Progetto BIOVOLTAICO: Applicazioni innovative del FV semitrasparente in agricoltura

La produzione di energia rappresenta una priorità ormai imprescindibile per l'attuale situazione nazionale e l'interazione con il settore primario può divenire una importante opportunità su entrambe le filiere agricole ed energetiche. L'integrazione della tecnologia a diversi livelli di implementazione può rappresentare un importante supporto per lo sviluppo del settore, riducendo i fabbisogni di lavoro anche solo per operazioni di controllo ed efficientamento.

In tale contesto di riferimento è stato ideato il progetto "BIOVOLTAICO" che si pone lo scopo di integrare le attività agricole e la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici al fine di promuovere, da un lato, produzioni bio e di qualità, ambientalmente sostenibili, con incremento di biodiversità e risparmio idrico, dall'altro lato fornendo un concreto contributo alla decarbonizzazione del Paese a costi competitivi.

L'idea è di risolvere il "conflitto" tra differenti usi dei terreni (per coltivare o per produrre energia), aspetto di grande interesse in quanto la transizione ecologica comporterà la realizzazione di molti impianti fotovoltaici a terra che, se realizzati con le tecnologie convenzionali, porterebbero ad una riduzione del suolo agricolo coltivabile non trascurabile.

Il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma Tor Vergata (DIE), attraverso il Laboratorio CHOSE , sviluppa tecnologie innovative in grado di interagire positivamente sugli aspetti agricoli e biologici della crescita delle colture sotto pannelli fotovoltaici semitrasparenti, spettralmente selettivi, come il FV a base di semiconduttori organici polimerici (OPV) ed i moduli basati sulla tecnologia fotoelettrochimica a colorante (DSSC).

Il CHOSE - Dipartimento di Ingegneria Elettronica - è uno dei partner co-beneficiari del progetto BIOVOLTAICO, con capofila la società Intellienergia, e con CREA - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria e la società Bassano Natura s.a.r.l. come altri co-beneficiari. Il contributo erogato da Lazioinnova ammonta a 49.520,00€, per un importo totale di progetto (compreso di cofinanziamento del DIE) pari a 61.900,00€.

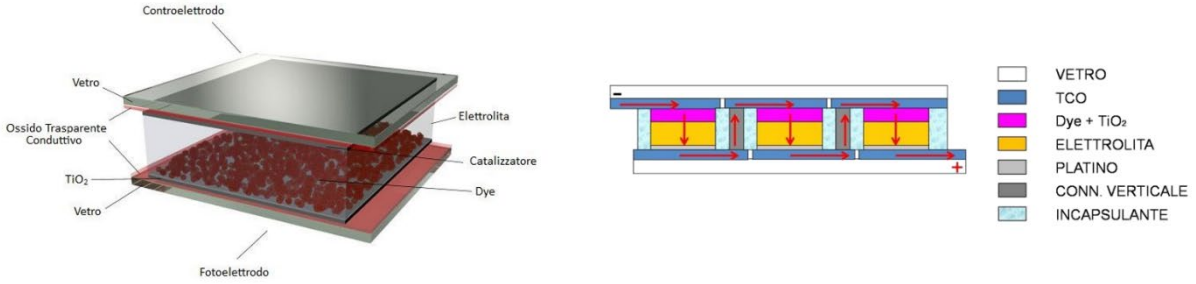
Il CHOSE ha realizzato nel WP1 del progetto una copertura sperimentale in FV semitrasparente in tecnologia DSSC e OPV per 4m^2 totali, 3m^2 in tecnologia DSSC, ed 1m^2 in tecnologia OPV.

ACT: Nel contesto dell'agrivoltaico, la percezione luminosa (sensibilità della clorofilla) varia lungo l'intero intervallo di lunghezze d'onda dello spettro visibile. Introduciamo quindi il parametro Average Chlorophyll Transmittance (ACT) per applicazioni agrivoltaiche, per rappresentare la trasmittanza media del dispositivo in relazione alla attività fotosintetica delle piante, anziché all'occhio umano come avviene per sistemi FV semitrasparenti per integrazione negli edifici (BIPV).
Per il calcolo dell'ACT abbiamo adottato una strategia innovativa, in cui il flusso fotonico trasmesso dal dispositivo fotovoltaico semitrasparente è ponderato tramite C(λ), che rappresenta lo spettro medio di assorbimento della clorofilla [a,b], con picchi nelle regioni del blu (430–470 nm) e del rosso (660–680 nm). L'ACT è quindi definita utilizzando la seguente espressione, in cui T(λ) rappresenta la trasmittanza del dispositivo fotovoltaico, ed E(λ) rappresenta lo spettro della radiazione solare.

$$ACT = \frac{\int T(\lambda)\, C(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int C(\lambda)\, E(\lambda) d\lambda}$$

