

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. 4 – Periodo attività: M19-M24

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.

ATTIVITA' SVOLTE	
AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO	SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO
CNR	➤ Celle Solari DSSC ➤ Celle Solari a base di CIGS ➤ Diagnostiche e monitoraggio PV

Responsabile scientifico: Massimo Mazzer

Progetto 1.1: Fotovoltaico ad alta efficienza

Relazione Semestrale 4: M19 – M24

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-L11, 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).

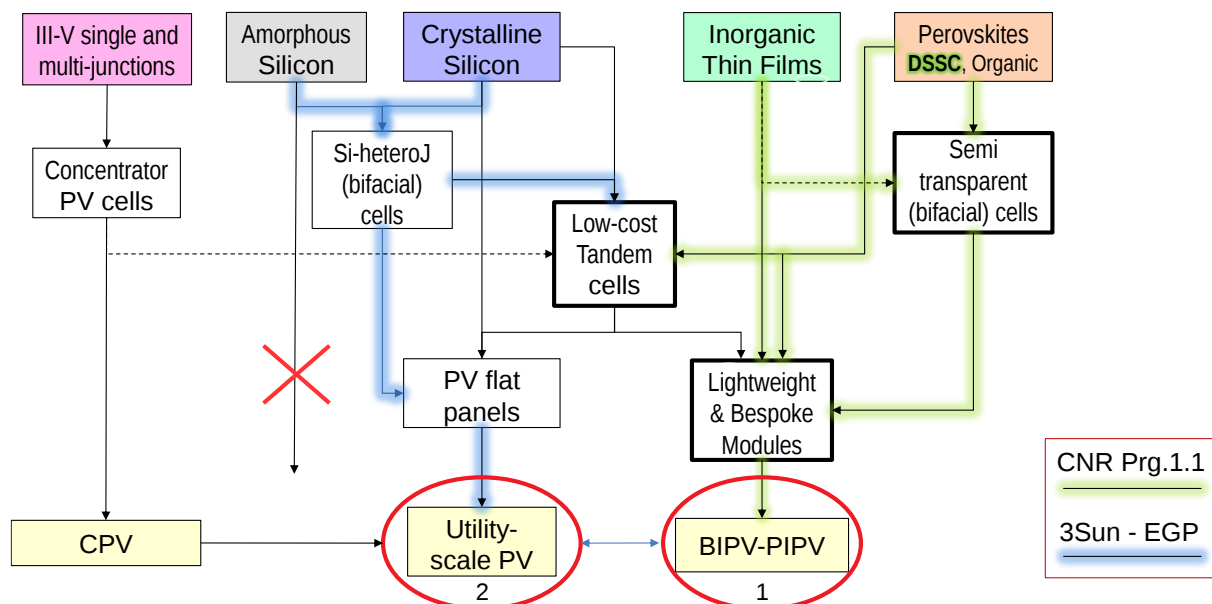
Questo progetto è complementare all'attività svolta dall'ENEA all'interno della stessa area tematica (1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza). Non vi sono sovrapposizioni poiché sia gli obiettivi che le tecnologie sviluppate nei due progetti sono chiaramente diversi, come indicato nell'accordo di coordinamento.

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 eterogiunzione (HJT) di Silicio.

