

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 1

Tema – 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza

Durata: 36 mesi

Semestre n. 2 – Periodo attività: 01/07/2021 – 31/12/2021

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

Il progetto ha la finalità di sviluppare celle solari ad alta efficienza, materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche (FV), architetture di dispositivo e sistemi FV da utilizzare per l'integrazione in edilizia o in altri contesti particolari. Le attività sono organizzate in due Work Package, il WP1 –Studio e sviluppo di materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche e WP2 – Fotovoltaico Piano.

Per quanto riguarda il WP1, sono state svolte attività di sviluppo di celle solari innovative a base di perovskite e lo studio sul possibile utilizzo di grafene in celle innovative.

Le attività di ricerca sullo sviluppo di celle in perovskite riguardano tutti gli strati da cui è costituita la cella: strato assorbente in perovskite, strato trasportatore selettivo per le lacune (HTM) e per gli elettroni (ETM) ed elettrodi. Inoltre, sono messe a confronto le due differenti architetture di dispositivo, n-i-p e p-i-n, con l'obiettivo di migliorare le efficienze e la stabilità degli stessi dispositivi.

Sono stati studiati gli effetti dello stoccaggio ad umidità moderata e in basso vuoto di dispositivi in perovskite del tipo vetro/ITO/SnO₂/perovskite-triplo catione /Spiro-OMeTAD/Au fabbricati completamente all'interno di una dry Glove box (GB) in atmosfera di N₂ o realizzati estraendoli dalla GB prima della deposizione dell'oro. Lo stoccaggio in aria umida per 72 h dei dispositivi determina un miglioramento delle loro prestazioni grazie ad un effetto di drogaggio dell'HTM e ad una sorta di passivazione delle interfacce. È stato riscontrato un rilevante aumento dell'efficienza di conversione che, per i dispositivi realizzati completamente in GB, è passata dal 13,2% al 20,8% dopo 72 h in aria umida (RH=30%).

E', poi, continuata la sperimentazione sull'utilizzo della tecnica inkjet per la deposizione di ETL. Sono stati depositati strati di SnO₂ su substrato flessibile ITO/PET. Sono state investigate quattro differenti condizioni di stampa e curing termico dei film di SnO₂ che sono stati, poi, testati come ETL in celle solari, ottenendo correnti di corto-circuito simili alle celle di riferimento con SnO₂ spinnato su ITO/vetro. I bassi valori di FF indicano, tuttavia, la necessità di ottimizzare ulteriormente il processo per migliorare la qualità elettronica del film stampato per inkjet. Tra le diverse condizioni di preparazione dell'SnO₂ stampato è stata identificata quella che ha registrato la miglior resa di processo in termini di prestazioni dei dispositivi.

Per quel che concerne lo sviluppo di trasportatori di lacune, è stato preparato un ulteriore termine della serie di polimeri sintetizzati nelle attività svolte nella prima annualità del progetto, per completare la serie e consentirne un migliore confronto con i polimeri resi disponibili in precedenza. Sono stati, anche, preparati polimeri a base triarilamminica alternando gruppi donatori ed accettori, cercando di modularne le proprietà rispetto ai polimeri già ottenuti. I polimeri sintetizzati sono disponibili per test sperimentali al fine di valutarne le potenzialità quando utilizzati come HTM in celle solari in perovskite.

Con l'obiettivo di ridurre i solventi e la materia prima utilizzata per la preparazione dei film di perovskite, è stata sviluppata una strategia di diluizione con co-solvente dei precursori della perovskite che consente di ottenere film con proprietà simili a quelle ottenibili con precursori convenzionali ad alta concentrazione. È stato dimostrato che è possibile ottenere celle in perovskite di tipo mesoporoso a struttura n-i-p con efficienze (PCE) pari a circa il 24% con una diluizione del co-solvente fino a 0,5M, circa 1/3 della concentrazione usuale. Questa strategia, rispetto agli inchiostri convenzionali, riduce di oltre il 70% i rifiuti tossici e consente di abbattere i costi di fabbricazione. L'attività ha compreso anche studi preliminari sullo sviluppo di perovskiti inorganiche e un nuovo trasportatore di lacune che non necessita di drogaggio.

