

● PER UNA FRUTTICOLTURA SOSTENIBILE

# Produrre energia in frutteto con coperture fotovoltaiche

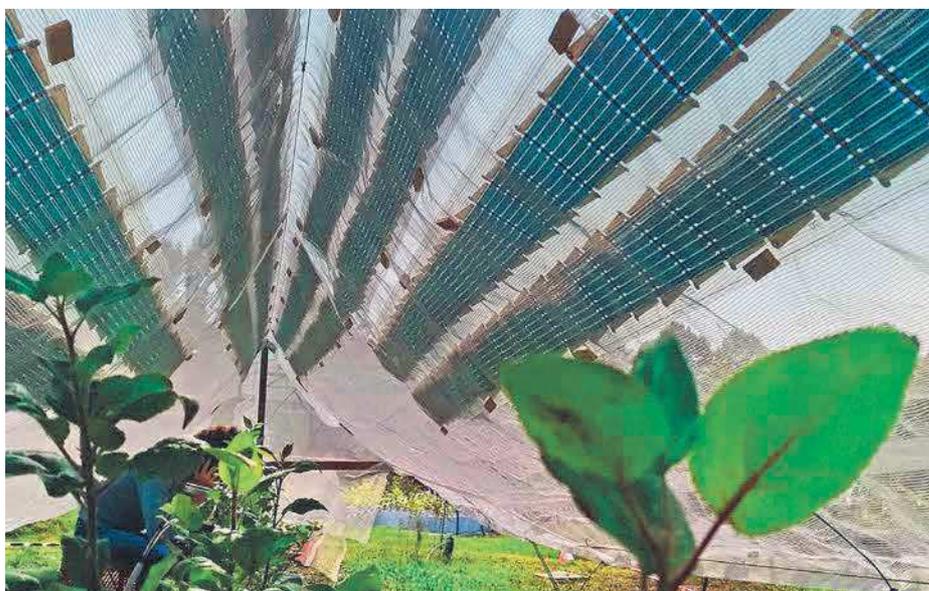
di G. Bortolotti, L. Manfrini, A. Boini, G.D. Perulli, K. Bresilla, D. Pontara, M. Bertoldi, C. Rossi, L. Corelli Grappadelli

**I**l cambiamento climatico, come già dimostrato in svariate pubblicazioni scientifiche degli ultimi anni (Ipcc, 2014 e 2019; Ripple et al., 2020), è riconducibile al repentino aumento dei gas serra presenti in atmosfera dovuto alle crescenti attività antropiche dell'ultimo secolo e mezzo. A livello internazionale il Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (Ipcc - <https://www.ipcc.ch/>) ha valutato che i settori di agricoltura, selvicoltura e «uso del suolo» sono responsabili complessivamente di circa un quarto (24%) delle emissioni totali di gas serra nel mondo. Il solo settore agricolo è responsabile dell'11-13% delle emissioni totali mondiali (Ipcc, 2014 e 2019). Oltre a ciò, l'agricoltura risulta essere il maggior consumatore di acqua dolce a livello globale (circa il 70%; Ipcc, 2019).

**Il settore frutticolo è considerato, rispetto alla totalità dei settori agricoli, a emissioni contenute (Frey e Barrett, 2007), ma il suo livello di emissioni è comunque considerevole, con valori che oscillano tra 4,5 e 10 t di gas serra (espressi come tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalenti) per ettaro di frutteto (Cerutti et al., 2010; Johansson, 2015; Vinyes et al., 2017 e 2018).**

Tali valori possono variare notevolmente in base al tipo di coltura presa in esame, alle caratteristiche del luogo di coltivazione, al metodo e al livello di meccanizzazione utilizzato per lo svolgimento delle operazioni di gestione aziendale. Anche la metodologia di analisi e le differenti scale di accuratezza introducono incertezza nei dati: i valori possono infatti subire ulteriori modifiche complessive a seconda del livello di approfondimento utilizzato. Vengono generalmente riconosciuti come fattori responsabili di alte emissioni di CO<sub>2</sub> nel comparto frutticolo l'uso di fertilizzanti, catalogati per tipologia

Il settore frutticolo è considerato, rispetto alla totalità dei settori agricoli, il meno impattante, ma il suo livello di emissioni è comunque considerevole, con valori che oscillano tra 4,5-10 t/ha di gas serra. Applicando film plastici fotovoltaici è possibile produrre energia e, al contempo, ridurre eccesso luminoso, traspirazione e consumo idrico



e origine, e l'uso di energia, sia elettrica sia fossile, o derivante da risorsa idrica. Proprio quest'ultima risulta sempre meno accessibile nei periodi di maggiore necessità a causa di temperature progressivamente in aumento e prolungate siccità. **La risorsa irrigua è un fattore chiave per ottenere produzioni frutticole di qualità e proprio per questo la ricerca guarda alla sua ottimizzazione d'uso per mantenere standard produttivi elevati pur limitandone lo spreco.**