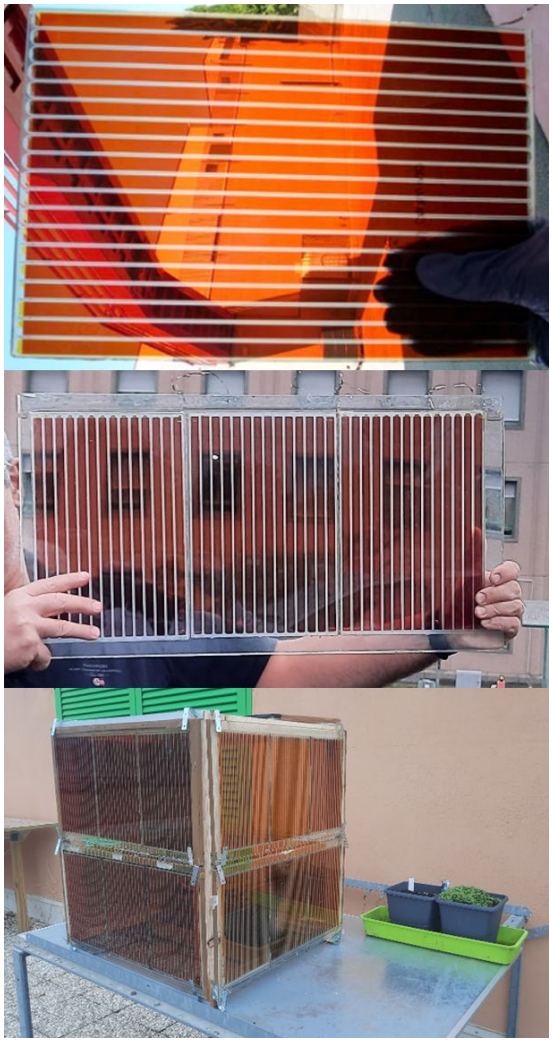
Per l'applicazione dei dispositivi fotovoltaici all'agrivoltaico, definiamo inoltre Light Utilization Efficiency (LUE) come il prodotto tra efficienza (PCE) e ACT: LUE = PCE × ACT. Questo approccio risulta fondamentale nei sistemi agrivoltaici, poiché consente di valutare quanto efficacemente i dispositivi fotovoltaici semitrasparenti si integrino con i processi fotosintetici delle piante.

DSSC: Le DSSC vengono realizzate mediante la sovrapposizione di più layer a costituire l'architettura finale della cella, come illustrato nello schema seguente. A sinistra la singola cella, a destra la sezione trasversale di un modulo DSSC.



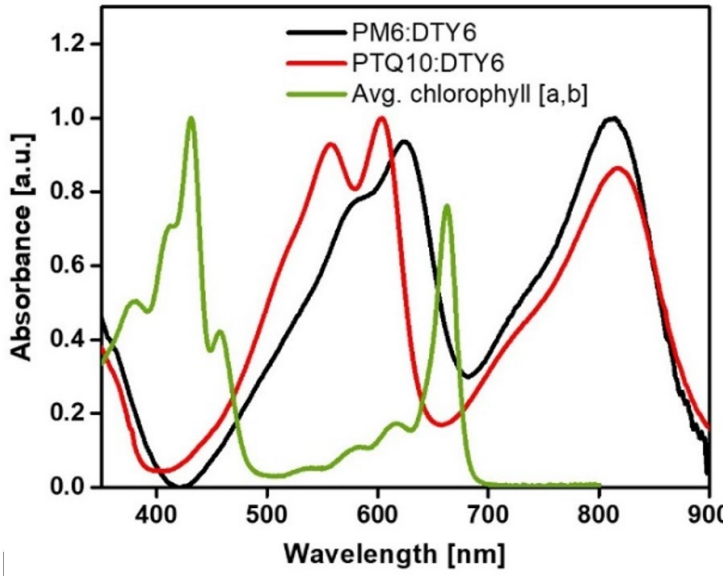
Schema di una cella (sx) e di un modulo (dx) DSSC

I risultati ottenuti con i moduli DSSC permettono di ottenere una efficienza media compresa tra il 2 ed il 3 %, con un dato di efficienza massima del 3.9% con una trasparenza su area geometrica del modulo pari al 30%. Uno dei moduli realizzati è mostrato nella figura seguente. Per quanto riguarda la tecnologia DSSC, sono stati realizzati in totale $3m^2$ di copertura, mediante la definizione di 12 pannelli con 3 moduli A4 ciascuno, con dimensioni 36x70 cm^2. La serra ha dimensioni totali in cm pari a 72 (altezza) x 70 (larghezza) x 70 (profondità) con l'impiego di 2 pannelli per ogni lato e per la copertura orizzontale.



