrigazione i trattamenti sarebbero risultati molto più simili tra loro durante la stagione.

Performance fisiologica

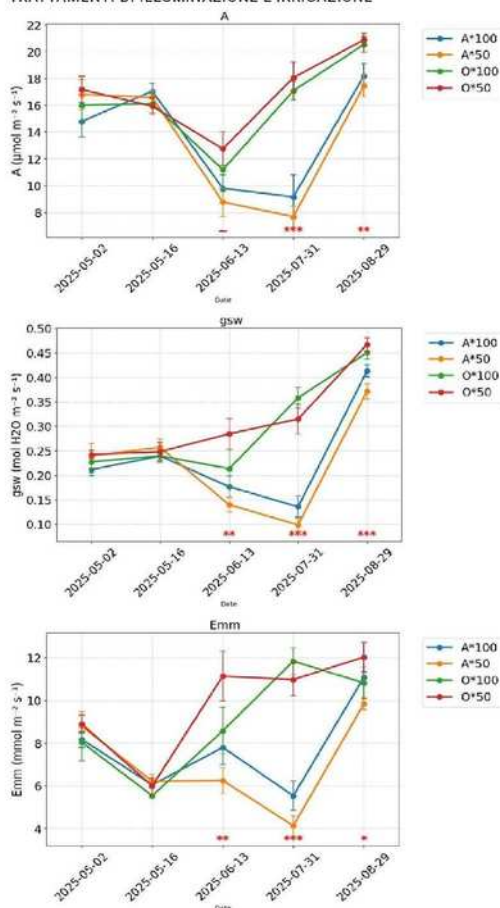
Nel corso della stagione produttiva è stata analizzata anche la performance fisiologica



> 1 febbraio 2026 alle ore 0:00

DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE

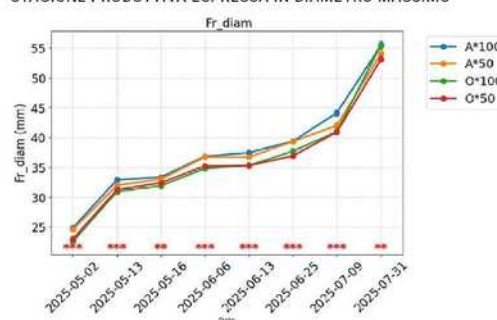
FIG. 2 ANDAMENTO DEGLI SCAMBI GASSOSI DEI DIFFERENTI TRATTAMENTI DI ILLUMINAZIONE E IRRIGAZIONE



Nota: Fotosintesi o assimilazione "A", conduttanza stomatica "gsw" e traspirazione "Emm"

delle piante mediante la misura degli scambi gassosi a livello fogliare, effettuata al mezzogiorno solare utilizzando l'analizzatore portatile LiCor LI-6800. Dal grafico relativo alla fotosintesi netta fogliare (figura 2) emerge chiaramente come l'andamento dei diversi trattamenti ricalchi, in larga misura, quello osservato per il potenziale idrico della pianta. In

FIG. 3 ANDAMENTO DELLA CRESCITA DEI FRUTTI LUNGO LA STAGIONE PRODUTTIVA ESPRESSA IN DIAMETRO MASSIMO



particolare, nelle fasi iniziali della stagione, precedenti alla differenziazione degli apporti irrigui, non si osservano effetti significativi sui valori di fotosintesi. Al contrario, con l'avvicinarsi del periodo di mancata irrigazione di luglio descritte in precedenza, si evidenzia una netta separazione tra i trattamenti, con una riduzione marcata della fotosintesi nelle piante coltivate sotto copertura antigrandine rispetto a quelle ombreggiate. Successivamente a tale evento, si osserva un recupero della funzionalità fotosintetica negli alberi sotto rete antigrandine, i cui valori tendono ad avvicinarsi a quelli delle piante ombreggiate; tuttavia, le differenze rimangono statisticamente significative. Analogamente a quanto osservato per il potenziale idrico, anche la performance fotosintetica non mostra una differenziazione riconducibile esclusivamente ai livelli irrigui, ma evidenzia un effetto marcato del tipo di copertura, che, in interazione con gli apporti idrici, determina risposte fisiologiche differenti. La conduttanza stomatica segue un andamento molto simile a quello della fotosintesi, con una differenziazione statisticamente significativa già a partire dal 13 giugno, confermando un controllo stomatico precoce legato alle condizioni microclimatiche indotte dalle diverse coperture. Per quanto riguarda la traspirazione, i dati mostrano un risultato apparentemente controintuitivo: le piante ombreggiate presentano valori di traspirazione superiori rispetto a quelle coltivate in pieno sole. Tale comportamento è spiegabile considerando che, oltre una certa soglia di stress idrico, le piante riducono la traspirazione attraverso la chiusura degli stomi. Le piante sotto ombreggiamento, non avendo mai raggiunto condizioni di stress idrico, hanno mantenuto una traspirazione più elevata, coerente con la loro maggiore attività fotosintetica, mentre le piante sotto rete antigrandine hanno limitato la perdita d'acqua in risposta allo stress.

