

Ricerca di Sistema elettrico



Sistemi agrivoltaici: selezione delle colture idonee e valutazione delle prestazioni vegeto-produttive (dimensione agricoltura)(LA2.6)

Giuseppe Ferrara, Federica Colucci, Simona Pitardi



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO

Sistemi agrivoltaici: selezione delle colture idonee e valutazione delle prestazioni vegeto produttive (dimensione agricoltura)(LA 2.6)

G. Ferrara, Federica Colucci, Simona Pitardi

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti – Università degli Studi di Bari 'Aldo Moro'

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.1 "Fotovoltaico ad alta efficienza"

Linea di attività: 2.6

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Università di Bari

Mese inizio previsto: 01/01/2023

Mese inizio effettivo: 01/01/2023

Mese fine previsto: 31/12/2024

Mese fine effettivo: 31/12/2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di Collaborazione: "Sistemi agrivoltaici: selezione delle colture idonee e valutazione delle prestazioni vegeto-produttive"

Responsabile scientifico ENEA: Federica Colucci

Responsabile scientifico Co-beneficiario: Giuseppe Ferrara

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti.....	5
3	Prodotti attesi	10
4	Prodotti sviluppati	11
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	12
6	Sintesi delle attività svolte	13
7	Dettaglio delle attività svolte.....	14
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	20
9	Pubblicazioni scientifiche	21
10	Eventi di disseminazione	22

Indice delle figure

Figura 1 - Effetto dell'ombreggiamento su alcune specie da frutto	5
Figura 2 - Pubblicazioni scientifiche su specie da frutto.....	6
Figura 3 - Variazione di umidità e temperatura del suolo in pieno sole e sotto pannelli.....	7
Figura 4 - Velocità media e massima del vento sotto i pannelli ed in pieno campo.....	8
Figura 5 - Biodiversità floristica e attività vegetativa delle piante posto sotto i pannelli (sinistra) ed in pieno sole (destra).....	9
Figura 6 - Rese produttive di viti sotto i pannelli ed in pieno campo.....	9
Figura 7 - Campo dimostratore di Scalea ed impianto agrivoltaico con vite da vino.....	15
Figura 8 - Piante di limone per rilievi fisiologici.....	16
Figura 9 - Misurazione del potenziale idrico fogliare.....	16
Figura 10 - Foglie di vite cresciute in ombra (sotto pannelli) ed in pieno sole.....	17
Figura 11 - Foto al microscopio di stomi di foglie di limone ombreggiati dai pannelli.....	17
Figura 12 - Dissezione di gemme di vite per misurare la fertilità potenziale.....	18

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Parametri nel limoneto agrivoltaico ed in pieno sole	8
------------------------------------------------------------------------	---

1 Risultati attesi

I risultati attesi nella prima fase delle attività, riguardano essenzialmente la caratterizzazione/descrizione di specie frutticole e/o arbustive potenzialmente impiegabili nei sistemi agrivoltaici. Tali specie saranno valutate anche in base alla loro adattabilità negli areali di coltivazione, soprattutto in termini di fabbisogni idrici e termici ed anche rispetto alla loro redditività, con la possibilità di creare o implementare filiere produttive con prodotti locali o con nuovi prodotti. Inoltre, saranno definiti i parametri da utilizzare nella fase successiva per valutare la risposta del sistema agrivoltaico secondo criteri ambientali, fisiologici, produttivi e qualitativi in un contesto di sostenibilità dell'intero sistema, al fine di stabilire un protocollo sperimentale ottimale.

I risultati attesi nella seconda fase di attività strettamente sperimentale serviranno a ottenere i dati micro-ambientali, fisiologici, qualitativi e produttivi di specie arboree e/o arbustive poste sotto moduli fotovoltaici al fine di stabilire la compatibilità della specie esaminata con la presenza e la tipologia dei moduli. Tali dati potranno fornire un valido supporto per valutare appieno la compatibilità, in un areale a clima Mediterraneo, di un sistema agrivoltaico che porti all'ottenimento sia di energia rinnovabile sia di una produzione da destinare al consumo fresco e/o alla trasformazione. Tali risultati, basati sulla sinergia del funzionamento coltura-fotovoltaico, potranno fornire una valida risposta per ottimizzare le coltivazioni di specie frutticole in un contesto di notevoli cambiamenti climatici. Nello specifico, in uno scenario di aridità crescente nella zona del Mediterraneo, la protezione offerta dai moduli fotovoltaici alle colture ed al terreno, costituirà un contributo per attenuare gli effetti negativi delle temperature elevate sulla vegetazione e ridurre il consumo di acqua, risorsa sempre meno disponibile. La realizzazione di impianti agrivoltaici in aree marginali e/o semi-abbandonate, generalmente a clima caldo-arido, potrebbe essere una soluzione per recuperare la produttività ecologica di terreni marginali dove i moduli permetterebbero una temperatura del suolo più bassa ed un contenuto idrico maggiore creando condizioni di coltivazione migliori di quelle iniziali. In conclusione, si ritiene che i risultati ottenuti dalla sperimentazione possano fornire chiare indicazioni per poter impiegare l'agrivoltaico su larga scala sia per ottenere energia pulita sia per poter far fronte ai cambiamenti climatici sempre più dannosi per molte colture agrarie a causa delle elevate temperature e della minore disponibilità idrica.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti nella prima fase di attività sono stati conseguiti sulla base di una raccolta e analisi di informazioni disponibili in letteratura sulle principali colture arboree e arbustive e tale raccolta di dati, previa sistemazione ed analisi, è stata pubblicata (sottoforma di una review) mettendo in evidenza gli effetti dell'ombreggiamento sugli aspetti produttivi delle diverse colture (Fig.1). Le diverse specie sono state valutate anche in relazione alle diverse tipologie di sistemi agrivoltaici attualmente in uso (tipologia con moduli fissi, oppure ad inseguimento).

