

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2019-21 - RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE**  
Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

**AFFIDATARIO CNR**

Tema - Titolo del progetto: Progetto 1.1: Fotovoltaico ad alta efficienza

Durata: 36 M

Semestre n. 3 – Periodo attività: M13-M18

**ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:**

Questo progetto affronta una delle priorità più importanti del SET Plan Europeo come definito nel piano di attuazione per il settore fotovoltaico. L'obiettivo principale del progetto è quello di rimuovere uno dei colli di bottiglia più critici che finora ha impedito al mercato del Fotovoltaico Integrato negli Edifici (BIPV) di decollare a differenza del Fotovoltaico "Utility-Scale".

Il punto chiave del progetto è la validazione di una famiglia di tecnologie di stampa a basso costo per la fabbricazione di prodotti fotovoltaici semilavorati da incorporare in componenti per l'edilizia o altri prodotti alimentati elettricamente.

L'idea del progetto è quella di partire da due consolidati processi produttivi per celle e moduli solari a film sottile, uno nel campo delle celle solari sensibilizzate con colorante (DSSC) e uno relativo a celle solari inorganiche a film sottile, e introdurre nuovi step di processo innovativi progettati per colmare il divario rispetto alla tecnologia del Silicio cristallino in termini di prestazioni, costi e producibilità.

Ciò potrebbe liberare i numerosi potenziali vantaggi delle tecnologie a film sottile rispetto ai moduli fotovoltaici convenzionali in termini di flessibilità, leggerezza e integrabilità nei prodotti alimentati elettricamente e nei componenti degli edifici.

<b>ATTIVITA' SVOLTE</b>	
<b>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</b>	<b>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</b>
CNR	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Celle Solari DSSC</li><li>➤ Celle Solari a base di CIGS</li><li>➤ Diagnostiche e monitoraggio PV</li></ul>



Responsabile scientifico: Massimo Mazzer

## **Progetto 1.1: Fotovoltaico ad alta efficienza**

### **Relazione Semestrale 3: M13 – M18**

---

#### **1) Introduzione**

Questo progetto affronta una delle priorità più importanti del SET Plan Europeo come definito nel piano di attuazione per il settore fotovoltaico. L'obiettivo principale del progetto è quello di rimuovere uno dei colli di bottiglia più critici che finora ha impedito al mercato del Fotovoltaico Integrato negli Edifici (BIPV) di decollare a differenza del Fotovoltaico "Utility-Scale".

Il punto chiave del progetto è la validazione di una famiglia di tecnologie di stampa a basso costo per la fabbricazione di prodotti fotovoltaici semilavorati da incorporare in componenti per l'edilizia o altri prodotti alimentati elettricamente.

L'idea del progetto è quella di partire da due consolidati processi produttivi per celle e moduli solari a film sottile, uno nel campo delle celle solari sensibilizzate con colorante (DSSC) e uno relativo a celle solari inorganiche a film sottile, e introdurre nuovi step di processo innovativi progettati per colmare il divario rispetto alla tecnologia del Silicio cristallino in termini di prestazioni, costi e producibilità.

Ciò potrebbe liberare i numerosi potenziali vantaggi delle tecnologie a film sottile rispetto ai moduli fotovoltaici convenzionali in termini di flessibilità, leggerezza e integrabilità nei prodotti alimentati elettricamente e nei componenti degli edifici.

Il progetto è diviso in tre workpackage. Il primo (WP1) è dedicato allo sviluppo dei nuovi step tecnologici e alla loro integrazione nei processi di produzione esistenti, integralmente sviluppati dal CNR. Le prime 5 linee di attività (LA1-LA5) riguardano l'innovazione di processo nella tecnologia DSSC, le linee da LA6 a LA9 si occupano di tecnologie di stampa a basso costo per la deposizione di celle solari a film sottile inorganico. La preparazione di moduli sperimentali a film sottile sarà resa possibile dall'adattamento delle tecniche di scribing laser alle nuove fasi del processo (LA10 e LA11) mentre le ultime tre linee (LA12-LA14) sono dedicate a due applicazioni specifiche delle nuove tecnologie. La prima consiste nell'utilizzazione del nuovo processo di preparazione di celle a film sottile, sviluppato nelle linee di attività L1-L111, per dimostrare un percorso tecnologico verso la realizzazione a basso costo di celle tandem ad alta efficienza ottenute depositando celle solari a film sottile "a wide.gap" su celle di silicio cristallino "state of the art". La seconda applicazione riguarda l'integrazione delle celle solari a film sottile di nuova concezione con batterie a film sottile per esplorare le sinergie tra le due funzioni in un innovativo dispositivo BIPV.