Con l'obiettivo di migliorare la stabilità dei dispositivi, valutando la possibilità di sostituire il Pb con lo Sn, sono state determinate le molecole con la maggiore capacità di passivazione e stabilizzazione del materiale. Infine, grazie agli accorgimenti sviluppati nelle precedenti fasi delle attività di ricerca è stata prodotta una popolazione di dispositivi con buone prestazioni, considerando solo dispositivi privi di piombo (PCE 8.2%), al

fine di dimostrare l'efficacia di tali procedure e la loro riproducibilità statistica. Di tali dispositivi è stata inoltre indagata la stabilità temporale alla degradazione in condizioni di utilizzo standard mostrando come essi riescano a mantenere il 100% dell'efficienza dopo più di 100 ore di test.

E' stato, inoltre, installato un evaporatore termico a multisorgente per la deposizione di film di perovskite. La successiva breve fase esplorativa ha consentito di effettuare delle prime valutazioni sulle condizioni di evaporazione e sull'uniformità di deposizione su larga area. Sono stati fabbricati vari campioni di PbI_2 e i film ottenuti a temperature $> 350^\circ\text{C}$ sono candidati a prove di conversione in ioduro di piombo metilammonio.

Le attività teoriche svolte a supporto delle sperimentazioni sullo sviluppo di celle in perovskite hanno riguardato lo studio della dinamica del trasferimento di carica per Spiro-MeOTAD -MAPI. Il sistema è stato partizionato in donatore-accettore utilizzando uno schema proposto in letteratura; calcolando la funzione spettrale a partire dagli accoppiamenti è stato stimato il tempo di iniezione dell'elettrone, che risulta essere dell'ordine del fs.

L'attività di ricerca svolta sullo sviluppo di film di grafene per applicazioni in celle solari ha riguardato la preparazione di multistrati di grafene depositati mediante CVD su substrati idonei per celle solari flessibili. In questo contesto è stata ottimizzata una procedura di trasferimento di grafene su substrati plastici flessibili (PC, PET, FEP) su larga area $1'' \times 1''$ con metodologia "layer-by-layer". La procedura di ossidazione plasmochimica applicata a substrati di grafene multistrato su PET ha permesso di ottenere substrati trasparenti e conduttori (sheet resistance di 35 Ohm/square e 85% di trasparenza a 550nm) con alta bagnabilità e quindi idonei per celle innovative anche organiche. La validazione delle potenzialità dei film di grafene e dei processi messi a punto è stata effettuata con la realizzazione di celle fotovoltaiche organiche.

Per quanto riguarda il WP2, sono continuate le attività sullo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio e kesterite/silicio, che prevedono anche una sperimentazione su differenti materiali e architetture per la cella a eterogiunzione di silicio (Silicon Hetero Junction - SHJ), e le sperimentazioni sulla realizzazione di prototipi di moduli a film sottile di perovskite. Sono, poi, condotte attività sullo sviluppo di possibili innovazioni nei processi industriali di realizzazione dei moduli FV e una ricerca che ha lo scopo di definire soluzioni FV per involucri semi-trasparenti da utilizzare in edifici (BIPV) o nel settore agrivoltaico.

Per quanto riguarda la cella solare in silicio, sono state realizzate celle solari SHJ "dopant free", realizzate cioè con trasportatori di carica differenti dai film di Si drogati. Le celle, realizzate con LiF/Al e MoO_x come trasportatori rispettivamente di elettroni e lacune, hanno mostrato prestazioni molto promettenti soprattutto in termini ottici. Sono stati, inoltre, inseriti nella parte frontale della cella SHJ due materiali altamente trasparenti, l'a-SiO_x:H (passivante) e il (p) a-SiC:H (trasportatore di lacune), che hanno consentito di ottenere correnti di poco inferiori a 40 mA/cm^2 con efficienze di dispositivo che possono superare il 22% una volta ottimizzati i processi di metallizzazione.

Inoltre, è stato installato un nuovo sistema per la deposizione PECVD di film sottili di Si che consente di depositare su wafer di c-Si di dimensioni pari a quelle utilizzate dall'industria ed è progettato per la realizzazione di dispositivi SHJ. Con tale sistema sono stati realizzati degli strati passivanti su wafer di c-Si flat e dei precursori di celle di eccellente qualità (implied $\text{Voc} > 730 \text{ mV}$).