Modulo, pannello e serra DSSC.

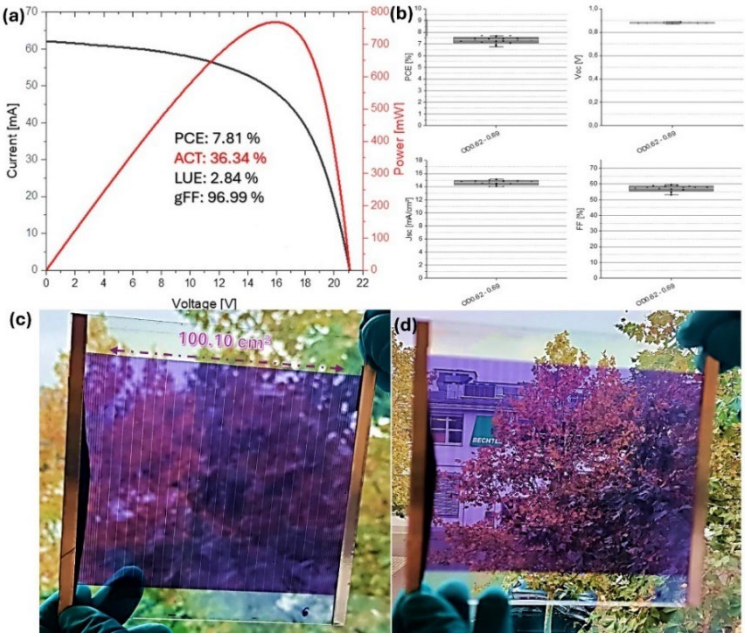
OPV: L'importanza di parametri prestazionali come PCE, ACT, LUE per le applicazioni agrivoltaiche è riassunto dalla figura seguente, dove è possibile apprezzare il bilanciamento ottimale tra efficienza FV e grado di semitrasparenza per la clorofilla ACT per due diversi sistemi donore-accettore: PM6:DTY6 e PTQ10:DTY6.



Spettri di assorbimento di PM6:DTY6 (1:1) e PTQ10:DTY6 (1:1) confrontati con l'assorbimento medio della clorofilla [a,b]

Il sistema PTQ10:DTY6 mostra ridotta sovrapposizione con i picchi di assorbimento della clorofilla, ed è stata quindi scelta per la realizzazione su larga scala di moduli OPV. Sono stati realizzati 2 batches di moduli semitrasparenti (ST-OPV): a) mediante tecnica blade coating a velocità variabile;, b) mediante slot die coating. I risultati sono sinteticamente riportati qui di seguito.

Batch a): dispositivi ST-OPV utilizzando blade coating a velocità variabile e AgNWs come elettrodi trasparenti conduttivi, abbinati a laser per il patterning P1-P2-P3. Il compromesso tra PCE e trasparenza è stato analizzato tramite ottimizzazione della densità ottica, con l'obiettivo di aumentare l'ACT mantenendo prestazioni fotovoltaiche efficienti. Nelle condizioni ottimali di densità ottica, abbiamo realizzato un modulo ST-OPV di larga area con area attiva totale di 100,10 cm², ottenendo: PCE: 7,82%, ACT: 36,34%, LUE: 2,84 GFF: > 96%.



Analisi del modulo ST-OPV: (a) misure JV e potenza-tensione, (b) analisi statistica dei parametri fotovoltaici estratti dalle misure JV di ciascun modulo, (c) fotografia del modulo ST-OPV da 13,5 × 13,5 cm² dal lato AgNWs, mostrando le 24 sotto-celle e le linee di incisione laser, (d) caratteristica di semitrasparenza del modulo vista dal lato vetro-ITO.

Batch b): Moduli realizzati mediante slot-die coating, utilizzando gli stessi materiali e parametri adottati per i moduli ST-OPV realizzati mediante blade coating nel batch a), per completare la superficie di 1 m^2 di ST-OPV destinata a questa sperimentazione AgriPV. L'interconnessione tra le celle è stata realizzata mediante ablazione selettiva con patterning laser P1-P2-P3. Questo secondo batch di moduli presenta un range di efficienza compreso tra 2 e 3 %, oggetto di ulteriore ottimizzazione dei parametri di slot-die coating.

I due batch sono stati assemblati sotto forma di pannelli 3x1, di dimensioni 20x52 cm^2, che hanno permesso la realizzazione di una serra con moduli ST-OPV da 1 m^2 come mostrato nella figura seguente, per valutare simultaneamente sia la crescita delle colture sia la stabilità dei moduli ST-OPV incapsulati, offrendo una prospettiva concreta e stimolante sulle reali potenzialità dell'agrivoltaico.



Realizzazione della serra da 1 m^2 in tecnologia ST-OPV.