Sono stati esaminati i seguenti fattori:

- condizioni climatiche sotto i pannelli (temperatura, umidità, ventosità) sia del suolo che del microclima intorno alle piante;
- aspetti produttivi e qualitativi della produzione agricola in relazione ai diversi areali pedoclimatici, intensità di ombreggiamento e tipo di struttura utilizzata.

In sintesi, la prima fase ha fornito dati fondamentali per valutare l'idoneità delle specie arboree e arbustive alla coltivazione in sistemi agrivoltaici, considerando vari fattori climatici e produttivi (Fig.2).

Maggiori dettagli sono disponibili nell'articolo pubblicato nel corso di tale attività:

A. Magarelli, A. Mazzeo, G. Ferrara. Fruit crop species with agrivoltaic systems: A critical review. *Agronomy*, 14 (4): 722 (2024). <https://doi.org/10.3390/agronomy14040722>.

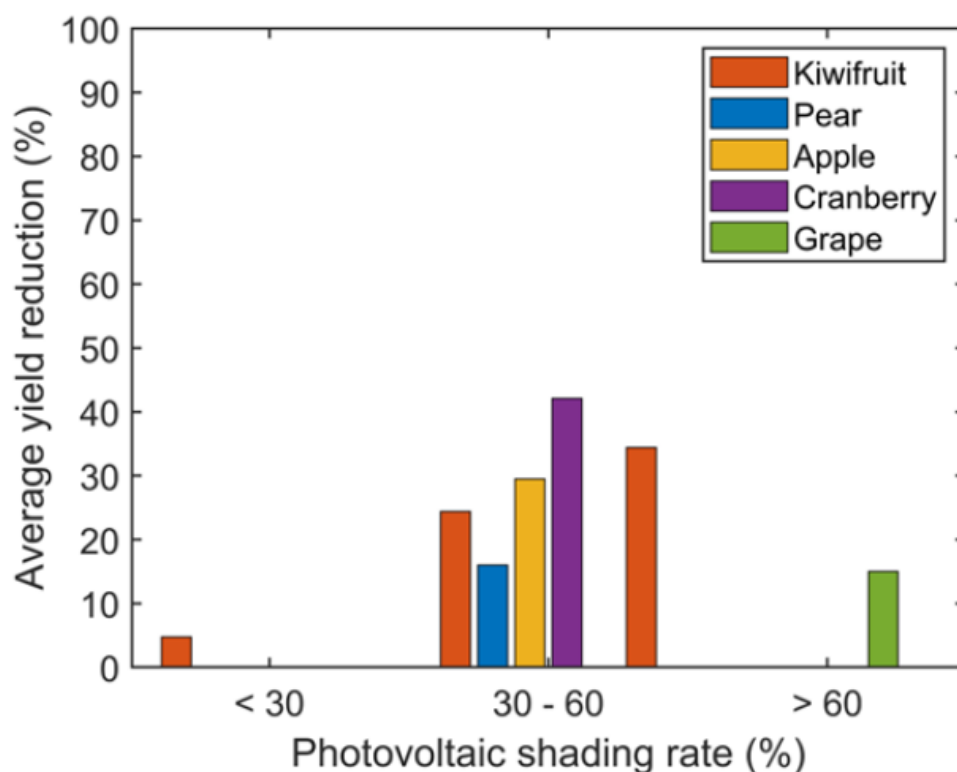


Figura 1 (da Magarelli et al., 2024). Effetti di diverse intensità di ombreggiamento da pannelli fotovoltaici sulla riduzione della produttività di alcune specie arboree ed arbustive.

Fruit Crop Tested	Location	Type of Panels	Structure	Ground Coverage Ratio	Shading Rate (%)	Energy Production	Remarks	
							Yield	Fruit Quality
Apple	Mallemort, France	Single-axis horizontal, adaptive solar tracking	Opaque	0.43	42%	-	Yield reduction from 27 to 32%, alternate bearing reduction	Minimum standard reached, but lower sugar concentration
Pear	Bierbeek, Belgium	double-sided, static, inclined	Semitransparent	0.6	35%	950 kWh/kWp	A 16% yield reduction (estimation)	Similar quality (estimation)
Grape	Valpolicella, Italy	Static, tilted	Opaque	-	75%	-	Observed a decrease in yield, at least in two years	Total soluble solids were lower, reduction in both polyphenols and anthocyanins
Grape	Yeongheung, South Korea	Static, tilted	Opaque	-	<30%	-	Not significantly affected	Did not affect sugar content or anthocyanins, delay in skin coloration
Grape	Gyeongsan, South Korea	Static on umbrella-shaped facility, tilted	Opaque, bifacial, semitransparent	-	≤30%	Opaque: 25.2 MWh Bifacial: 21.6 MWh Semitransparent: 25.7 MWh	Not available (berry weight and number not affected except for opaque type)	Similar sugar-content level, delay in coloration
Kiwifruit	Puijiang County, China	Static, tilted	Semitransparent	0.15; 0.25; 0.31	19%; 30.4%; 38%	-	Remarkable yield reduction	Fruit volume reduction
Cranberries	Massachusetts, USA	Fixed	Plywood sheet	-	29.3–41.5%	-	Significantly reduced yield	Significantly reduced fruit firmness and total soluble solids, skin color not affected

Figura 2 (da Magarelli et al., 2024). Nella figura sono sintetizzati i principali risultati ottenuti in impianti agrivoltaici con colture arboree/arbustive in diverse parti del mondo, tenendo sia conto degli aspetti colturali (ombreggiamento, produzione e qualità) sia degli aspetti impiantistici (produzione di energia, tipologia di pannelli, struttura).