WP2 e WP3 forniranno un importante supporto alle attività del WP1 in termini di progettazione e test delle proprietà termiche dei moduli in vista della loro applicazione nell'ambiente costruito (WP2) e in termini di test elettrici e ottici approfonditi di tutti i dispositivi fotovoltaici fabbricati durante il progetto (WP3).

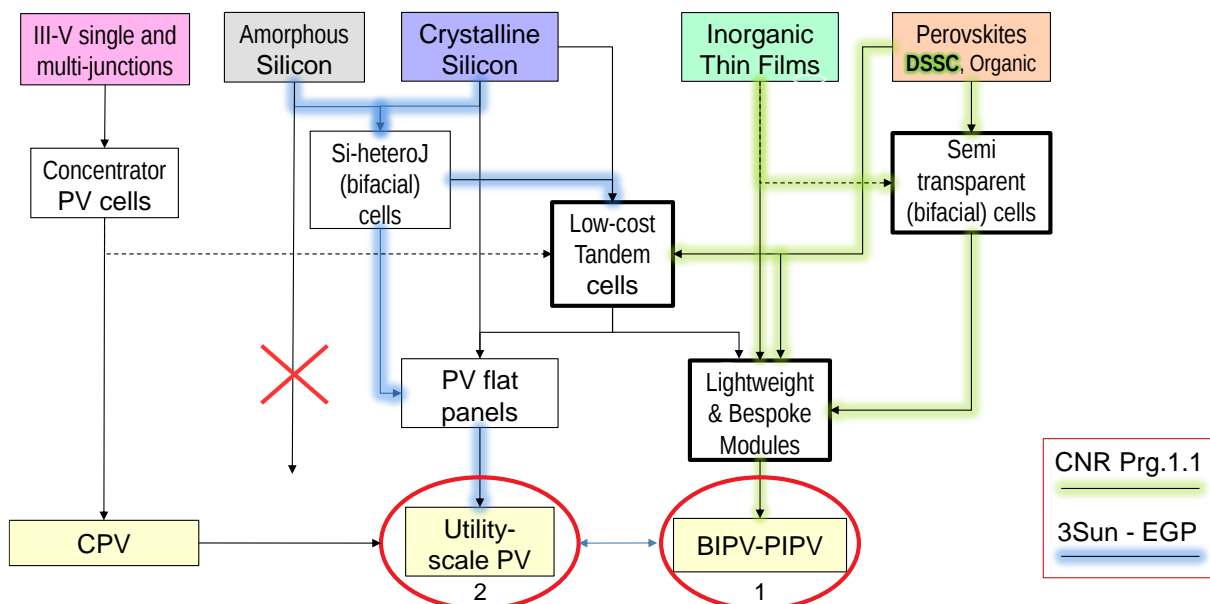
Questo progetto è complementare all'attività svolta dall'ENEA all'interno della stessa area tematica (1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza). Non vi sono sovrapposizioni poiché sia gli obiettivi che le tecnologie sviluppate nei due progetti sono chiaramente diversi, come indicato nell'accordo di coordinamento.

Si prevede che questo progetto avrà un impatto importante in termini di follow-up progettuale in partnership con gli stakeholder industriali dei settori manifatturiero e fotovoltaico che hanno già espresso il loro interesse a sfruttare i risultati di questa attività di ricerca e innovazione. Sono inoltre previste sinergie con il progetto PON "BEST4U" guidato da Enel Green Power (EGP) il cui obiettivo chiave è lo sviluppo di una nuova generazione di celle tandem ad alta efficienza basate sulla tecnologia cSi-HJT, commercializzata da EGP.