Nell'ambito dello studio di tecniche di indagine che possano essere proficuamente utilizzate per identificati i comportamenti dei dispositivi, a valle della messa a punto di una procedura per l'elaborazione degli spettri d'impedenza, è stato possibile identificare la tipologia di contatto frontale più adeguata ad una cella Schottky grafene-silicio (G/Si). In particolare, la nuova tecnologia studiata per i contatti frontali, realizzati mediante colla grafica colloidale, si è dimostrata più consona alle celle G/Si rispetto ai contatti tradizionali realizzati in oro. I modelli analitici sviluppati hanno consentito di estrarre la barriera di potenziale tra il grafene ed il silicio e di determinare la funzione lavoro del grafene. Mediante misure C-V effettuate a diverse frequenze e il modello numerico sviluppato per l'analisi della capacità in polarizzazione diretta, è stata investigata la qualità della giunzione G/Si estraendo la concentrazione degli stati di difetto all'interfaccia e la loro distribuzione spaziale e consentendo, quindi, la validazione quantitativa del processo di doping molecolare del grafene quale procedimento di passivazione dell'interfaccia G/Si. L'analisi degli spettri d'impedenza ha consentito anche lo studio di ETL diversi nelle celle in perovskite. Mediante il monitoraggio della degradazione nel tempo degli spettri d'impedenza, è stato valutato l'effetto benefico dell'inserimento di "nanoplatelets" di grafene nell'ossido di stagno.

La sperimentazione sullo sviluppo di celle tandem perovskite/silicio prevede due possibili schemi di connessione tra le celle componenti: l'accoppiamento meccanico tra il dispositivo in silicio e la cella in perovskite, realizzata su substrato di vetro e terminata con un contatto semitrasparente, e la crescita diretta della componente frontale in perovskite su quella in silicio (cella tandem in configurazione monolitica). In questo periodo si è lavorato allo sviluppo della cella tandem accoppiata meccanicamente. È stata sviluppata una perovskite a doppio catione, con una band gap di circa 1.68 eV, ottimale per l'utilizzo in accoppiamento col silicio. Sono state studiate strategie per passivare i difetti superficiali, migliorando così le interfacce, ed è stato testato uno strato buffer di ossido di vanadio per aumentare la resistenza all'umidità della cella top e ridurre il danneggiamento durante lo sputtering del TCO. Infine, per migliorare il FF, è stato studiato l'effetto di diversi droganti per lo strato PTAA, HTM della cella in perovskite, ed è stato modificato il layout della stessa cella per ridurre le perdite resistive. Questi studi, uniti allo sviluppo di un nuovo sistema di accoppiamento meccanico fra le due celle, hanno consentito il raggiungimento di un FF pari a 77.6% e di un'efficienza della cella tandem superiore al 27%, raggiungendo, così, pienamente il target previsto per la fine del progetto.

Relativamente allo sviluppo di celle tandem kesterite/Si, dove la kesterite è del tipo $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), è continuato il lavoro volto al miglioramento della top-cell in CZTS, fabbricata su wafer di c-Si sia flat che testurizzato. In particolare, film di CZTS ottenuti da precursori S-poor ([S] circa 35%) sono stati inseriti in celle a singola giunzione su c-Si testurizzato, evidenziando l'assenza di problemi di adesione grazie alla morfologia del wafer, ma portando ad efficienze intorno al 2%. Il processo da precursori S-poor è stato, comunque, utilizzato per produrre alcune tandem CZTS/Si su wafer testurizzati la cui efficienza massima ha raggiunto il 4.5%.

Lo studio di film di TiO_2 e $\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{O}$ ottenuti mediante Atomic Layer Deposition (ALD) da utilizzare come strati buffer per celle in CZTS in alternativa al CdS è continuato testando i layer nei dispositivi. In particolare, grazie all'ottimizzazione delle procedure di deposizione ALD, è stato possibile ottenere la prima cella funzionante a base di kesterite accoppiata con TiO_2 , confermando sperimentalmente per la prima volta i lavori teorici e di simulazione riportati in letteratura e dimostrando che il biossido di titanio è un candidato idoneo all'accoppiamento con film sottili di kesterite. Tuttavia, i valori non ottimali di resistenze di shunt e di serie, responsabili degli scarsi valori di fill factor dei dispositivi, indicano che c'è ampio margine di miglioramento. Allo stesso modo è stato possibile ottenere le celle solari funzionanti a base di kesterite accoppiata con $\text{Zn}_x\text{Sn}_{1-x}\text{O}$. In particolare, è stata individuata la composizione Zn/Sn 2:1 come quella ideale per ottenere parametri di cella equiparabili alle celle di riferimento con giunzione CZTS/CdS.