I risultati ottenuti nella seconda fase di attività più strettamente sperimentale hanno fornito preziose informazioni su aspetti micro-ambientali, fisiologici, qualitativi e produttivi di specie arboree/arbustive poste in coltivazioni sotto moduli fotovoltaici.

Tra i principali effetti determinati dalla presenza dei pannelli sulle colture vi è stato:

- un significativo aumento dell'umidità del suolo ed una riduzione, seppur meno marcata, della sua temperatura (Figura 3);
- riduzione della ventosità (Figura 4);
- riduzione della temperatura media dell'aria intorno alla pianta.

La modifica dei parametri micro-climatici dovuta alla presenza dei pannelli è risultata nel complesso significativa e rilevante per le attività fisiologiche delle piante, e tutto ciò è ancor più importante e significativo per areali agricoli caratterizzati da clima caldo-arido con risorse idriche scarse.

Le variazioni microclimatiche hanno apportato i seguenti benefici:

- migliore attività vegetativa e maggiore vigore vegetativo delle piante ombreggiate rispetto a quelle in pieno sole, supportata da una migliore fertilità potenziale delle gemme;
- maggiore biodiversità floristica al di sotto dei pannelli rispetto alle zone in pieno sole (Fig.5), con i pannelli che fungono anche da zone di nidificazione per gli uccelli;
- aumento delle rese produttive delle piante ombreggiate, soprattutto in areali con limitate disponibilità idriche dove le colture vengono irrigate con irrigazioni di soccorso. Nel vigneto in agrivoltaico, gestito secondo tale modalità, la resa è aumentata fino al 277% (Fig.6);

- in condizioni di coltivazioni irrigate, come nel caso del limoneto, le differenze sono meno marcate ma si ottiene comunque un importante risparmio idrico.

In sintesi, la presenza dei pannelli fotovoltaici ha migliorato il microclima, l'efficienza idrica e la produttività delle coltivazioni, rendendole più adatte a fronteggiare condizioni di siccità in ambienti agricoli caldo-aridi.

Nel limoneto irrigato le differenze sono state minori tra le piante ombreggiate e quelle in pieno sole, come si può evincere dai dati riportati in Tabella 1 che si riferiscono ad un rilievo effettuato nel periodo estivo. Il numero di foglie sul germoglio in accrescimento è simile mentre significativamente differente è la superficie fogliare media, favorita dall'ombreggiamento e dal migliore stato idrico. Le foglie in ombra hanno sviluppato stomi di maggiore dimensione grazie anche alle migliori condizioni idriche presenti sotto i pannelli. Inoltre, il potenziale idrico fogliare in piena estate è risultato significativamente inferiore nelle piante in pieno sole, così come anche la conduttanza stomatica, mentre simile è risultata l'efficienza fotosintetica.

Nei periodi con temperature più basse (primavera e fine estate-autunno) le differenze sono state meno evidenti, considerando sempre che le colture erano irrigate per mantenerle in ottimo stato vegeto-produttivo.

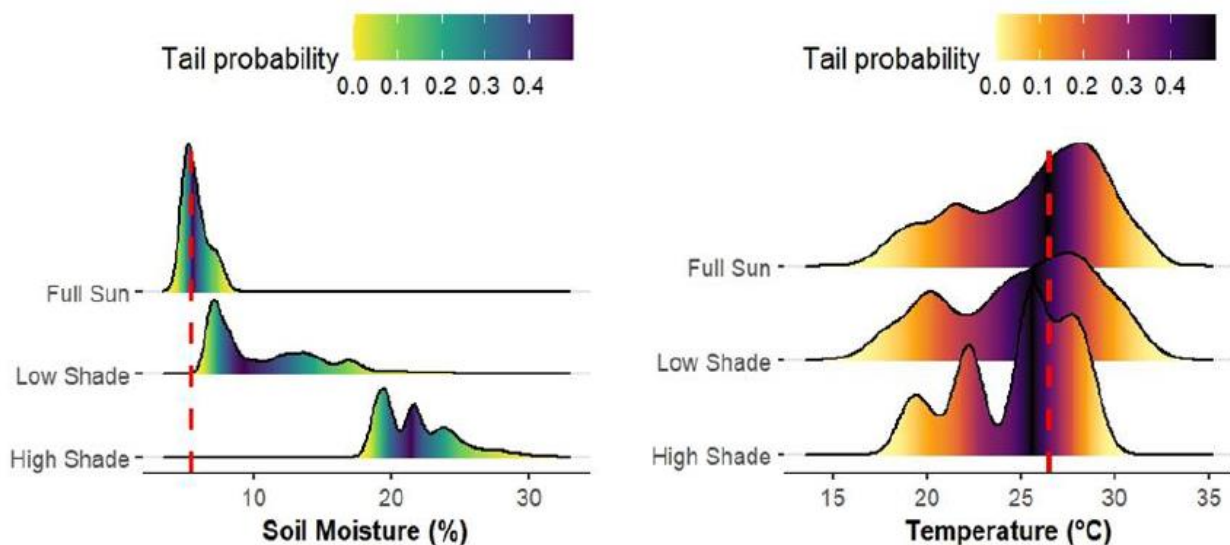


Figura 3 (da Magarelli et al., 2025). Umidità (destra) e temperatura (sinistra) del suolo in condizioni di ombreggiamento da pannelli e pieno sole. Appaiono evidenti le differenze di valori tra il suolo ombreggiato (soprattutto la porzione in ombreggiamento quasi continuo) e quello esposto alla radiazione solare. L'umidità risulta molto più influenzata rispetto alla temperatura nel sistema agrivoltaico.