Lo schema seguente illustra l'ambito tecnologico in cui è collocato questo progetto e le relazioni con le principali attività industriali attualmente in corso. Le linee evidenziate in verde rappresentano i percorsi tecnologici a cui le linee di attività (LA) di questo progetto contribuiscono. Le linee evidenziate in azzurro sono invece i percorsi tecnologici seguiti dalla principale filiera industriale che opera attualmente in Italia nel settore fotovoltaico, quella che fa capo ad ENEL Green Power/3Sun, che ha recentemente rilanciato la presenza dell'industria italiana nella parte alta della filiera con la produzione di celle solari ad etero-giunzione (HJT) di Silicio.

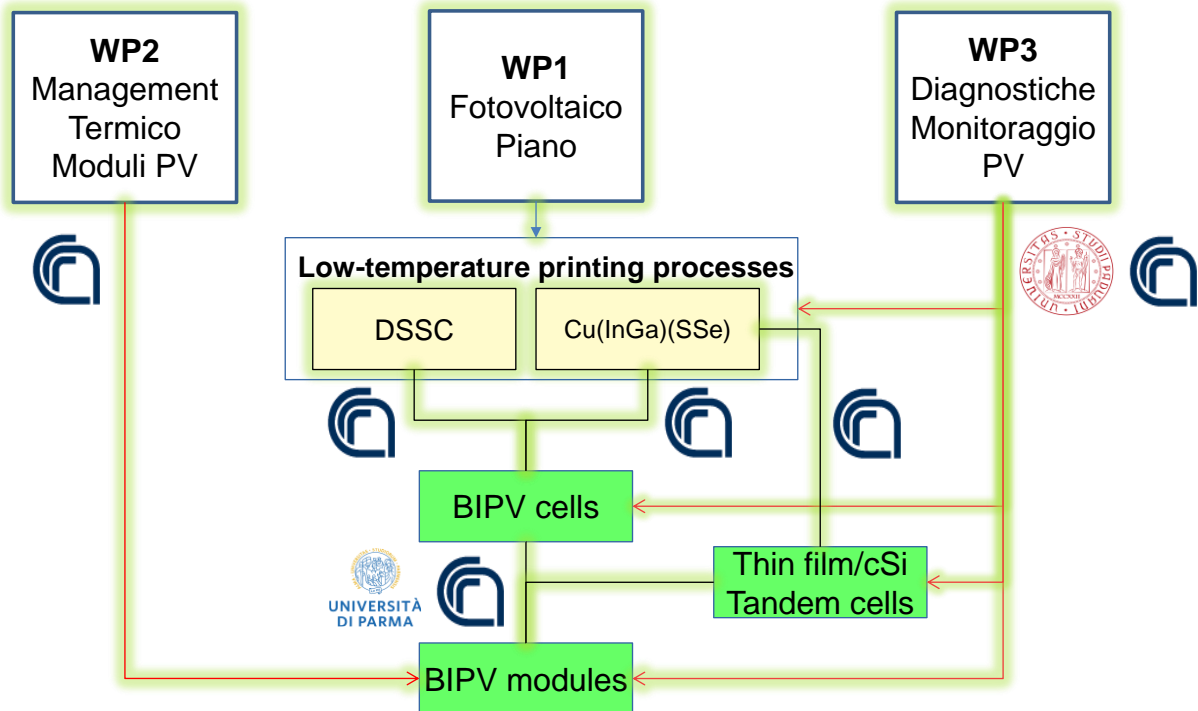
Il punto di contatto fra i due percorsi è costituito dalla task tecnologica di sviluppo di celle tandem (in futuro a multipla giunzione) in grado di superare il limite fisico di efficienza raggiungibile dall'attuale tecnologia (~29%). In base alle roadmap delle principali aziende che operano attualmente sul mercato fotovoltaico globale, la tecnologia delle celle a multipla giunzione ottenute integrando celle a film sottile (a "wide gap") a una delle attuali celle commerciali a base di Silicio, sarà in produzione prima del 2030 con efficienze di conversione fotovoltaica superiori al 30%.