## Idea della prova

La sempre maggiore richiesta di greening aziendale nel settore frutticolo ha spinto il gruppo di Ecofisiologia del Distal (Dipartimento di scienze e tecnologie agro-alimentari) e di Macchi-

ne, azionamenti elettrici ed elettronica di potenza del Dei (Dipartimento di ingegneria dell'energia elettrica) dell'Università di Bologna a una stretta collaborazione con il fine di rendere più sostenibile la produzione di frutta e di ridurre le emissioni di gas serra prodotte durante il ciclo colturale. Il settore frutticolo, infatti, una delle principali «vittime» del cambiamento climatico, potrebbe diventare attivo antagonista delle emissioni di gas serra se adottasse tecniche di gestione aziendale adatte.

Partiamo dal presupposto secondo cui l'intensità/quantità di luce ricevuta dalle colture frutticole durante il giorno è per buona parte eccessiva e le piante devono adottare meccanismi di protezione per non esserne danneggiate. Riducendo l'eccesso luminoso,

## Com'è stata impostata la prova

### CREAZIONE DEL PROTOTIPO

Lo studio è stato condotto a ottobre 2018 a Cadriano (Bologna) presso l'azienda sperimentale dell'Università di Bologna. La prova è stata condotta su un prototipo in scala 1:2 di un filare di meleto «standard» in Emilia-Romagna. I parametri considerati nella sperimentazione sono stati: altezza dell'albero (da cui deriva l'altezza massima del colmo nel prototipo); larghezza della copertura della rete antigrandine; distanza tra le piante; orientamento del filare.

Il prototipo presentava le seguenti dimensioni:

- 1,8 m di altezza massima della rete antigrandine;
- 2,2 m di larghezza massima della copertura antigrandine per filare;
- 0,5 m di distanza tra le piante in vaso lungo il filare;
- orientamento Nord-Sud del filare.

Il prototipo, costituito da un telaio in metallo, supportava una rete antigrandine di colore bianco con un livello di ombreggiamento del 20%. I materiali OPV (film plastici organi-

ci fotovoltaici) sono stati fissati sulla rete antigrandine in modo da raggiungere tre livelli – 90%, 60% e 30% (foto A e B) –, di copertura della superficie della rete. Un segmento di prototipo senza copertura OPV è servito inoltre da controllo.

Il prototipo è stato costruito con la logica dello «scenario peggiore», al fine di testare la soglia inferiore di efficacia di questa nuova tecnologia. La rete antigrandine è stata così montata con un angolo di inclinazione elevato (circa 45°) in modo da far intercettare poca luce ai materiali OPV (e quindi ottenere una scarsa produzione elettrica)



A Prototipo con copertura al 90%



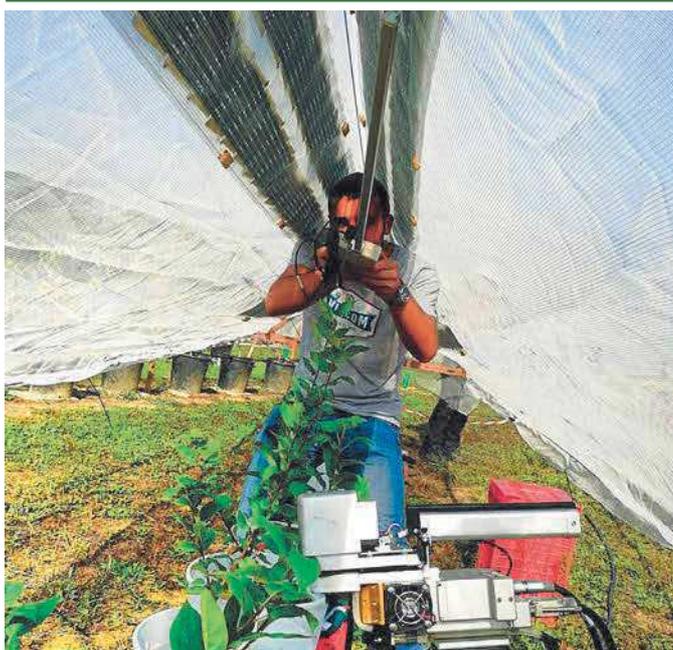
B Copertura al 60%, 30% e controllo (da sinistra)



C Misurazione degli scambi gassosi



E Rilevazione in piena luce dell'intensità luminosa



D Rilevazioni di scambi gassosi e intensità luminosa



F Particolare del collegamento per misurazione



G Datalogger e connessioni

e ottenere un elevato ombreggiamento causato dai materiali OPV posti sulla rete (sia in termini di intensità sia di tempo) delle piante sottostanti.