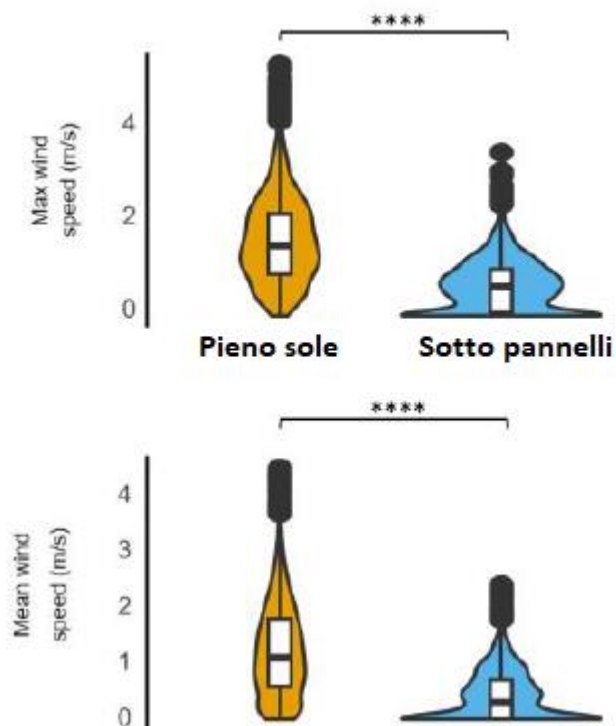


Figura 4 (da Magarelli et al., 2025). Massima velocità del vento (sopra) velocità media del vento (sotto) registrata a livello della chioma nella porzione in coltivazione sotto i pannelli e in quella in pieno sole. La riduzione di entrambe le velocità risulta molto significativa.

Tabella 1. Parametri misurati in piena estate nel limoneto irrigato. Si può notare come i limoni sotto copertura presentino migliori valori di superficie fogliare e conduttanza stomatica, e soprattutto è degno di nota il potenziale idrico meno negativo delle foglie, indica di un migliore stato idrico

Trattamento	Foglie (n.)	Superficie fogliare (cm ²)	Conduttanza stomatica (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Potenziale idrico fogliare (MPa)	Fv/Fm
Pannelli	21	45	266	-1,3	0,77
Pieno sole	21	32	149	-1,8	0,76
Significatività	<i>ns</i>	<i>0,04</i>	<i>0,007</i>	<i>0,001</i>	<i>ns</i>



Figura 5. Biodiversità floristica presente sotto i pannelli (sinistra) e in pieno sole. Nell'impianto agrivoltaico le specie rilevate sono state quasi il doppio di quelle all'esterno (43 vs. 23) così indicando i positivi effetti del sistema sulla biodiversità vegetale.

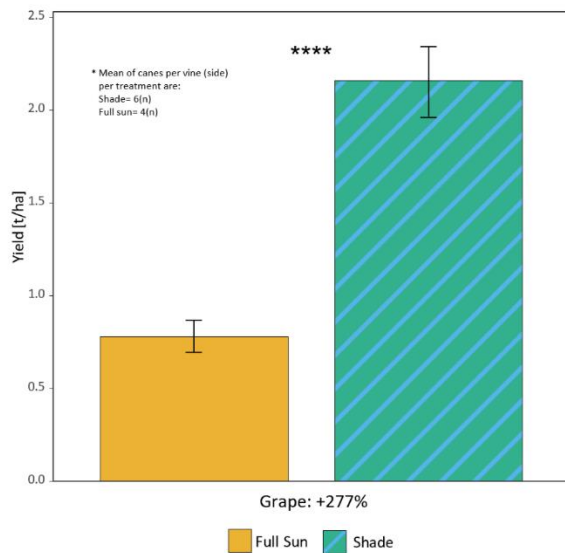


Figura 6 (da Magarelli et al., 2025). La differenza di produzione tra le viti sotto i pannelli rispetto a quelle in pieno sole ha raggiunto il valore del +277%, determinata sia dal maggior numero di grappoli e soprattutto dal loro peso.

3 Prodotti attesi

I risultati delle attività sono riportati nel presente report tecnico-scientifico (Sistemi agrivoltaici: selezione delle colture idonee e valutazione delle prestazioni vegeto produttive).

4 Prodotti sviluppati

I risultati delle attività sono riportati nel presente report tecnico-scientifico (Sistemi agrivoltaici: selezione delle colture idonee e valutazione delle prestazioni vegeto produttive).

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Il lavoro è proceduto secondo le previsioni e le attività pianificate hanno raggiunto gli obiettivi stabiliti. Non si segnalano, quindi, scostamenti tra i risultati attesi e quelli ottenuti.