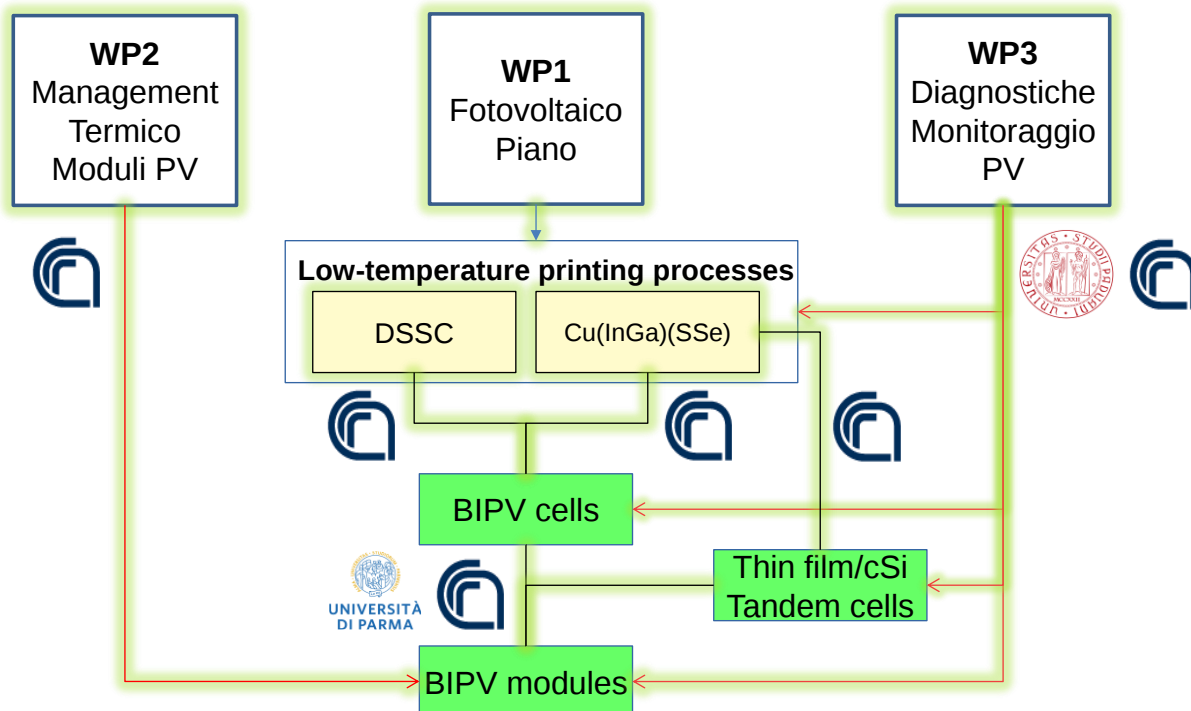
Il punto di contatto fra i due percorsi è costituito dalla task tecnologica di sviluppo di celle tandem (in futuro a multipla giunzione) in grado di superare il limite fisico di efficienza raggiungibile dall'attuale tecnologia (~29%). In base alle roadmap delle principali aziende che operano attualmente 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 eterogiunzione 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 24

Al mese 18 sono attive 11 linee di ricerca (LA1.2, LA1.3, LA1.4, LA1.5, LA1.7, LA1.8, LA1.9, LA1.10, LA1.12, LA1.13, 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. Nei primi sei mesi della Linea di Attività LA.1.2 nei laboratori del CNR ISTEC di Faenza, sono stati prodotti film sottili di TiO_2 con aree di 9 cm^2 con trasparenti preparati tramite inkjet. Contemporaneamente è stata anche studiata ed ottimizzata la produzione di contro-elettrodi trasparenti. Entrambi questi elementi saranno poi utilizzati per la produzione di celle solari DSSCs ad incrementata trasparenza come indicato negli obiettivi della Linea di Attività WP1 LA1.2. Per raggiungere tali target, l'attività di ISTEC è stata principalmente rivolta (i) sensibilizzare con differenti coloranti i film sottili di TiO_2 in grado di assorbire luce a differenti lunghezze d'onda forniti dalla Linea di Attività WP1-LA4, (ii) alla produzione di contro-elettrodi altamente trasparenti, (iii) all'integrazione degli elementi sviluppati con elettroliti forniti dalla Linea di Attività WP1-LA5 al fine di produrre celle solari DSSC ad incrementata trasparenza iv) alla caratterizzazione morfologica, ottica, elettrochimica e fotovoltaica dei dispositivi preparati
- ii. Presso i laboratori del CNR-ICCOM, la ricerca di nuove strutture di coloranti per DSSC ha avuto seguito anche nel secondo semestre, in particolare con l'obiettivo di individuare molecole di colorazione blu/verde, in modo da massimizzare la trasparenza dei dispositivi solari finali nella regione verde dello spettro visibile (450-600 nm). Una volta selezionato

l'opportuno cromoforo centrale – la tieno[3,4-b]pirazina – diversi gruppi funzionali donatori e accettori sono stati introdotti nelle strutture in modo da ottenere due nuove molecole (TP-1, TP-2) con le proprietà ottiche desiderate, cioè massimi di assorbimento nella regione fra 550 e 650 nm. La caratterizzazione foto-elettrochimica e quella fotovoltaica dei nuovi coloranti è tuttora in corso. Parallelamente, è stata portata avanti anche la ricerca di miscele elettrolitiche contenenti nuove coppie redox, alternative a quella classica a base di ioduro/triioduro. In particolare, il lavoro si è focalizzato sulla preparazione di complessi organometallici di cobalto(II/III), sia originali, sia già noti in letteratura, da impiegare come riferimento. Anche in questo caso, la caratterizzazione foto-elettrochimica e lo studio delle proprietà fotovoltaiche di celle DSSC contenenti i nuovi elettroliti sono attualmente in corso d'opera.