#### RILIEVI EFFETTUATI

Sotto ogni porzione del prototipo a differente percentuale di copertura ombreggiante, ognuna della lunghezza di 3,5 m, sono stati posizionati, rialzati dal suolo e posti a 50 cm di distanza tra loro (per aumentarne il tempo di ombreggiamento), 6 vasi contenenti piante di melo (*Malus domestica* Borkh) di 1 anno (foto B). Su tutte queste piante sono state eseguite misurazioni fisiologiche, a seguito di un periodo di adattamento, relative agli scambi gassosi a livello fogliare attraverso lo strumento Li-cor 6400 (foto C e D), valutando: fotosintesi netta, conduttanza stomatica e traspirazione. Prima, durante e dopo ogni rilievo fisiologico è stata misurata l'intensità luminosa con un ceptometro (AccuPAR LP-80), misurando nella parte esterna del prototipo (ambiente in piena luce, foto E), su entrambi i lati Est e Ovest e al di sotto della copertura OPV, in corrispondenza di ognuna delle piante e in ogni porzione della struttura. Sia i rilievi fisiologici sia dell'ambiente luminoso sono stati ripetuti in tre diverse giornate.

La valutazione della produzione energetica è avvenuta collegando in parallelo una striscia di pellicola OPV su ciascuno dei lati (Est e Ovest) del prototipo (foto F). I dati di produzione elettrica istantanea sono stati registrati a intervalli di 1 secondo, grazie a un datalogger (foto G). La registrazione di tale informazione è avvenuta per semplicità solo sul trattamento 30%.

La sperimentazione ha preso il via valutando il solo trattamento al 90%. L'idea iniziale era infatti testare l'effetto dell'ombreggiamento del materiale OPV necessario a coprire la quasi totalità della superficie utilizzata dalla rete antigrandine con il fine di sfruttare al massimo lo spazio disponibile come superficie fotovoltaica. Questo trattamento ha però mostrato una riduzione eccessiva della luce disponibile alle piante. I meli sottoposti a questo livello di ombreggiamento hanno infatti mostrato un'attività fotosintetica significativamente inferiore rispetto a quelli posizionati sotto la sola rete antigrandine (controllo). Successivamente a questa osservazione preliminare (dati non riportati), la prova sul trattamento 90% è stata sospesa e si è modificato il prototipo per analizzare i soli trattamenti di copertura al 30% e 60% (foto B). ●

## GLOSSARIO

**Conduttanza stomatica.** Sotto le foglie ci sono piccole strutture chiamate stomi. Si tratta di aperture che mediano l'ingresso di molecole di anidride carbonica, oltre a servire da punto di uscita per le molecole di ossigeno e acqua.

**Traspirazione.** Gli stomi sono sensibili all'ambiente. Possono «leggere» la quantità di umidità presente nell'aria e la pressione della colonna d'aria. Se necessario, possono lasciare passare acqua attraverso le foglie. Al contrario, se la temperatura è troppo alta, la pianta cercherà di traspirare più acqua possibile per raffreddarsi. ●

infatti, diminuiscono gli stress dovuti a fotoinibizione/fotodanno, nonché il riscaldamento delle foglie dovuto alla luce e di conseguenza si riducono i fabbisogni irrigui della pianta per la termoregolazione delle foglie. Da una parte non cala la fotosintesi, ma dall'altra si consuma meno acqua e aumenta così l'efficienza della pianta (Morandi et al., 2011; Corelli Grappadelli et al., 2017; Tozzi et al., 2018).

Ma come diminuire l'eccesso luminoso e al contempo utilizzarlo?

**È possibile sfruttare la luce in eccesso producendo energia in modo ecosostenibile usufruendo dei già presenti sistemi di copertura antigrandine (oggi imprescindibili in frutticoltura), tramite l'applicazione di film plastici organici fotovoltaici (OPV) posizionati su di essi.** Si può così raggiungere un doppio obiettivo: ridurre la luce diretta sugli alberi grazie al potere ombreggiante dei pannelli e produrre energia con la luce intercettata. L'energia creata dagli OPV, oltre ad aumentare il livello di sostenibilità aziendale, potrà in futuro favorire l'applicazione di tecniche avanzate di gestione precisa dei frutteti (Precision orchard management - Pom) che basano il loro funzionamento sulla risorsa elettrica (sensoristica); la sinergia di tutti questi approcci vede così una frutticoltura a «impatto zero».