## Solar Cells ► Applications



Lo schema seguente rappresenta invece la struttura logica di questo progetto imperniata sulle attività del WP1, dove vengono sviluppate le tecnologie innovative per la realizzazione di celle a film sottile destinate all'integrazione in dispositivi tandem. L'obiettivo è quello di sviluppare processi che siano compatibili con quello usato industrialmente per la produzione di celle al Silicio ad etero-giunzione sia dal punto di vista tecnologico che economico.

## Struttura Logica del Progetto



Il WP2 e il WP3 costituiscono invece delle attività di supporto orientate alla caratterizzazione di materiali e dispositivi realizzati (WP3) e allo studio della dissipazione termica nei dispositivi a multipla giunzione ottenuti mediante i processi sviluppati in questo progetto.

### 2) Stato di avanzamento al Mese 18

Al mese 18 sono attive 8 linee di ricerca (LA1.2, LA1.4, LA1.5, LA1.7, LA1.8, LA1.10, LA1.12, LA3.1) e 2 sono concluse (LA1.1 ed LA1.6)

### 3) Dettagli attività svolte nel periodo M13-M18: Celle Solari DSSC (lato sinistro dell'albero centrale nella struttura logica del progetto), Resp. Alessandra Sanson ed Alessandro Mordini

- i. Al termine della Linea di attività LA 1.1, la quale prevedeva principalmente la formulazione di un inchiostro inkjet a base di  $\text{TiO}_2$  stabile nel tempo e la definizione di un protocollo di stampa di foto-anodi omogenei e con buona trasparenza, è stata evidenziata una problematica riguardante la trasparenza raggiunta dagli elettrodi così preparati. Ai fini di migliorare tale aspetto ed al contempo di raggiungere il primo obiettivo dell'attuale Linea di attività LA 1.2, ovvero la realizzazione di celle solari DSSC trasparenti con area fino a  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ , l'attività di ISTEC è stata principalmente rivolta (i) ad una ottimizzazione definitiva del processo di produzione dei film sottili di  $\text{TiO}_2$ , (ii) al loro contemporaneo scale-up raggiungendo dimensioni finali pari a  $3 \times 3 \text{ cm}$  ed infine, (iii) alla produzione di contro-elettrodi trasparenti. In dettaglio, l'attività sperimentale è stata focalizzata sulla produzione, mediante inkjet, di foto-anodi ad alta area attiva con migliorata trasparenza, la realizzazione di un contro-elettrodo trasparente mediante spray atmosferico ed infine, la loro caratterizzazione morfologica, ottica ed elettrochimica.
- ii. Nel corso del primo semestre sono state selezionate quattro strutture di coloranti originali, sintetizzati per la prima volta nei nostri laboratori, aventi buone proprietà di assorbimento della luce in diverse regioni dello spettro solare e, quindi, anche diversa colorazione. La



sintesi dei due coloranti più promettenti dal punto di vista ottico e fotovoltaico, denominati BTD-DTP1 e TTZ5, è stata ottimizzata impiegando reazioni di arilazione diretta che permettono di diminuire il numero di passaggi sintetici e di purificazione dei prodotti, con un netto vantaggio a favore della sostenibilità dell'intero processo. Questo lavoro di ottimizzazione ha permesso di preparare quantità sufficienti dei due coloranti (nell'ordine dei grammi) per gli stadi successivi del progetto. Contemporaneamente, oltre alla sintesi di nuovi coloranti, sono state prodotte e testate due diverse soluzioni elettrolitiche che, rispetto alla classica formulazione commerciale, contengono minime, se non addirittura nulle, quantità di iodio e mostrano un'elevata trasparenza nella regione del visibile, come richiesto dagli obiettivi del progetto. Coloranti ed elettroliti sono stati successivamente messi a disposizione di CNR-ISTEC per i test fotovoltaici.

#### **4) Dettagli attività svolte nel periodo M13-M18: Celle Solari a base di CIGS (lato destro dell'albero centrale nella struttura logica del progetto), Resp. Davide Delmonte, Edmondo Gilioli, Stefano Selleri**

In questo semestre di attività il processo di sintesi delle polveri di CIGS, messo a punto nel corso del primo anno di progetto, è stato utilizzato per la produzione di inchiostri adatti alla deposizione con tecniche a stampa. Nell'ambito delle linee di attività LA1.7 e LA1.8 sono stati messi a punto gli step di processo fondamentali per la preparazione di celle solari di CIGS mediante stampa a freddo, dalla formulazione degli inchiostri, alla preparazione dei substrati, alla deposizione, fino ai trattamenti termici e meccanici del film depositato.

