

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-24 - RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**
Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

ENEA

Tema 1.1 Titolo del progetto: Fotovoltaico ad alta efficienza

Durata: 36 mesi

Semestre n. 2 – Periodo attività: 01/07/2022 – 31/12/2022

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

Il progetto si compone di 4work package (WP): WP1 - Crescita del rapporto efficienza/costo di celle e moduli FV, WP2 - Nuove soluzioni per una maggiore penetrazione del FV nel sistema elettrico, WP3 - Metodologie e tecnologie avanzate per mappatura, monitoraggio e ottimizzazione dell'energia generata da FV e WP4 - Attività di coordinamento e gestione del progetto, Attività internazionali, Diffusione dei risultati e Collaborazione. In questo semestre sono state avviate attività di ricerca in tutti i WP.

In relazione al WP1 sono stati avviati studi su materiali e processi per celle in perovskite di tipo ibrido organica-inorganica. Sono stati messi a punto film di ossido di stagno, ottenuto da soluzioni di quantum dots che, grazie all'utilizzo di un additivo, hanno mostrato migliori prestazioni e ridotta isteresi rispetto al riferimento di SnO₂ ottenuto da soluzione commerciale. Risultati incoraggianti sono stati evidenti dallo studio dell'utilizzo di anisolo, solvente green, in sostituzione del clorobenzene nel processo di realizzazione della perovskite. È continuata la sperimentazione sull'utilizzo di additivi nella preparazione della perovskite. In particolare si è investigata la stabilità dei dispositivi sotto illuminazione continua e stress termico, utilizzando celle con una perovskite a due cationi (CsFA). Si è osservato un miglioramento notevole della stabilità termica delle celle quando alla perovskite CsFA vengono aggiunti gli additivi: il miglior dispositivo ha raggiunto un T₈₀ > 8000 ore (~1 anno). Sono poi stati realizzati i primi batch di celle in perovskite del tipo MAPI (singolo catione), dove il materiale assorbitore è ottenuto mediante co-evaporazione o con metodi ibridi (evaporazione della parte inorganica e spin-coating o ink jet printing della parte organica) per valutare le potenzialità dei differenti approcci considerati, ottenendo risultati incoraggianti.

Sono state realizzate celle a eterogiunzione di silicio con varie architetture per valutarne le prestazioni, le ripetibilità nei diversi esperimenti e l'uniformità dei processi sviluppati sull'intera area del wafer. La sperimentazione ha evidenziato una buona omogeneità delle prestazioni delle celle realizzate sull'intero wafer e la possibilità di ottenere migliori prestazioni quando la cella sia illuminata dallo strato sottile di silicio drogato n. È iniziato, inoltre, uno studio che ha lo scopo di analizzare il rapporto tra tensioni di circuito aperto e dimensioni e geometrie di piccole celle solari utili agli studi in corso nel progetto ma anche nell'ottica di realizzare moduli FV con celle ritagliate (half-cut cells).

E' continuato lo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio con gli approcci avviati nel periodo precedente ottenendo valori di efficienza >23% e prossimi al 28% per le tandem realizzate

rispettivamente con architettura monolitica o con accoppiamento meccanico tra le due celle componenti.

In relazione allo sviluppo di film polimerici da utilizzare come incapsulanti per moduli FV, continuano gli studi e la caratterizzazione dei film polimerici individuati quando sottoposti ad invecchiamento accelerato UV in una camera climatica.

Durante questo periodo sono iniziate le attività previste nel WP2 con l'avvio dello sviluppo di celle organiche per applicazione in agrivoltaico e l'individuazione di una soluzione ottimale per la realizzazione di un prototipo di impianto agrivoltaico.

In relazione al WP3, sono state completate le attività della LA3.5 che riguardano lo sviluppo di un catasto fotovoltaico urbano. È stato sviluppato un modello 3D della città pilota (Portici) ad un elevato livello di dettaglio, che include sia gli edifici che la vegetazione, e una mappa 3D dell'area tetto idonea e una mappa del potenziale di energia solare ad alta risoluzione spaziali.