Le attività sui moduli PV riguardano, come accennato in precedenza, lo sviluppo di prototipi in perovskite e lo studio di possibili innovazioni che riguardino in maniera più generale la realizzazione di moduli FV.

Per quanto riguarda lo sviluppo di moduli a film sottile di perovskite su area $15 \times 15 \text{ cm}^2$ l'attività in questo periodo si è concentrata sulla struttura n-i-p. Il lavoro è stato condotto utilizzando come ETL l'ossido di stagno, depositato tramite tecnica slot die, come strato attivo la perovskite triplo catione (cesio, metilammonio e formamidinio) depositata mediante tecnica blade/slot die e lo SpiroMeOTAD depositato per blade coating come HTL. Il contro-elettrodo è stato realizzato con l'oro per i moduli opachi e con l'ITO per quelli semitrasparenti. L'efficienza massima ottenuta per i moduli opachi di dimensioni $15 \times 15 \text{ cm}^2$ è pari a 15.9%, con una stabilità ambientale, valutata mediante T80, di 560 ore. Per i moduli semitrasparenti, al fine di ridurre il danno sugli strati sottostanti durante lo sputtering dell'ITO, si è agito sulla potenza di sputtering e sono stati utilizzati degli strati buffer sottili di oro o di ossido di molibdeno tra ITO e HTM. Inserendo 7 nm di Au tra HTM e ITO è stato ottenuto un modulo con efficienza massima del 10.9% su dimensioni $15 \times 15 \text{ cm}^2$, mostrando una migliorata stabilità ambientale rispetto ai moduli opachi, raggiungendo 1000 ore senza perdere più del 9% dell'efficienza iniziale.

Sono continuate, poi, le attività che hanno l'obiettivo di realizzare vetri testurizzati utili per sviluppare moduli FV in cui le celle in silicio siano realizzate con wafer di c-Si flat. Sono stati effettuati dei test di realizzazione di mini-moduli con celle SHJ di dimensioni di circa $7 \times 7 \text{ cm}^2$ fornite da ENEA. Sono stati testurizzati dei vetri mediante l'attrezzatura sviluppata nel periodo precedente ed è stato preparato un materiale incapsulato mescolando nanoparticelle di titania da 25 nanometri con silicone, allo scopo di incrementare l'indice di rifrazione complessivo del silicone, così da rendere efficace dal punto di vista ottico il texturing del vetro. I moduli realizzati non hanno mostrato il comportamento ottico che ci si aspettava, evidenziando una riflettanza maggiore rispetto a quella di un modulo standard. Ciò è probabilmente determinato dalla

presenza di fenomeni di scattering, dovuti all'utilizzo di nanoparticelle, non contemplati dai tool simulativi utilizzati per la valutazione dei parametri ottici dell'incapsulante. Ritenendo promettente l'approccio considerato, e cioè spostare il processo di texturing dal wafer di silicio al vetro, è necessario studiare altre tipologie di incapsulanti ad elevato indice di rifrazione e con elevata trasmittanza.

