

**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. 1 – Periodo attività: 01/01/2022 – 30/06/2022

**ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:**

Il progetto si compone di 4 work 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 relazione al WP1 sono stati avviati studi su materiali e processi per celle in perovskite. In particolare è iniziata l'analisi di possibili solventi eco-compatibili da utilizzare nella fabbricazione del materiale assorbitore, è iniziata la sperimentazione di uno strato trasportatore di elettroni a base di ossido di stagno, ottenuto da soluzioni di quantum dots, è stata studiata una possibile strategia per migliorar la stabilità dei dispositivi utilizzando additivi durante la preparazione della perovskite ed è stato introdotto un interlayer sopra il Self Assembled Monolayer – SAM del tipo MeO-2PACz, utilizzato come trasportatore di lacune nei dispositivi. La combinazione di interlayer e SAM, migliora significativamente il trasferimento di carica all'interfaccia, risultando in un elevato fill factor e un aumento dell'efficienza delle celle dal 18,0% al 20,5%. Inoltre è stata avviata una sperimentazione su film di perovskite a singolo catione (MAPI) evaporata, lavorando in questa prima fase sulla coevaporazione delle componenti organica (MAI) e inorganica (PbI<sub>2</sub>), adattando opportunamente le velocità di sublimazione dei materiali individuali di partenza.

Sempre nell'ambito del WP1 si è lavorato allo sviluppo di celle solari a eterogiunzione di silicio (SHJ), implementando sul nuovo sistema di deposizione PECVD installato nello scorso triennio i processi per la deposizione di film sottili di silicio di tipo intrinseco o drogato potenzialmente idonei a realizzare celle con Voc fino a 730 mV. Lo studio di celle in silicio prevede di sviluppare celle a singola giunzione ad alta efficienza anche per un loro utilizzo come cella bottom di celle tandem perovskite/silicio. Per tale applicazione sono state realizzate delle celle SHJ su wafer di Si di tipo p monolappato, caratterizzato cioè da una superficie flat e da una con una microrugosità, in modo da consentire un migliore utilizzo della radiazione IR da parte del dispositivo, come la sperimentazione ha confermato. Sono state, quindi, realizzate celle tandem perovskite/silicio monolitiche che hanno evidenziato valori di efficienza superiori al 20%, quindi migliori di quelle ottenute nello scorso triennio.

Nel WP1 sono anche previsti studi di film polimerici da utilizzare come incapsulanti per moduli FV, valutando come si modificano le loro caratteristiche quando sottoposti ad invecchiamento accelerato UV in una camera climatica. Per questa attività sono stati considerati tre diversi tipi di materiali polimerici: etilene-vinilacetato (EVA), poliolefine termoplastiche (TPO) ed elastomeri poliolefinici (POE).

In relazione alle attività del WP3, è iniziato lo sviluppo di un catasto fotovoltaico urbano. In questa fase è stato definito il metodo di lavoro che consisterà di due fasi: (1) determinare l'area tetto e altre superfici urbane disponibili all'interno della città, (2) stimare il potenziale di energia solare per ogni tetto di edificio o altra area urbana idonea.

Per quanto riguarda le azioni di coordinamento del progetto (WP4), sono state condotte riunioni periodiche con RSE e CNR, sono state effettuate, inoltre, diverse interlocuzioni con i co-beneficiari che saranno coinvolti a partire dal secondo anno del progetto. Sono state, inoltre, individuate alcune conferenze dove presentare le attività, come ad esempio la conferenza Agrivoltaic e la 8th WCPEC e si stanno organizzando una serie di seminari sul tema dell'agrivoltaico. ENEA ha partecipato al gruppo di lavoro coordinato dal Ministero della Transizione Energetica – Dipartimento di Energia, insieme a CREA, RSE e GSE che ha elaborato nel giugno 2022 il documento “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici”.

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.

### ATTIVITA' SVOLTE

<b><i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i></b>	<b><i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i></b>
<b>ENEA</b>	<p>Nel primo semestre nell'ambito delle attività previste del WP1 sono state avviate 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 è proseguito lo studio di celle in perovskite del tipo tri-catione, sperimentando un film di ossido di stagno, ottenuto da soluzioni di quantum dots (QDs) da utilizzare come trasportatore di elettroni in celle. È iniziata l'analisi di possibili solventi eco-compatibili da utilizzare nella fabbricazione del materiale assorbitore. In questa prima fase si è cercato di ridurre la quantità di N,N-dimetilformammide (DMF) diluendo con limonene o THF, ma i dispositivi fabbricati hanno mostrato stabilità fortemente ridotta. È stata poi condotta una sperimentazione su film di perovskite evaporata, utilizzando l'impianto Kenosistec installato alla fine dello scorso triennio. Ci si è focalizzati sulla perovskite a singolo catione (MAPI) con l'idea di studiare tre possibili approcci: coevaporazione delle componenti organica (MAI) e inorganica (PbI<sub>2</sub>), fabbricazione sequenziale ibrida, con evaporazione del solo precursore inorganico e applicazione della soluzione di MAI per spin-coating, e ulteriore via ibrida in 2 step con impiego di inkjet printing nel secondo step. In questa prima fase si è lavorato sulla co-deposizione adattando opportunamente i rate di sublimazione dei materiali individuali di partenza, agendo sulle temperature delle sorgenti, sulle quantità di precursore e monitorando la pressione in camera, per variare la stechiometria del materiale in crescita. Per quanto riguarda le celle solari ad eterogiunzione di silicio in questa prima fase è stata portata a termine la fase di ramp-up del nuovo sistema di deposizione PECVD installato nella fase finale dello scorso triennio. È</p>