Sono proseguite le attività relative alla gestione del progetto, alla comunicazione e diffusione delle attività (WP4), utilizzando i convegni e le conferenze che si sono svolte nel periodo (8th WPPEC, Zeroemission, Key Energy, etc) e partecipando alle azioni del Photovoltaic Power Systems Technology Collaboration Programme della IEA.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	Nel secondo semestre nell'ambito delle attività previste del WP1 sono continuate le sperimentazioni che riguardano lo sviluppo di celle solari in perovskite (LA1.12), di celle a eterogiunzione di silicio (LA1.20), di celle tandem perovskite/Si (LA1.27) e lo sviluppo di polimeri da utilizzare come possibili incapsulanti (LA1.30). Per quanto riguarda lo sviluppo di celle in perovskite sono stati realizzati film di ossido di stagno, ottenuto da soluzioni di quantum dots (QDs) da utilizzare come trasportatore di elettroni in celle con due differenti additivi per accelerare la sintesi, la tiourea (CN ₂ H ₄ S) e uno zwitterione noto come 3-(1-pyridinio)-1-propanesulfonate (PPS). Sono state realizzate celle in perovskite con gli ETL sviluppati: il dato più evidente è l'aumento del parametro di tensione a circuito aperto di circa 0.1V nei dispositivi con film di QDs rispetto al riferimento con SnO ₂ da soluzione commerciale, che si traduce in un incremento dell'efficienza di conversione di circa 2 punti. Inoltre, l'uso di PPS come additivo riduce notevolmente l'indice di isteresi ad un valore medio del 1.6%, più basso rispetto al riferimento con SnO ₂ di tipo commerciale (2.9%). In relazione alle attività che riguardano l'utilizzo di possibili solventi eco-compatibili da utilizzare nella fabbricazione del materiale assorbitore, si è sperimentato l'anisolo in sostituzione del clorobenzene come antisolvente nel processo di cristallizzazione della perovskite. Dopo avere studiato le proprietà della perovskite realizzata con i due diversi solventi e ottenuta anche con diverse quantità di Cs, sono stati

realizzati i dispositivi fotovoltaici che sono state caratterizzati e le cui prestazioni saranno valutate nel tempo per valutarne la stabilità. È stata poi condotta una sperimentazione su film di perovskite evaporata. Si è lavorato alla messa a punto dei film di perovskite del tipo MAPI co-evaporata e con approccio ibrido (evaporazione del solo precursore inorganico e applicazione della soluzione di MAI per spin-coating o con inkjet printing). Sono stati realizzati e caratterizzati i film di perovskite con i diversi approcci e sono stati realizzati i primi batch di celle per valutare le potenzialità dei diversi approcci.

Per quanto riguarda le celle solari ad eterogiunzione di silicio, sono state realizzati diversi batch di fabbricazione delle celle da 2 x 2 cm² su wafer di Si drogato di tipo n; parte delle celle sono state completate per essere illuminate dallo strato n (emettitore sul back – EB) e parte dallo strato p (emettitore sul front EF), in modo da valutare le prestazioni delle due diverse architetture. La sperimentazione ha evidenziato una buona omogeneità delle prestazioni delle celle realizzate sul wafer e la possibilità di ottenere migliori risultati quando la cella sia illuminata dallo strato n. È iniziato, inoltre, uno studio che ha lo scopo di analizzare il rapporto tra tensioni di circuito aperto e dimensioni e geometrie di piccole celle solari utili agli studi in corso nel progetto ma anche nell’ottica di realizzare moduli FV con celle ritagliate (half-cut cells). Sono state tagliate celle nel range 0.14-243 cm² ed è stato misurato nel tempo l’andamento delle Voc. È in fase di sviluppo un modello a 3 diodi per studiare gli andamenti osservati.