Le attività svolte con l'obiettivo di sviluppare strutture semitrasparenti da utilizzare per una sperimentazione sul sistema fotovoltaico-pianta sono portate avanti su scale differenti. Su scala di laboratorio, è stato approfondito lo studio che mira all'uso complementare integrato della luce solare per fotovoltaico e fotosintesi, grazie a celle semitrasparenti in silicio amorfo con riflettore posteriore spettralmente selettivo a multistrato metallo/ossido/metallo/ossido. In particolare, si è studiata la performance angolare delle strutture, da cui è risultata una buona resilienza per angoli di incidenza della luce fino a circa 40° rispetto alla normale alla superficie dei film. Infine, sono state fatte delle prime valutazioni di performance fotovoltaica, stimando una densità di potenza massima di 54 W/m², ben più alta di recenti stime pubblicate per implementazioni in germanio amorfo. È stata, poi, realizzata una serra prototipale di larga scala (circa 240m² di cui circa la metà con copertura fotovoltaica). La struttura realizzata consiste in un ambiente ad alta tecnologia con parziale copertura fotovoltaica composta di moduli FV semitrasparenti innovativi che ottimizzano il sistema produttivo combinato energia-pianta permettendo, allo stesso tempo, di introdurre elementi grafici di valore estetico/artistico sulle superfici trasparenti. La presenza di immagini con particolare pattern a diverso grado di trasparenza, in primo luogo ottiene l'effetto di trasmettere luce diffusa eliminando la tassellatura tra zone d'ombra e di luce diretta nell'ambiente sottostante. Allo stesso tempo, la visualizzazione nelle zone trasparenti del pattern grafico (rappresentante rami di alberi con foglie rade) sviluppa un effetto gradevole di rappresentazione di un'immagine naturale. L'implementazione nella serra della strumentazione di raccolta e gestione di dati ambientali in tempo reale con tecnologia IoT e la sua integrazione con i modelli di simulazione di fotosintesi, ha dimostrato la possibilità di sviluppo di sistemi di ottimizzazione e controllo di potenziale grande interesse applicativo, in particolare nel settore delle colture in ambiente controllato, sistemi idroponici e fotobioreattori per crescita algali.

Nell'ambito della tematica svolta con l'obiettivo di definire un quadro aggiornato sulle conoscenze relative all'innovazione tecnologica dei sistemi BIPV, è stato redatto il documento *Building Integrated Photovoltaics. Linee Guida per il progetto*. Le Linee Guida si configurano come uno strumento operativo di affiancamento ai progettisti per sostenere l'elaborazione di progetti orientati alla transizione energetica secondo indirizzi strutturati, in cui l'informazione tecnica e la conoscenza scientifica rappresentano rilevanti implicazioni sul progetto e costituiscono la base per il controllo e la diffusione nell'utilizzo di prodotti e sistemi BIPV. Il documento è strutturato in modo da: 1) inquadrare l'impiego del fotovoltaico integrato in architettura nell'ambito dei processi di transizione energetica definiti dal quadro della politica tecnica e del panorama normativo; 2) fornire indicazioni per la fase di conoscenza, nella quale convergono attività di analisi delle condizioni di contesto, tipo-morfologiche e tecnologiche degli edifici; 3) fornire indirizzi per la costruzione di un quadro decisionale in merito a scelte di tipo strategico, architettoniche e tecniche per la definizione di un progetto che integri prodotti e sistemi BIPV nella sua fase di concezione. Le Linee Guida sono state elaborate anche nel formato *Booklet digitale* per una consultazione semplice e una navigazione interattiva all'interno del database informativo.

L'attività di diffusione dei risultati di progetto è continuata, partecipando agli eventi programmati per questo periodo e continuando nella stesura di lavori da pubblicare in riviste e di report tecnici con i risultati delle ricerche in via di completamento.