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, Francesco Bissoli

Durante questo semestre, nei laboratori del CNR-IMEM a Parma, è continuato lo sviluppo di celle solari a film sottile di CIGS mediante il nuovo processo a stampa basato su inchiostri basati su nanopolveri sintetizzate per via meccanochimica.

Sebbene condizionata dai ritardi dovuti ai provvedimenti di contenimento della pandemia, questa attività ha consentito comunque di ottenere risultati molto significativi per quanto riguarda la verifica della qualità del CIGS stampato e della sua effettiva utilizzabilità per la realizzazione di dispositivi fotovoltaici con caratteristiche tendenzialmente confrontabili con quelle di dispositivi realizzati con il processo di benchmark (LTPED, tecnica da vuoto standard utilizzata dal CNR-IMEM).

Rispetto al processo standard LTPED, in cui il CIGS viene depositato in vuoto su substrati riscaldati a temperature dell'ordine dei 250°C, il nuovo processo a stampa ha richiesto la modifica sostanziale di alcuni step di processo soprattutto nella fase di preparazione del substrato, di trattamento dell'interfaccia fra il contatto elettrico posteriore e il CIGS e di ottimizzazione delle caratteristiche del CIGS mediante trattamenti meccanici e termici, successivi alla deposizione.

I dispositivi ottenuti mediante il nuovo processo presentano caratteristiche elettriche ed ottiche molto promettenti sia per quanto riguarda la loro utilizzazione come celle solari "standalone" per applicazioni BIPV, sia come componenti di celle tandem basate su dispositivi di Silicio cristallino.

Presso l'Università di Parma, il focus di questo periodo di attività è stata l'ottimizzazione del processo di laser scribing sui dispositivi fotovoltaici di CIGS completi, ottenuti nei laboratori del CNR di Parma. Questo ha riguardato soprattutto la definizione dei parametri di lavoro legati al particolare film-sottile in esame. Lo studio dei parametri è dipendente non solo dalla stabilità del sistema sorgente+set up meccanico-ottico, ma soprattutto dalla riproducibilità delle strutture PV da processare (substrati, composizioni, spessori). Inoltre l'ottimizzazione dei parametri deve tenere in considerazione l'effetto del laser scribing su celle con diverse caratteristiche fotovoltaiche. Lo studio condotto modificando i principali parametri in gioco nel laser scribing attraverso test su varie celle, con verifiche morfologiche, composizionali ed elettriche, ha permesso di definire i parametri di un processo di laser scribing P3 che permette di isolare le celle senza danneggiarne le caratteristiche originali mostrate con lo scribing meccanico.

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) è stata orientata allo studio delle caratteristiche elettriche e ottiche di dispositivi fotovoltaici a film sottile. I risultati ottenuti hanno permesso di ottenere un feedback sulle caratteristiche dei dispositivi sviluppati entro il progetto. Comunicazioni periodiche con i partner hanno permesso di condividere i risultati, fornendo informazioni utili sulla caratterizzazione delle celle.

L'attività si è inizialmente focalizzata sulla valutazione delle caratteristiche elettriche delle celle. Tale analisi può permettere di identificare la relazione tra il comportamento dei dispositivi e la qualità del materiale. I parametri ricavati sono stati utilizzati a fini diagnostici, per identificare la presenza di meccanismi parassiti che possono ridurre l'efficienza delle celle.

Si è inoltre valutato il coefficiente di temperatura delle celle analizzate, che esprime la stabilità dei principali parametri (corrente di corto-circuito, tensione di circuito aperto, potenza massima) in funzione della temperatura, potendo così effettuare un benchmark rispetto alla tecnologia delle celle in silicio.

In aggiunta si è valutata l'efficienza quantica delle celle in funzione della lunghezza d'onda, al fine di identificare eventuali meccanismi di perdita (per es. eccessivo assorbimento in superficie, ricombinazione al back-side delle celle, ...). Nello specifico, si sono sviluppate misure di efficienza quantica esterna, di riflettività e di efficienza quantica interna, al fine di ottenere una caratterizzazione spettrale completa del comportamento delle celle solari.

Mediante misure di elettroluminescenza è stato poi possibile valutare la distribuzione spaziale della corrente, e l'eventuale presenza di processi di current-crowding. Mediante misure di elettroluminescenza è stato inoltre possibile analizzare la presenza di hot spots. Tali caratteristiche sono legate alla presenza di difetti nel semiconduttore, e possono generare non-uniformità nella distribuzione della corrente, portando quindi a una possibile degradazione delle celle fotovoltaiche. Studi preliminari sono stati svolti per valutare la stabilità delle celle nel breve periodo.