6 Sintesi delle attività svolte

Nella I fase, si è condotto uno studio per valutare le informazioni disponibili in letteratura sulla presenza di specie arboree e arbustive allevate in condizioni di ombreggiamento. Le informazioni disponibili sono limitate ed ottenute da elaborazioni modellistiche. Alcuni studi hanno considerato il comportamento fisiologico e produttivo in condizioni di ombreggiamento artificiale, ottenuto con reti ombreggianti, utilizzate in frutticoltura come protezione dalle elevate radiazioni luminose. Le informazioni ottenute sono state oggetto di una pubblicazione su rivista scientifica. Nella II fase, si è proceduto ad uno studio di campo per raccogliere informazioni sulle risposte di specie quali limone e vite, poste in condizioni di ombreggiamento realizzato con pannelli fotovoltaici. Sono stati monitorati parametri fisiologici, produttivi e i risultati ottenuti hanno indicato in entrambe le colture risposte positive all'ombreggiamento con una migliore attività vegetativa ed anche produttiva.

7 Dettaglio delle attività svolte

Nella prima fase, l'attività è stata condotta essenzialmente studiando i dati disponibili in letteratura scientifica, anche se tale letteratura è risultata alquanto limitata per reali applicazioni di campo di sistemi agrivoltaici. In questo è stato sicuramente d'aiuto l'esperienza maturata negli anni precedenti con studi di impianti agrivoltaici in diversi ambienti pedoclimatici come quello del Veneto e della Puglia. Per i dati presenti in bibliografia, sono state prese in considerazione delle sperimentazioni/studi su specie da frutto e vite per le quali sono state adottate tecniche colturali che, in un certo senso, potessero riprodurre le condizioni di ombreggiamento determinate dai pannelli. Sono stati raccolti dati sul comportamento fisiologico e produttivo di specie poste, ad esempio, sotto reti ombreggianti, spesso utilizzate in frutticoltura per attenuare gli effetti negativi sulle piante di elevate radiazioni luminose e conseguentemente delle temperature elevate. I dati delle colture sono stati associati con i dati sulle mutate condizioni microclimatiche che si realizzano a seguito di coperture su un terreno agricolo. Da tale attività si sono ottenute importanti informazioni che sono poi anche state oggetto di una pubblicazione su una rivista scientifica interazionale dotata di IF. Per quanto riguarda la selezione delle specie adatte, questa è legata alla loro adattabilità sia a condizioni di ombreggiamento determinate dai moduli FV sia alle condizioni pedologiche. Sono state esaminate specie che hanno una certa importanza dal punto di vista agrario ed alimentare (vite, agrumi, pomacee, etc.) e si sono considerate caratteristiche importanti per il nuovo tipo di coltivazione, tra le quali occorre menzionare: elevata capacità di intercettazione della radiazione incidente; elevata capacità di conversione della radiazione intercettata in sostanza secca ed elevata capacità di traslocazione e accumulo della sostanza secca verso i frutti (e/o altri organi) al fine di garantire l'obiettivo ultimo di una coltivazione, la produzione alimentare e/o un utilizzo no food. Per rispondere appieno a tale obiettivo sono state valutate specie adatte al clima Mediterraneo con un interesse di mercato e una possibilità di reddito per l'agricoltore, sia come prodotto fresco (agrumi, uva, etc.) sia a seguito di processi di trasformazione (vino, succhi, etc.), anche nell'ottica di ottimizzare le filiere produttive rendendole più efficienti e redditizie. Sono stati esaminati dati e informazioni utili a poter valutare gli effetti sugli aspetti qualitativi e quantitativi di tali produzioni indotti dall'ombreggiamento, ed in particolare: effetti sulla quantità della produzione; effetti su aspetti qualitativi (contenuto di zuccheri, acidità, presenza di pigmenti, etc.).

Dopo la prima fase di valutazione delle specie potenzialmente idonee a essere poste in coltivazione sotto i moduli fotovoltaici in diversi areali pedoclimatici, e delle condizioni microclimatiche che si verificano al di sotto dei pannelli, si è svolta la seconda fase, che è quella dell'attività più prettamente sperimentale di campo. Dati sono stati raccolti dal sito di Scalea e da quello di Laterza (Figura 7), nei quali sono presenti diverse configurazioni spaziali e tecnologiche (impianto elevato fisso e a inseguimento su singolo asse) e diverse colture (vite ed agrumi), molto importanti nel panorama ortofrutticolo sia nazionale sia internazionale. I parametri principali che sono stati studiati nei campi sperimentali sono stati: radiazione luminosa a varie lunghezze d'onda (dal PAR al Far Red), temperatura e umidità dell'aria e del suolo, potenziale matriciale del suolo, Vapour Pressure Deficit (VPD), fluorescenza fogliare, SPAD, conduttanza stomatica, potenziale fogliare, vigore vegetativo, fertilità delle gemme, area fogliare, caratteristiche morfologiche delle foglie, densità stomatica, produzione per pianta, solidi solubili totali (SST), acidità titolabile (AT), pH, etc. I dati di alcuni parametri microclimatici sono stati monitorati in continuo tramite stazioni meteo dotate di datalogger per raccogliere informazioni sulla porzione sotto ombreggiamento e quella in pieno sole. Altri parametri, come SPAD, conduttanza stomatica, fluorescenza, potenziale idrico fogliare, etc.

sono stati misurati ad intervalli durante l'attività vegeto-produttiva delle piante al fine di meglio valutare la loro risposta alle mutate condizioni di coltivazione.