**In aggiunta, l'energia elettrica disponibile al frutticoltore potrebbe essere un notevole incentivo per facilitare la diffusione di macchinari elettrici (trattori, ma anche rover o altri mezzi agricoli) che potrebbero**

sostituire quelli alimentati da combustibili fossili nella normale gestione aziendale.

## Valutazione dell'ambiente luminoso

L'ombreggiamento medio giornaliero nei trattamenti controllo, 30 e 60% è stato rispettivamente del 34,8%, 55,3 e del 69%. In tutte le coperture, incluso il controllo, il livello di riduzione luminosa è risultato superiore a quanto previsto. Ciò è stato probabilmente causato da un'elevata interferenza dei materiali OPV con la luce solare. Inoltre, l'elevata inclinazione della rete antigrandine (45° rispetto l'orizzonte) ha presumibilmente aumentato il livello di luce riflessa (anche nel controllo) e ridotto la quantità di luce diretta verso le piante. I picchi di massimo ombreggiamento hanno inoltre mostrato andamenti discordanti tra i diversi trattamenti (tabella 1): i trattamenti controllo e 60% hanno avuto un'evoluzione di tipo circadiano, con un massimo di ombreggiamento corrispondente al mezzogiorno solare e valori più ridotti nella mattina e nel pomeriggio (come previsto). Al contrario, il trattamento 30% ha mostrato un andamento differente, con valori di massimo ombreggiamento nelle ore del mattino e del pomeriggio. Probabilmente l'inclinazione e il particolare montaggio sulla rete a singola striscia di OPV posta al culmine della rete (foto B) ha favorito la diffusione della luce al mezzogiorno solare rispetto le ore antecedenti e seguenti. La mattina e il pomeriggio, infatti, la luce colpiva più perpendicolarmente la rete, con conseguente maggior intercettazione e ombreggiamento delle piante.

## Risposta delle piante

L'analisi degli scambi gassosi a livello fogliare (fotosintesi netta, traspirazione e conduttanza stomatica), come mostrato in tabella 2, ha messo in evidenza che per **tutti i trattamenti ombreggiati non sono mai state registrate differenze rispetto al controllo. Ne risulta che sia il trattamento 30% sia il 60% non hanno influito negativamente sulle performance fisiologiche delle piante.** È importante comunque evidenziare l'andamento del tasso di traspirazione: il 60% (in modo più chiaro e netto) si riducono con lo scorrere del tempo e il 30% (in media e in

modo più variabile), mentre il controllo tende chiaramente ad aumentare. Questo comportamento è quasi certamente dovuto al maggior livello di ombreggiamento dei trattamenti 30% e 60%, con conseguenti minori necessità traspirative rispetto a quelle del trattamento controllo.

## Produzione elettrica

L'applicazione OPV del trattamento 30% (l'unico su cui sono stati raccolti dati di produzione) ha prodotto per l'intero periodo di 15 giorni 4,46 Wh di energia. Tale valore può essere raddoppiato stimando la produzione di energia del trattamento 60% pari a 8,92 Wh. **Riferendo la produzione al singolo metro quadrato di materiale OPV, la produzione di energia totale è stata di 2,09 Wh/m<sup>2</sup> per l'intero periodo di monitoraggio e di 0,14 Wh/m<sup>2</sup> in media per singolo giorno.** Va evidenziato il fatto che questi valori di produzione sono veramente ridotti da un punto di vista funzionale e che questo risultato è stato principalmente dovuto al basso livello di efficienza dei particolari materiali scelti (2% circa di efficienza di trasformazione dell'energia solare). Inoltre, l'elevata inclinazione delle falde del prototipo ha aumentato la luce riflessa rispetto a quella intercettata, diminuendo così ulteriormente l'efficienza di trasformazione dell'energia solare.