ATTIVITA' SVOLTE	
AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO	SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO
ENEA	Le attività svolte da ENEA riguardano lo sviluppo di celle solari con assorbitori a base di perovskite, di celle tandem perovskite/silicio e kesterite/silicio e lo studio di materiali e architetture di dispositivo per la cella bottom a eterogiunzione di silicio. Tali attività possono promuovere in maniera significativa lo sviluppo di dispositivi ad alta efficienza con possibili ripercussioni positive sul settore produttivo nazionale. ENEA è impegnata in una ricerca sullo sviluppo di materiali per il trasporto selettivo delle cariche, di TCO per celle solari in perovskite e a eterogiunzione di silicio e dei processi di metallizzazione per i dispositivi. Per quanto riguarda lo sviluppo di celle tandem perovskite/Si si è lavorato al miglioramento del dispositivo accoppiato meccanicamente, mentre sono stati realizzati vari prototipi di cella tandem monolitica kesterite/silicio a valle di uno studio sulla fabbricazione della cella a singola giunzione in CZTS su wafer di c-Si. Enea è anche impegnata sulla progettazione, su differenti scale, di strutture semitrasparenti da utilizzare per una sperimentazione sul sistema fotovoltaico-pianta. Sono state realizzate su piccola scala (10 x 10 cm²) delle architetture di celle solari in grado di far passare la luce utile alla crescita delle piante, effettuando anche delle prime valutazioni di prestazioni fotovoltaiche per tali strutture. E' stato poi elaborato il progetto di moduli semitrasparenti con motivo decorativo, interagendo con la ditta fornitrice e seguendo tutta l'attività fino alla fase di installazione dei moduli a copertura di una serra FV. Questi studi possono avere ricadute sia in ambito BIPV che nell'agriPV. ENEA è inoltre responsabile delle attività di diffusione dei risultati della ricerca.
Università di Roma Tor Vergata – Dipartimento di Ingegneria Elettronica	L'Università di Tor Vergata è impegnata sullo sviluppo di celle e moduli a base di perovskite con possibili ricadute nel settore produttivo nazionale che potrà giovare di una tecnologia emergente, utilizzabile sia per applicazioni utility-scale che nel BIPV. In particolare Tor Vergata sta studiando film di perovskite, trasportatori di carica e strategie per migliorare le interfacce tra i vari strati del dispositivo, in modo da ottenere dispositivi stabili, valutando sia l'architettura di cella diretta (n-i-p) che invertita (p-i-n). L'Università ha anche lavorato all'ottimizzazione del processo di patterning necessario alla fabbricazione dei moduli FV e al miglioramento dell'uniformità dei vari strati sull'area utilizzata per i prototipi di moduli sviluppati. Questa attività è particolare interesse in un'ottica di trasferimento industriale della tecnologia FV a base di assorbitori in perovskite.
Università di Torino – Dipartimento di Chimica	L'Università di Torino lavora alla sintesi di polimeri che possano essere utilizzati come strati trasportatori di lacune in alternativa a quelli attualmente in uso per celle a perovskite con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni e la stabilità. In particolare, vengono utilizzati accorgimenti per conferire idrofobicità ai polimeri, in modo da incrementare la stabilità nel tempo dei dispositivi. I polimeri vengono preparati e caratterizzati per essere poi testati in dispositivi FV dall'unità operativa di Tor Vergata.
Università di Napoli "Federico II" – Dipartimento di Fisica	Il Dip. di Fisica dell'Università di Napoli svolge uno studio teorico ab initio di materiali proposti quali strati trasportatori di elettroni e lacune in combinazione con la perovskite del tipo CH₃NH₃PbI₃. Metodologie basate su principi-primi nell'ambito della teoria del funzionale della densità (DFT) sono applicate per determinare le proprietà strutturali ed elettroniche dell'interfaccia tra la perovskite e i materiali proposti come trasportatori di carica. Questi studi possono far comprendere meglio quanto le proprietà di bulk dei materiali e le interfacce tra i vari strati limitino le prestazioni ottenibili dai dispositivi FV, contribuendo allo sviluppo della tecnologia proposta.
Università di Napoli "Federico II" – Dip. di Ingegneria Chimica dei Materiali e della produzione Industriale	Il Dip. di Ingegneria Chimica dei Materiali e della produzione Industriale svolge un'attività che ha l'obiettivo di passivare le interfacce tra i film di perovskite e i contatti estrattivi selettivi. Tali interfacce, infatti, possono limitare notevolmente l'efficienza della cella a causa di fenomeni di ricombinazione indesiderati ad opera di atomi sotto-coordinati alle superfici della perovskite. La strategia di passivazione della superficie della perovskite proposta sfrutta interazioni non-covalenti di tipo alogeno, tra gli ioni alogeno della perovskite e piccole molecole organiche di alogenuri, che formano self assembled monolayers (SAM). Gli studi in