Figura 7. Particolare del campo dimostratore di Scalea (sopra) con piante di limone ombreggiate (destra) e piante in pieno sole (sinistra). In entrambe le porzioni sono presenti i sensori per i dati pedo-climatici, che si possono intravedere a sinistra nella zona in pieno sole. Viti nell'impianto agrivoltaico di Laterza (sotto).



Figura 8. Piante di limone con foglie ricoperte con buste di alluminio per la misurazione del potenziale idrico e particolare con le clip per la misurazione della fluorescenza (Fv/Fm).



Figura 9. Misurazione del potenziale idrico fogliare di foglie di limone.

Il potenziale idrico fogliare è stato determinato, ad intervalli regolari, con la camera a pressione portatile effettuando le misurazioni a mezzogiorno, previa copertura delle foglie (Figura 8) per l'acclimatamento per circa 1 ora. Dopo questo intervallo di tempo è stata effettuata la misurazione (Figura 9).

I rilievi sperimentali hanno fornito dati utili per poter valutare la prestazione della coltura sotto i pannelli fotovoltaici. Nelle sperimentazioni sono state confrontate piante, come è possibile

osservare nelle foto, coltivate nello stesso ambiente ed a poca distanza, poste sia sotto i moduli fotovoltaici sia al di fuori dei pannelli in pieno sole.

La conduttanza stomatica è stata misurata mediante porometro portatile sia sulle piante ombreggiate sia su quelle poste in pieno sole. Il contenuto di clorofilla fogliare è stato valutato mediante strumento SPAD e la fluorescenza con un fluorimetro portatile che ha fornito informazioni sull'efficienza fotosintetica delle foglie (Figura 8).

Nel corso della stagione estiva, è stata misurata la superficie fogliare (Figura 10) insieme al numero delle foglie sui germogli in accrescimento. Sono stati prelevati dei campioni di foglie mature per poter determinare sia la densità stomatica sia le dimensioni degli stomi (Figura 11) al fine di verificare gli eventuali effetti dell'ombreggiamento. Si è proceduto anche al confronto tra le foglie cresciute in ombra e quelle in pieno sole (Figura 10).

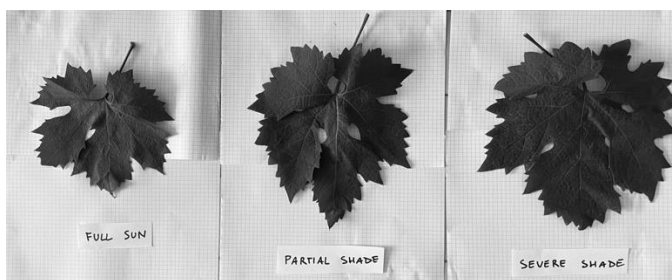


Figura 10. Differenze tra dimensioni di foglie di vite cresciute sotto i pannelli ed in pieno campo.

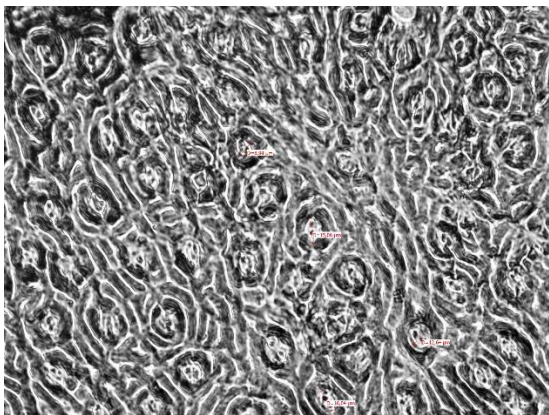


Figura 11. Microfotografia di stomi di limone.

Alla raccolta sono stati valutati aspetti quantitativi e qualitativi della produzione, soprattutto relativamente al contenuto di solidi solubili, acidità titolabile e pH. Nel caso della vite, nel periodo invernale, sul materiale ottenuto dalla potatura, è stata anche valutata la fertilità potenziale delle gemme per poter verificare gli effetti dell'ombreggiamento dei pannelli sulla produzione di uva per l'annata successiva (Figura 12).



Figura 12. Dissezione delle gemme per verificare la fertilità potenziale.

I risultati scaturiti da questa sperimentazione hanno fornito preziose informazioni sugli effetti dei pannelli fotovoltaici sulle colture e sull'ambiente agrario dell'impianto agrivoltaico che possono essere così riassunti:

- ✓ Aumento della biodiversità floristica (maggiore numero di specie sotto i pannelli rispetto al controllo in pieno sole).
- ✓ Possibilità di creare situazioni di riparo per l'avifauna favorendone la nidificazione.
- ✓ Incremento dell'umidità del suolo, in special modo in areali a clima caldo-arido e per coltivazioni gestite con limitate irrigazioni.
- ✓ Leggera diminuzione della temperatura del suolo.
- ✓ Riduzione della ventosità, con conseguente minori danni sulle piante e riduzione della evapotraspirazione.
- ✓ Riduzione del VPD (Vapour Pressure Deficit) con una minore traspirazione da parte delle piante e quindi minor perdita di acqua.
- ✓ Valore di SPAD più elevato a significare un maggior contenuto di clorofilla e di azoto.
- ✓ Superficie fogliare superiore associata anche ad una maggiore conduttanza stomatica, suggerendo una migliore capacità di fissare l'anidride carbonica.
- ✓ Stomi di dimensione maggiore per un miglior scambio gassoso e di vapor acqueo.
- ✓ F_v/F_m più elevato ad indicare una migliore efficienza dei fotosistemi fogliari per l'attività fotosintetica.
- ✓ Germogli più vigorosi, quindi più lunghi e con un maggior numero di gemme e di sostanze di riserva per una migliore attività delle piante.
- ✓ Maggiore produzione, con valori significativamente più elevati in condizioni di scarsa disponibilità di irrigazione.
- ✓ Riduzione del contenuto dei solidi solubili, aumento dell'acidità e riduzione dei polifenoli totali.
- ✓ Riduzione degli antociani.