Il principale risultato ottenuto in questo semestre è stato l'ottenimento di film di CIGS compatti e di morfologia compatibile con gli step di processo successivi, a partire dalla deposizione del cosiddetto "buffer layer" cioè dello strato di interfaccia fra il CIGS di tipo-p e gli strati di tipo-n che compongono l'emettitore della cella. Il raggiungimento di questa milestone ha aperto la strada alla realizzazione della prima cella solare di CIGS con la nuova tecnologia e, quindi, alla fase di ottimizzazione del dispositivo fotovoltaico a stampa, che sarà condotta nel semestre successivo.

La flessibilità della tecnica meccanochimica messa a punto nel primo anno di progetto per la sintesi delle polveri di CIGS ha consentito fin da subito di procedere in parallelo sia con la preparazione di celle solari di CIGS convenzionali (energy gap di circa 1.1 eV) che di celle ad alta gap (fino a 2eV) destinate invece alla realizzazione di celle tandem mediante accoppiamento mecano-ottico con celle di Silicio cristallino.

Parallelamente a questa attività è stata avviata, presso l'Università di Parma, la prima fase di ottimizzazione della tecnologia di laser scribing per il processing delle celle solari a film sottile di CIGS prodotte mediante la nuova tecnologia a stampa. In particolare la fase di processo che riguarda l'isolamento elettrico delle celle nella parte superiore della struttura fotovoltaica (assorbitore + contatto trasparente), detto P3; per questo è stata indagata la possibilità di utilizzare efficacemente sorgenti laser nel visibile e nell'infrarosso. I test sono stati eseguiti su vari campioni caratterizzando morfologia e composizione dei tagli risultanti. I risultati migliori per controllo e definizione del taglio si hanno utilizzando la radiazione laser a 1064nm con potenze dell'ordine del watt, impulso di 10 nanosecondi con frequenza di 30 KHz. L'utilizzo di questa sorgente abbinata ad un accurato sistema di movimentazione del fascio, nelle opportune condizioni di lavoro, permette la drastica riduzione del ben noto effetto di microfusione localizzata ai bordi dei tagli laser che risulterebbe assolutamente



nocivo al funzionamento delle celle, evidenziando da un drammatico peggioramento delle caratteristiche fotovoltaiche.

**5) Dettagli attività svolte nel periodo M13-M18: Diagnostiche e monitoraggio PV (lato destro nella struttura logica del progetto), Resp. Matteo Meneghini**

Questa linea di attività (LA3.1), condotta presso i laboratori dell'Università di Padova, consiste nello studio delle caratteristiche elettriche e ottiche di dispositivi fotovoltaici a film sottile.

L'attività si è inizialmente focalizzata sulla valutazione delle caratteristiche elettriche delle celle solari a film sottile di CIGS prodotte presso i laboratori del CNR di Parma mediante il processo standard denominato "Low Temperature Pulsed Electron Deposition" e considerato come il benchmark di questo progetto. L'obiettivo di questa fase era quello di mettere a punto e validare un protocollo di test da utilizzare poi per la caratterizzazione delle celle solari prodotte mediante il nuovo processo a stampa sviluppato, in particolare, nelle linee di attività LA1.7, LA1.8 ed LA1.12

Le analisi previste dal protocollo permettono di identificare la relazione tra il comportamento dei dispositivi e la qualità del materiale. I parametri ricavati vengono utilizzati a fini diagnostici, per identificare la presenza di meccanismi parassiti che possono ridurre l'efficienza delle celle.

Parte del protocollo di caratterizzazione sono anche la misura del coefficiente di temperatura, dell'efficienza quantica, interna ed esterna, delle celle in funzione della lunghezza d'onda della radiazione di sonda, e la mappatura delle emissioni di elettroluminescenza ottenuta nelle condizioni di lavoro delle celle.