	<p>stata validata la struttura di cella semifinita realizzata depositando gli stack a film sottile di silicio i/p ed i/n sulle due superfici del wafer di c-Si per determinare la qualità della passivazione su tale struttura. Sono stati effettuati diversi run di deposizione per valutare la robustezza delle ricette messe a punto per i vari strati intrinseci e drogati, testando così la ripetibilità dei processi sul nuovo sistema di deposizione.</p> <p>In relazione allo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio sono state realizzate delle celle SHJ su wafer di Si di tipo p monolappato, caratterizzato cioè da una superficie flat e da una con una microrugosità, da utilizzare come cella bottom di una cella tandem monolitica. L'utilizzo di wafer monolappati ha dato evidenza di una maggiore corrente del dispositivo rispetto a quella misurata su wafer bilappati grazie ad una migliore risposta nella regione IR, che risulta determinante quando la cella sia inserita nel dispositivo tandem. Sono state, quindi, realizzate alcune celle tandem monolitiche che hanno già evidenziato valori di efficienza superiori al 20%, quindi migliori di quelle ottenute nello scorso triennio.</p> <p>In relazione allo sviluppo di film polimerici da utilizzare come incapsulanti per moduli FV, sono stati considerati tre diversi tipi di materiali polimerici: etilene-vinilacetato (EVA), poliolefine termoplastiche (TPO) ed elastomeri poliolefinici (POE) ed è iniziato lo studio sottoponendo campioni differenti ad invecchiamento accelerato UV in una camera climatica.</p> <p>Sono iniziate le attività della LA3.5 inserita nel WP3 che riguardano lo sviluppo di un catasto fotovoltaico urbano. In questa fase è stato definito il metodo di lavoro che consisterà di due fasi: (1) determinare l'area tetto e altre superfici urbane disponibili all'interno della città, (2) stimare il potenziale di energia solare per ogni tetto di edificio o altra area urbana idonea.</p> <p>Per quanto riguarda le azioni di coordinamento del progetto (WP4), sono state condotte riunioni periodiche con RSE e CNR, sono state effettuate, inoltre, diverse interlocuzioni con i co-beneficiari che saranno coinvolti a partire dal secondo anno del progetto in modo da assicurare un loro proficuo inserimento nelle attività, individuando anche le persone che saranno i referenti scientifici degli Accordi di Collaborazione che saranno siglati appena possibile.</p> <p>Sono state, inoltre, individuate alcune conferenze dove presentare le attività, come ad esempio la conferenza Agrivoltaic e la 8th WCPEC e si stanno organizzando una serie di seminari sul tema dell'agrivoltaico. In quest'ultimo contesto ENEA ha partecipato al gruppo di lavoro coordinato dal Ministero della Transizione Energetica – Dipartimento di Energia, insieme a CREA, RSE e GSE che ha elaborato nel giugno 2022 il documento “Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici”.</p> <p>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><b>Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Ingegneria Elettronica</b></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 questa prima fase l'attività ha riguardato lo studio di una possibile strategia per ottenere dispositivi robusti nel tempo che prevede l'utilizzo di additivi durante la preparazione della perovskite dei dispositivi. Sono stati realizzati dispositivi con film di</p>

perovskite a triplo catione (MAI FAI, Cs) caratterizzati da differente gap. La combinazione di diversi additivi, BMIM-BF<sub>4</sub>, OAm e BHC, ha consentito di ottenere migliori prestazioni rispetto a quelle misurate sui dispositivi con perovskite senza additivi sia con una perovskite a gap più stretta (1.58 eV) che con una perovskite a più alta gap (1.63 eV); ad esempio per la perovskite ad alta gap, partendo da un'efficienza di 14,9% per la perovskite priva di additivi si è misurato un valore di 20,30% per la perovskite con additivi.

Una ulteriore attività ha riguardato l'introduzione di un nuovo interlayer a base di 2-decil[1]benzotieno [3,2-b][1]benzotiofene (C10-BTBT) sopra il Self Assembled Monolayer - SAM (acido fosfonico 2-(3,6-dimetossi-9H-carbazol-9-il) etilico), noto come MeO-2PACz. Questa innovativa combinazione di interlayer e SAM, migliora significativamente il trasferimento di carica all'interfaccia, risultando in un elevato fill factor dell'85,89% e un aumento dell'efficienza delle celle dal 18,0% al 20,5%.

Si è lavorato insieme all'ENEA allo sviluppo di celle tandem del tipo monolitico con wafer di Si di tipo p, mettendo a disposizione un dispositivo in perovskite semi-trasparente con architettura di tipo p-i-n.