Accrescimento dei frutti

Durante la stagione produttiva, l'accrescimento dei frutti (figura 3) è stato monitorato evidenziando un effetto chiaro e persistente del tipo di copertura sin dalle prime rilevazioni. In particolare, i frutti sviluppati su alberi coltivati sotto copertura ombreggiante presentano diametri



> 1 febbraio 2026 alle ore 0:00

DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE

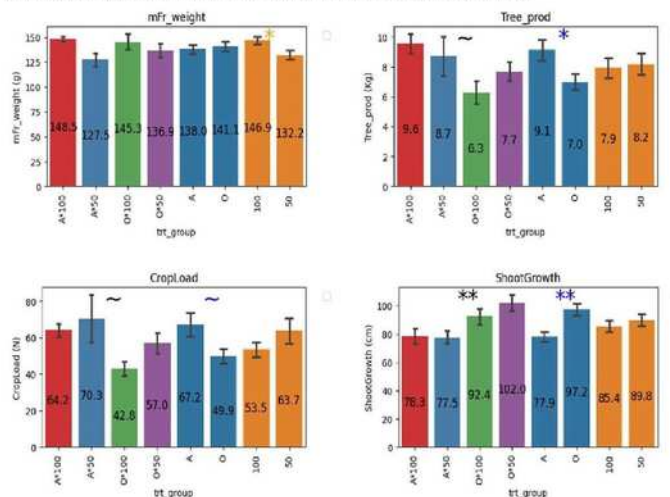
inferiori rispetto a quelli cresciuti sotto rete antigrandine. Al contrario, l'effetto della restituzione irrigua risulta decisamente più limitato: sebbene in alcune date siano state rilevate differenze statisticamente significative tra i livelli irrigui, l'effetto del tipo di copertura è risultato costante e statisticamente significativo lungo l'intero periodo di osservazione.

È tuttavia importante sottolineare che, nonostante la significatività statistica, le differenze dimensionali osservate sono contenute: nell'ultima data di rilievo, la massima differenza di diametro tra il trattamento con maggiore e quello con minore pezzatura è risultata pari a circa 2 mm.

A fine stagione, le valutazioni produttive (figura 4) non hanno evidenziato differenze statisticamente significative nel peso medio e nelle dimensioni dei frutti tra i diversi gruppi di trattamenti. La maggiore differenza nel peso medio dei frutti è stata osservata tra i trattamenti A100 e A50 ed è risultata pari a circa 20 g, con i trattamenti ombreggiati che si collocano su valori intermedi. Considerando separatamente gli effetti dei singoli fattori, l'analisi statistica indica che il peso del frutto è influenzato dal livello irriguo, mentre il tipo di copertura non esercita un effetto significativo su questo parametro. Anche la produttività non mostra differenze statisticamente significative tra i trattamenti irrigui; tuttavia, si osserva una tendenza a una produzione inferiore nelle piante ombreggiate, verosimilmente riconducibile a un minor carico produttivo. L'unico effetto statisticamente significativo risulta infatti quello del tipo di copertura in termini di produzione per albero sebbene sia presente una lieve evidenza dell'effetto combinato tra irrigazione e ombreggiamento. Il carico produttivo, invece, esercita solo un effetto marginale sulle produzioni.