- ✓ Potenziale idrico fogliare meno negativo, segno di uno stato idrico migliore delle piante poste sotto i pannelli.

In conclusione, possiamo affermare sulla base dei dati raccolti e di precedenti esperienze sperimentali che il sistema agrivoltaico se opportunamente calibrato sulla specie in coltivazioni permette, soprattutto in areali a clima caldo arido e limitata disponibilità idrica, di ottenere buone produzioni agricole di qualità soddisfacente e con un miglior utilizzo dell'acqua. Inoltre, a fronte della presenza dei pannelli nel paesaggio, gli stessi permettono di creare un miglior micro-clima che favorisce la biodiversità spontanea vegetale e crea anche condizioni favorevoli alla fauna selvatica soprattutto ricoveri per l'avifauna.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non ci sono state consulenze

9 Pubblicazioni scientifiche

A. Magarelli, A. Mazzeo, G. Ferrara. Fruit crop species with agrivoltaic systems: A critical review. *Agronomy*, 14 (4): 722 (2024). <https://doi.org/10.3390/agronomy14040722>.

A. Magarelli, A. Mazzeo, G. Ferrara. Exploring the Grape Agrivoltaic System: Climate Modulation and Vine Benefits in the Puglia Region, Southeastern Italy. *Horticulturae*, 11 (2): 160 (2025). <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020160>.

10 Eventi di disseminazione

Presentazione di un poster al 'Third International ISHS Symposium on Greener Cities: Improving Ecosystem Services in a Climate-Changing World', 25-28 September 2024 RHS Garden Wisley, Surrey, UK.

AGRIVOLTAICS, A NEW POSSIBILITY FOR HORTICULTURE

Giuseppe Ferrara, Andrea Mazzeo, Andrea Magarelli
Department of Soil, Plant and Food Science - University of Bari 'Aldo Moro', Bari, Italy



Introduction

Climate change is heavily impacting Mediterranean agriculture through increased temperatures, altered rainfall, and extreme weather events. These changes affect soil water reserves, leading to issues like aridification, biodiversity loss, reduced yield and plant stress conditions. Agrivoltaics (AV) is the hybrid coexistence on the land of both agricultural/livestock activities and production of renewable (solar) energy. AV systems could also reduce carbon emissions with reduced or null impact on crop yield. However, AV system suitability depends on factors like radiation, species, configuration, and local climate. This study investigates an AV system consisting of photovoltaic panels (PV) and a wine grape variety to study their combined environmental benefits and trade-offs.

Site description

- The AV system investigated in this study is located in the countryside of Laterza (Taranto province) at Svolta solar farm, Puglia region, Italy (40.6819°N, 16.7643°E).
- The AV system is a ground-elevated structure supported by poles of 2.7 m height. Opaque PV modules are fixed to this supporting structure with a tilt angle of 28° from horizontal position (Figure 1).
- Primitivo vines are located below the panels aligned with PV array towards north-south orientation.
- A total area of 709 m² is considered. Part of which pertained to AV plot (428 m²) and the rest (281 m²) was control plot (full sun, FS) not equipped with solar panels.



Figure 1: The experimental vineyard

Field data collection

Due to the shade variability beneath the panels, treatments were sorted based on transmitted radiation as reported in Table 1. Microclimatic data were logged every 1-hour intervals by 2 weather stations, one in the AV plot and the other one in the FS plot. Air temperature, humidity and wind speed were recorded together with soil moisture and temperature. Furthermore, a spectrum analysis beyond PFD wavebands was performed at different times (range 9:00-18:00) and days in order to represent temporal variability of daily irradiation during the season.

Condition	Transmitted solar radiation (%)
High Shade (HS)	5
Low Shade (LS)	95
Full Sun (FS)	100

Table 1: Light conditions in the experimental vineyard

References

[1] Dennis G. Dye. "Spectral composition and quantum to energy ratio of diffuse photosynthetically active radiation under various cloud conditions". In: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 109.L10 (2004).

Results

SOIL MOISTURE, TEMPERATURE AND MICROCLIMATE PATTERN
The effects of PV panels were noticed for the different parameters. Soil moisture distribution resulted spatially altered with a clear difference among the treatments. The influence of PV panels was less pronounced on soil temperature profile, whereas air temperature was reduced beneath the panels (Figure 2). The data collected and the successive analyses suggested that wind speed through the structure significantly affected both Vapor Pressure Deficit (VPD) and air humidity.

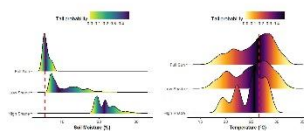


Figure 2: Distribution of soil moisture deficit and soil temperature (°C) of various positions throughout the period (growing season). The color under the curve indicates the probability, with a color scale from 0.01 (darkest) to 0.99 (brightest) at the highest. The dashed red line means the median value for the full sun treatment.