**TABELLA 2 - Scambi gassosi a livello fogliare espressi in fotosintesi netta, conduttanza stomatica e traspirazione**

Tesi	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3
<b>Fotosintesi netta (<math>\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}</math>)</b>			
Controllo	8,19 ± 0,94	8,92 ± 0,73	8,38 ± 0,79
Copertura al 30%	9,88 ± 1,84	8,06 ± 0,66	7,78 ± 1,41
Copertura al 60%	8,14 ± 0,83	8,69 ± 0,41	7,79 ± 1,27
<b>Conduttanza stomatica (<math>\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}</math>)</b>			
Controllo	0,14 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,23 ± 0,02
Copertura al 30%	0,16 ± 0,03	0,13 ± 0,02	0,20 ± 0,03
Copertura al 60%	0,18 ± 0,03	0,13 ± 0,02	0,15 ± 0,02
<b>Traspirazione (<math>\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}</math>)</b>			
Controllo	2,44 ± 0,33	2,39 ± 0,15	2,81 ± 0,20
Copertura al 30%	2,82 ± 0,50	2,17 ± 0,35	2,49 ± 0,43
Copertura al 60%	2,96 ± 0,42	2,21 ± 0,29	1,96 ± 0,36

È importante evidenziare l'andamento del tasso di traspirazione: il 30% e il 60% si riducono con lo scorrere del tempo, mentre il controllo tende ad aumentare. Questo comportamento è quasi certamente dovuto al maggior livello di ombreggiamento dei trattamenti 30% e 60%, con conseguenti minori necessità traspirative.

**TABELLA 1 - Livelli di ombreggiamento (luce rimossa %) nelle tre tesi in prova**

Tesi	Media	Rilievo		
		ore 10,30	ore 12,00	ore 13,00
Controllo	34,8	37,0	40,7	26,7
Copertura al 30%	55,3	60,2	50,5	55,2
Copertura al 60%	69,0	67,0	73,5	66,4

## Produrre energia e frutta

La sperimentazione delle OPV ha portato a risultati molto soddisfacenti restituendo informazioni di base da cui trarre insegnamenti per le future ricerche. Innanzitutto, la copertura quasi totale della rete antigrandine (trattamento 90%) ha causato riduzioni eccessive delle performance delle piante, indicando che tale livello di copertura del frutteto può portare a perdite in qualità e produzione. Al contrario, coperture del 60% e 30% della superficie della rete antigrandine non mostrando effetti negativi sulle prestazioni delle piante, potrebbero portare a un miglioramento della sostenibilità aziendale, producendo energia elettrica e diminuendo gli input energetici come il consumo di acqua e combustibili fossili. È comunque opportuno sottolineare che l'energia prodotta dai materiali OPV testati è risultata piuttosto ridotta. Ne segue la necessità di ricercare nuovi e/o più efficienti sistemi di produzione energetica adattabili al contesto frutticolo. Rimangono inoltre alcune que-

stioni aperte che riguardano i possibili effetti dell'alterazione dell'intensità luminosa sia sulla qualità della frutta (organolettica e visiva) sia sul comportamento vegeto-produttivo. Sarebbe in aggiunta interessante valutare e quantificare il livello di risparmio idrico ottenibile da queste soluzioni.

I risultati di questo esperimento preliminare mostrano che la coproduzione di energia e frutta appare possibile. **Si aprono così nuovi scenari che permetteranno l'applicazione di tecnologie innovative grazie alla disponibilità di energia elettrica direttamente in campo e che, al contempo, porteranno a un aumento della sostenibilità del comparto frutticolo** riducendo le emissioni di gas serra e contrastando così il proseguire delle problematiche legate al cambiamento climatico.

## Futuri sviluppi

La prova qui descritta pone le basi per una più ampia ricerca rivolta a soluzioni innovative di coperture multifunzione del frutteto (antigrandine, antinsetto, antiacqua, fotovoltaiche). Un esempio tangibile è proposto a riguardo dal frutteto «smart» in via di sviluppo nel progetto regionale POR-FESR S30 (<https://www.s3o.it>).

**Gianmarco Bortolotti, Luigi Manfrini  
Alexandra Boini, Giulio Demetrio Perulli  
Kushtrim Bresilla  
Luca Corelli Grappadelli**

*Dipartimento di scienze e tecnologie agro-alimentari, Università di Bologna*

**Davide Pontara, Marco Bertoldi  
Claudio Rossi**

*Dipartimento di ingegneria dell'energia elettrica, Università di Bologna*

*Gli autori ringraziano Climate-KIC (ed EIT e Unione europea) per il supporto economico che ha reso possibile questa sperimentazione (rif: Climate-KIC Pathfinder grant: S3-EO 2018 - ID TSS2018B\_433-S3-EO\_B).*

**V** Questo articolo è corredato di bibliografia/contenuti extra. Gli Abbonati potranno scaricare il contenuto completo dalla Banca Dati Articoli in formato PDF su: [www.informatoreagrario.it/bdo](http://www.informatoreagrario.it/bdo)