Un'ulteriore spiegazione di questo comportamento produttivo può essere fornita dall'analisi della **crescita vegetativa** dell'anno (figura 4). In condizioni di ombreggiamento, gli alberi presentano una crescita dei germogli superiore di circa 20% rispetto a quelli coltivati sotto rete antigrandine, indipendentemente dal livello di irrigazione. In questo contesto, si può dedurre che le piante ombreggiate, pur caratterizzate da un carico produttivo inferiore - condizione che normalmente favorirebbe una maggiore pezzatura dei frutti - abbiano invece mantenuto una dimensione dei frutti pari al trattamento

FIG. 4 DATI PRODUTTIVI E VEGETATIVI RELATIVI ALLE DIFFERENTI TESI



Nota: Peso medio dei frutti (mFr_weight), produzione per albero (Tree_prod), Carico produttivo (CropLoad), crescita vegetativa (ShootGrowth).

antigrandine, destinando una quota maggiore delle risorse assimilate allo sviluppo vegetativo piuttosto che all'accrescimento del frutto.

Qualità del prodotto finale

Sulla frutta raccolta è stato selezionato un campione rappresentativo di 30 frutti per ciascun trattamento, sottoposto ad **analisi qualitative** al fine di valutare eventuali effetti dei trattamenti irrigui e delle coperture sulla qualità del prodotto finale (figura 5). Le analisi post-raccolta hanno confermato che dimensione e peso dei frutti risultano influenzati esclusivamente dal livello di irrigazione, come evidenziato dai valori medi rilevati alla raccolta. Questo risultato appare in parziale contrasto con quanto osservato durante il monitoraggio stagionale del calibro dei frutti, nel quale l'ombreggiamento emergeva come fattore predominante. Tale discrepanza può essere attribuita all'effetto combinato e variabile nel tempo dei due fattori sperimentali (irrigazione e copertura) nelle singole date di rilievo stagionale, che viene invece integrato su scala nelle misurazioni effettuate a fine ciclo produttivo.

Per quanto riguarda gli altri parametri qualitativi, emerge un effetto chiaro di entrambi i trattamenti applicati. In particolare, sostanza secca (Dm) contenuto zuccherino (SSC) sovracoloro rosso del frutto (overcolor) risultano mediamente più elevati nei frutti prodotti sotto rete antigrandine rispetto a quelli coltivati in condizioni di ombreggiamento. Inoltre, Dm e SSC sono favoriti dal trattamento irriguo al 50%, effetto osservato anche in condizioni di ombreggiamento, mentre il sovracoloro risulta favorito dal maggiore apporto irriguo sotto rete antigrandine, ma non sotto ombreggiamento. Anche per quanto riguarda la durezza della polpa, sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra i trattamenti; tuttavia, considerando che la differenza massima osservata è inferiore a 0,9 kg di forza, tali variazioni risultano non percepibili dal consumatore finale e pertanto di limitata rilevanza dal punto di vista commerciale.

Risparmio idrico ma anche criticità

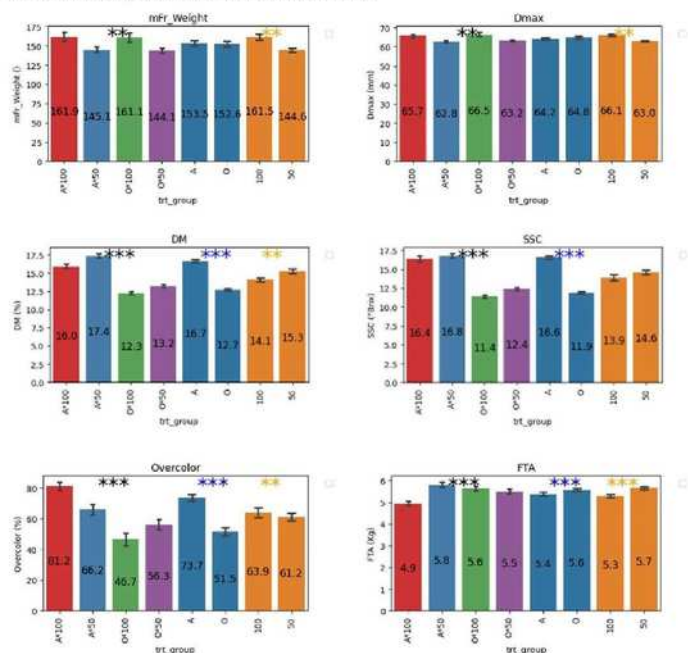
Le prove fisiologiche condotte nel 2025 hanno permesso di evidenziare come l'ombreggia-