In relazione allo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio sono state realizzate celle tandem perovskite/silicio di tipo monolitico proseguendo l’approccio descritto in precedenza. Sono state così ottenute celle tandem monolitiche su wafer di tipo p e con cella in perovskite ad architettura cosiddetta invertita (p-i-n) che hanno mostrato un’efficienza massima superiore al 23%. Si è, inoltre, lavorato all’ulteriore ottimizzazione della cella semi-trasparente in perovskite per migliorare le efficienze delle celle tandem ottenute connettendo meccanicamente la cella n perovskite alla cella ad eterogiunzione di Si, ottenendo valori di efficienza intorno al 28%. In relazione allo sviluppo di film polimerici da utilizzare come incapsulanti per moduli FV, continuano gli studi e la caratterizzazione dei film polimerici individuati quando sottoposti ad invecchiamento accelerato UV in una camera climatica.

Durante questo periodo sono iniziate le attività previste nel WP2 con l’avvio dello sviluppo di celle organiche per applicazione in agrivoltaico e l’individuazione di una soluzione ottimale per la realizzazione di un prototipo di impianto agrivoltaico.

Sono state completate le attività della LA3.5 inserita nel WP3 che riguardano lo sviluppo di un catasto fotovoltaico urbano. È stato sviluppato un modello 3D della città pilota (Portici) ad un elevato livello di dettaglio, che include sia gli edifici che la vegetazione, e una mappa 3D dell’area tetto idonea e una mappa del potenziale di energia solare ad alta risoluzione spaziale.

Per quanto riguarda le azioni di coordinamento del progetto (WP4), sono state condotte riunioni periodiche con RSE e CNR. Un importante momento di comunicazione e disseminazione del progetto è stata la partecipazione alla 8th WCPEC che si è tenuta a Milano e dove ENEA,

	<p>CNR ed RSE hanno allestito uno spazio espositivo nel quale sono state svolte diverse interlocuzioni con esperti, cittadini, e mezzi stampa. Infine, vengono portate avanti, come già avvenuto nel passato, le attività del Photovoltaic Power Systems Technology Collaboration Programme della IEA nei vari task in cui l'ENEA è coinvolta.</p>
<p>Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Ingegneria Elettronica</p>	<p>L'attività è focalizzata sullo sviluppo di celle in perovskite che possano poi essere utilizzate nelle celle tandem perovskite/Si e utili allo sviluppo di prototipi di moduli fotovoltaici. In questo periodo è continuata la sperimentazione sull'utilizzo di additivi (BMIM-BF₄, OAm e BHC) nella preparazione della perovskite. In particolare a valle di promettenti risultati in termini di efficienza ottenuti nel primo semestre, si è investigato la stabilità dei dispositivi sotto illuminazione continua e stress termico, utilizzando i protocolli standard ISOS L-1 e ISOS T-1. Nelle celle è stata utilizzata una perovskite priva di metilammonio, ottenuta quindi con i cationi Cs e FA (CsFA). Si è osservato un miglioramento notevole della stabilità termica delle celle quando alla perovskite CsFA vengono aggiunti gli additivi: il T80 aumenta da 1290 ore (CsFA senza additivi) a 5532 ore nel caso di CsFA+Add (~ +428%). Il miglior dispositivo ha raggiunto un impressionante T90 e T80 di 3540 e >8658 ore, rispettivamente, corrispondenti a ~1 anno. Questi risultati dimostrano il potenziale dell'uso di questi additivi in qualsiasi precursore a perovskite per stabilizzare ulteriormente la loro durata sotto illuminazione continua e stress termico.</p> <p>Per quanto riguarda le celle in perovskite da utilizzate nelle tandem sono state sviluppate celle con gap di circa 1.65 eV e si è lavorato per ridurre il danneggiamento da sputtering utilizzando dei buffer layer a base di ossido di molibdeno o ossido di vanadio. È stato valutato che spessori dell'ordine di qualche nanometro sono sufficienti a proteggere gli strati della cella durante la deposizione del contatto frontale. Studi sono stati programmati per ottimizzare gli spessori necessari e valutare la stabilità delle prestazioni</p>