SPECTRAL WAVELENGTH PROPERTIES

The PFD-LV and PFD-B percentage tended to increase under the PV panels due to Rayleigh scattering effect [1]. Moving to PFD-G and PFD-R percentage, a reverse pattern was detected (Figure 3). Furthermore, the decrease under shade of the panels is much more related with transmittance, as for PFD-G (R²=0.94). Large variation between maximum and minimum values (63% - 23%) were observed for PFD-R fraction. A relevant contribution to PFD-IR improvement could be addressed to far-red light reflectivity by the canopy. The lower R:FR ratio and the attenuation of blue light occurring beneath the panels increased the specific leaf area of the vines (Figure 4).

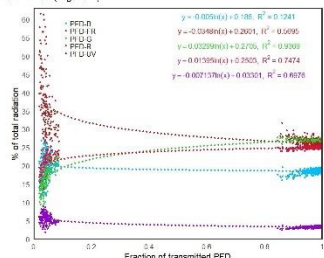


Figure 3: Relationship between the percentage composition of the radiation of the different spectra and the fraction of transmitted radiation for AV and FS treatment.

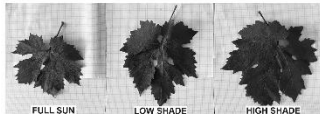


Figure 4: Photographs of leaf areas for HS, LS and FS treatments during 2023 season.

Conclusions

The PV panels either mitigated the high temperatures occurring in summer or allowed a better water status of the soil with a saving of the water resources. The vines beneath the panels resulted less stressed and with a higher leaf area. Results obtained are promising and further species will be evaluated even for the possibility to include this combination in various urban areas, i.e., parking lots, parks, urban horticultural areas.

MACFRUT 2024 Rimini 8-10 maggio 2024:

Convegno: L'agrivoltaico incontra l'ortofrutta, organizzato da AIAS, ENEA e CONAF

Giuseppe Ferrara Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.), Università di Bari "Aldo Moro": **Viticultura in ambiente agrivoltaico: criticità e possibilità in ambiente mediterraneo.**

<https://www.associazioneitalianagrivoltaicosostenibile.com/eventi/aias-a-macfrut-2024/>

 Symbiosyst

Benefits for sustainable farming and ecosystem functions in Agrivoltaic systems

6 June 2024 | 14:00 CEST
Training webinar



Progetto Symbiosyst: Training webinar

Giuseppe Ferrara, of the University of Bari 'Aldo Moro': Vitivoltaic: challenges and opportunities for agricultural areas.

<https://www.youtube.com/watch?v=k2OfGnoThm8>

X Convegno Nazionale di Viticoltura (CONAVI)

Alghero (SS) 11-13 giugno 2024

Presentazione orale

10:30-12:30 Sessione 3
Gestione del vigneto: risposta stress abiotici e adattamento ai cambiamenti climatici

Prevedere le differenze tra gli effetti di coperture colorate su parametri ecofisiologici e produttivi della vite

*ANTONICIELLO D. *, LIMOSANI P. *, NOVELLO V. **, de PALMA L. **

*) Università di Foggia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria, Foggia

**) Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Grugliasco (TO)

Stima dei coefficienti culturali in vigneto ad uva da tavola coperto da film plastico: mediante percentuale di luce intercettata dalla chioma

*TROMBETTA N.G. *, NOVELLO V. **, de PALMA L. **

*) Università di Foggia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria, Foggia

**) Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Grugliasco (TO)

Utilizzo di reti antigrandine con funzione ombreggiante per la riduzione degli stress termici e radiativi in vigneto

*SCHIAVONI F. *, MODINA D. *, BIANCHI D. *, BOLOGNINI M. *, ECCHELI G. *, CAVENAGO B. *, SERINA F. **, RIVETTI E. ***, COLA G. *, BRANCADORO L. **

*) Università di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Milano

**) Consorzio per la tutela del Franciacorta, Erbusco (BS)

***) Azienda Agricola Ferghettina, Adro (BS)

Effetti di pannelli fotovoltaici in vigneto: risultati biennali per una viticoltura in ambienti caldi

*MAGARELLI A. *, MAZZEO A. *, FERRARA G. **

*) Università di Bari, Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti, Bari

Valutazione preliminare degli effetti di reti ombreggianti sulla fisiologia della vite in diversi ambienti

*PERRIA R. *, BUSCAGLIA A. *, PISCIOTTA A. **, MICCICHE' D. **, PUCCIO S. **, TURANO L. **, PUCCIONI S. *, GARAVELLONI S. *, ZOMBARDO A., VALENTINI P. *, AMMONIACI M. **

*) CREA, Centro di ricerca viticoltura ed enologia, Arezzo

**) Università di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Palermo

Meta-analisi di 50 anni di ricerche sull'impatto dell'epoca e dell'intensità del diradamento sulla produzione e qualità

*SABBATINI P. *, VANDERWEIDE J. ***

*) Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Grugliasco (TO)

**) Department of Horticulture, Plant & Soil Sciences Building, Michigan State University, United States

Seminario tecnico-formativo rivolto ad agronomi, periti agrari ed agrotecnici, aziende agricole

Ruvo di Puglia (Ba) 23 luglio 2024

Giuseppe Ferrara: Gli effetti dei pannelli fotovoltaici in vigneto

LUV Fiera dell'uva da tavola

Bari 22-24 ottobre 2024

Presentazione orale

Giuseppe Ferrara: La viticoltura nel contesto agrivoltaico