	corso sono fondamentali al fine di promuovere lo sviluppo della tecnologia FV basata su celle a perovskite. Inoltre l'università sta conducendo studi di stabilità su una famiglia molto interessante di celle in perovskiti, le perovskiti con stagno a parziale o totale sostituzione del Pb.
Politecnico di Bari	Il politecnico di Bari è impegnato sullo sviluppo di film di grafene ottenuti con tecnica CVD caratterizzati da bassi valori di resistenza di strato ed alta trasparenza per applicazioni in celle solari innovative. L'interesse verso i materiali bi-dimensionali e verso il grafene in particolare è stato molto forte negli ultimi anni e valutare le potenziali applicazioni del grafene in ambito FV è ritenuto fondamentale anche per eventuali ricadute in ambito industriale.
Università di Roma "Sapienza" – Dip. di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni	Il gruppo del Prof. De Cesare del Dip. di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università di Roma "Sapienza" svolge un'attività sullo sviluppo di film drogati a base di silicio depositati per PECVD e di trasportatori di carica alternativi per celle SHJ quali WO_x, NiO:Li e MgO depositati mediante sputtering o evaporazione. I materiali studiati, complementari rispetto a quelli sviluppati da ENEA, vengono testati in celle parzialmente fabbricate nei laboratori dell'ENEA. Il gruppo del Prof. Balucani dello stesso dipartimento svolge una ricerca che ha l'obiettivo di sviluppare nuovi processi da utilizzare per la realizzazione di moduli FV. In particolare, il gruppo si occupa dello sviluppo di un'attrezzatura prototipale per l'embossing di vetri in modo da spostare il texturing dal wafer di silicio, su cui viene attualmente realizzato, al vetro. Questa attività può avere evidenti ricadute in termini industriali, quando ne sia dimostrato il vantaggio rispetto alle tecnologie ad oggi in uso.
Università di Napoli "Federico II" – Dip. di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione	L'attività svolta dal Dipartimento di ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'informazione dell'Università "Federico II" riguarda lo sviluppo e l'applicazione di tecniche di misura impedenziometriche per la caratterizzazione delle interfacce nei dispositivi fotovoltaici e la relativa modellistica. Tale attività ha lo scopo di ricavare informazioni relativamente ai fenomeni di ricombinazione che si manifestano nella cella quando questa viene esposta ad una fonte luminosa e sulla presenza di disuniformità superficiali alle interfacce tra i vari materiali.
Università di Milano Bicocca - Dipartimento di Scienza dei Materiali	Il Dipartimento di Scienze dei Materiali di Milano Bicocca si occupa in questa annualità dello sviluppo di strati buffer da utilizzare in celle in CZTS in sostituzione dello strato CdS tipicamente utilizzato in questa tipologia di dispositivo. I materiali vengono depositati per ALD, caratterizzati e testati in dispositivi in collaborazione con ENEA.
Università di Napoli "Federico II" – Museo delle Scienze Agrarie	Il Museo delle Scienze Agrarie si occupa della sperimentazione dei sistemi fotovoltaico-fotosintesi. Sono state realizzate una serra di media e una di grande dimensione con una copertura in parte costituita da moduli FV ed è stata svolta una sperimentazione sulla crescita di differenti specie di piante al di sotto di vetri spettralmente selettivi realizzati su piccola area. Le sperimentazioni vengono utilizzate, poi, per la calibrazione di un modello di fotosintesi capace di simulare la risposta fotosintetica a diversi livelli di ombreggiamento e composizione spettrale della luce. Gli studi condotti possono avere un forte impatto nel settore del cosiddetto agrivoltaico, utilizzo combinato di suolo per la produzione agricola e di energia elettrica. Inoltre, l'implementazione della strumentazione di raccolta e gestione di dati ambientali in tempo reale con tecnologia IoT e la sua integrazione con i modelli di simulazione di fotosintesi, può determinare lo sviluppo di sistemi di ottimizzazione e controllo di potenziale interesse applicativo, in particolare nel settore delle colture in ambiente controllato, sistemi idroponici e fotobioreattori per crescita algali.
Università di Napoli "Federico II" – Dip. di Architettura	Il Dip. di Architettura dell'Università "Federico II" di Napoli studia i livelli di innovazione progettuale e tecnologica e le modalità di integrazione architettonica dei sistemi BIPV con l'obiettivo di proporre soluzioni tecniche di supporto alla progettazione, installazione e gestione di sistemi fotovoltaici integrati. Si vuole, così, valutare il potenziale grado di pervasività dei sistemi BIPV per orientare i processi decisionali verso le soluzioni più efficaci ed appropriate.