> 1 febbraio 2026 alle ore 0:00

DOSSIER: FRUTTICOLTURA DI PRECISIONE

FIG. 5 ANALISI QUALITATIVE DELLA PRODUZIONE



Nota: Peso medio del frutto (mFr_weight), diametro massimo del frutto (Dmax), sostanza secca percentuale (DM), contenuto di solidi solubili (SSC), sovracolor rosso (Overcolor), durezza della polpa (FTA).

mento degli alberi da frutto abbia svolto un ruolo determinante nel prevenire condizioni di stress idrico in un periodo caratterizzato da mancata irrigazione, rispetto alla condizione di controllo. In particolare, l'ombreggiamento ha contribuito a mantenere uno stato idrico più favorevole, sostenendo il benessere della pianta e garantendo migliori performance fisiologiche, soprattutto nei momenti di maggiore criticità ambientale. D'altra parte, il trattamento ombreggiato, caratterizzato da un minor carico produttivo già a inizio stagione, ha evidenziato criticità a livello produttivo e qualitativo. Tale aspetto dovrà essere approfondito nella stagione 2026 attraverso una valutazione del ritorno a fiore. Questo effetto, associato alla tendenza delle piante ombreggiate a destinare una quota

maggiore delle risorse assimilate alla crescita vegetativa dei germogli, ha determinato una produttività inferiore rispetto alla condizione di controllo. Tale riduzione produttiva deve tuttavia essere contestualizzata all'interno di una stagione caratterizzata da un basso carico produttivo complessivo (40-50%), e quindi non pienamente rappresentativa di una condizione di piena produzione. All'interno del trattamento ombreggiato, il livello di restituzione irrigua pari al 50% dell'ETc ha consentito di raggiungere o superare le produzioni e i livelli qualitativi osservati nel trattamento al 100%, permettendo un risparmio idrico significativo. La ridotta variabilità del deficit di pressione di vapore (Vpd) tra i trattamenti durante la stagione indica come l'ombreggiamento non alteri in modo marcato

il microclima delle piante, se non in condizioni di siccità prolungata, e suggerisce che sia principalmente la riduzione dell'eccesso di radiazione luminosa a favorire il mantenimento di buone performance produttive anche in presenza di apporti irrigui dimezzati. Tuttavia, emerge in modo chiaro come la qualità dei frutti risulti fortemente influenzata dal trattamento ombreggiante. Pur non osservandosi effetti rilevanti su peso e pezzatura - parametri di primaria importanza commerciale - risultano penalizzati alcuni caratteri qualitativi chiave per il consumatore, in particolare il colore e il contenuto zuccherino. In diversi casi, i frutti prodotti sotto ombreggiamento presentano una copertura colorata inferiore al 60% e valori di solidi solubili inferiori a 12,5 °Brix, considerati sub-ottimali per una nettarina. Questo risultato era in parte atteso e trova riscontro nella letteratura scientifica. Nel pesco, infatti, l'accumulo di carboidrati nel frutto avviene prevalentemente attraverso un meccanismo di scaricamento passivo, strettamente dipendente dall'attività traspirativa del frutto stesso. La ridotta illuminazione diretta per un numero elevato di ore giornaliere limita l'attività traspirativa del frutto, riducendone la capacità di agire come 'sink' per gli assimilati. Questo effetto, combinato con la maggiore propensione delle piante ombreggiate allo sviluppo vegetativo, ha determinato un minore accumulo di sostanza secca all'interno del frutto.

In sintesi, l'ombreggiamento si conferma una strategia efficace per la mitigazione dello stress idrico e per il miglioramento dell'efficienza d'uso dell'acqua, ma presenta criticità rilevanti sulla qualità del frutto, che ne limitano l'applicabilità in assenza di adeguati aggiustamenti gestionali. Le evidenze emerse indicano la necessità di ulteriori approfondimenti, in particolare in condizioni di piena produzione e con una modulazione più fine dell'intensità e della durata dell'ombreggiamento.

Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale - Fondo europeo di sviluppo regionale 2021-2027 - Priorità 1, Obiettivo specifico 1.1, Azione 1.1.2 - Tipo di operazione: Bando per progetti di ricerca industriale strategica - Progetto "Smart Specialized Sustainable Stonefruit Orchard".