

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2019-2021 DELLA RICERCA DI SISTEMA  
ELETTRICO NAZIONALE**

**Presentazione dei progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26  
gennaio 2000**

**1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza**

**Durata: 36 mesi**

| <b>ENTI</b>             |                                                                                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Affidatario</b>      | <b>Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo<br/>sviluppo economico sostenibile</b> |
| <b>Cobeneficiario 1</b> | <b>Politecnico di Bari</b>                                                                          |
| <b>Cobeneficiario 2</b> | <b>Università degli Studi di Milano-Bicocca</b>                                                     |
| <b>Cobeneficiario 3</b> | <b>Università degli Studi di Napoli "Federico II"</b>                                               |
| <b>Cobeneficiario 4</b> | <b>Università degli Studi di Roma "La Sapienza"</b>                                                 |
| <b>Cobeneficiario 5</b> | <b>Università degli Studi di Torino</b>                                                             |
| <b>Cobeneficiario 6</b> | <b>Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"</b>                                                 |

|                               |                                     |               |            |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|------------|
| PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br>AP1 | 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza | Dati generali | pag. 1 / 1 |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|------------|

## DATI GENERALI DEL PROGETTO

Titolo del progetto: **1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza**

Durata in mesi: **36**

## ENTI

Nome dell' Affidatario: ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Nome del Cobeneficiario (1): POLIBA - Politecnico di Bari

Nome del Cobeneficiario (2): UNIMIB - Università degli Studi di Milano-Bicocca

Nome del Cobeneficiario (3): UNINA - Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Nome del Cobeneficiario (4): Sapienza - Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Nome del Cobeneficiario (5): UNITO - Università degli Studi di Torino

Nome del Cobeneficiario (6): TorVergata - Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

## COSTO

Costo complessivo del progetto: **€ 7.000.000,00**

|                               |                                     |                             |            |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|
| PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br>AP1 | 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza | Descrizione del<br>progetto | pag. 1 / 8 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|

## DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### Abstract del progetto

#### *(in lingua italiana)*

Il fotovoltaico (FV) sta diventando la via più economica di generazione di energia elettrica in molti paesi e segmenti di mercato. Conseguentemente lo sviluppo di celle e moduli FV innovativi risulta determinante per favorire il processo di decarbonizzazione delle fonti di energia, fondamentale al fine di contenere l'innalzamento medio globale della temperatura entro i limiti previsti dall'Accordo di Parigi del 2016. Inoltre, dal punto di vista nazionale, lo studio di nuove tecnologie FV può supportare l'industria italiana operante nel settore, promuovendo eventualmente anche la creazione di nuove industrie, facilitando in tal modo il percorso indicato nel piano energetico nazionale la cui attuazione comporterà un rilevante incremento delle installazioni fotovoltaiche sul territorio nazionale.

Il progetto ha la finalità di sviluppare celle solari ad alta efficienza, materiali innovativi per applicazioni fotovoltaiche, architetture di dispositivo e sistemi fotovoltaici da utilizzare per l'integrazione in edilizia (Building Integrated PhotoVoltaic - BIPV) o in altri contesti particolari. Il concetto di alta efficienza presuppone l'utilizzo di una cella solare a multigiunzione realizzata cioè da due o più giunzioni collegate in serie ognuna delle quali assorba una regione spettrale della radiazione solare. In questo modo è possibile sfruttare al meglio la luce incidente sul dispositivo, consentendo un potenziale incremento di efficienza. Lo sviluppo di celle solari tandem, ottenute, quindi, collegando in serie due giunzioni, è stato già avviato nello scorso triennio, dove sono state fabbricate celle tandem con una cella posteriore in silicio cristallino e una cella frontale realizzata con un film sottile assorbitore in perovskite o kesterite. Nel nuovo triennio le attività continueranno perseguendo l'obiettivo di migliorare le efficienze di conversione già ottenute, con attenzione all'utilizzo di materiali e architetture che consentano di ottenere prestazioni stabili nel tempo e di processi scalabili su aree tali da risultare potenzialmente interessanti in un'ottica industriale di medio/lungo termine. La ricerca è, poi, focalizzata sullo sviluppo di dispositivi e sistemi per varie applicazioni quali ad esempio l'integrazione dei moduli FV negli edifici o in contesti rurali, dove è necessario trovare soluzioni appropriate sia in considerazione dell'applicazione considerata che dal punto di vista della produzione di energia elettrica. Gli obiettivi principali previsti sono: 1) lo sviluppo di celle solari innovative con strato assorbitore a base di perovskite e lo studio di potenziali applicazioni nel fotovoltaico di film di grafene; 2) lo sviluppo di celle solari tandem realizzate con una componente posteriore in silicio cristallino e una cella frontale con assorbitore in perovskite o kesterite ; 3) lo studio di materiali e processi per la realizzazione di moduli FV innovativi; 4) la progettazione e lo sviluppo su scale differenti di soluzioni tecnologiche per il BIPV; 5) la realizzazione di una serra fotovoltaica prototipale (copertura circa 10 m2) e su larga scala (circa 80 m2) da utilizzare per valutare l'influenza di diversi pattern di componenti fotovoltaici sulla crescita delle colture in involucri semitrasparenti.

### Abstract del progetto

#### *(in lingua inglese)*

Photovoltaics (PV) is becoming the cheapest way of generating electricity in many countries and market segments. Consequently the development of innovative PV cells and modules is crucial to favor the decarbonisation process of the energy sources, fundamental key in order to contain the global average temperature rise within the limits set by the Paris Agreement of 2016. Moreover, from national perspective, the study of new PV technologies can support the Italian industry operating in the sector, and can also promote the creation of new industries, thus facilitating the path indicated in the national energy plan whose implementation will entail a significant increase in photovoltaic installations on the national territory.

The project aims to develop high-efficiency solar cells, innovative materials for PV applications, device architectures and PV systems to be used for building integration (Building Integrated PhotoVoltaic - BIPV) or in other particular contexts. The concept of high efficiency requires the use of a multi-junction solar cell that is made with two or more junctions connected in series, each of which absorbs a spectral region of solar radiation. With this approach it is possible to make the most of the incident light on the device, allowing a

|                               |                                     |                             |            |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|
| PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br>AP1 | 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza | Descrizione del<br>progetto | pag. 2 / 8 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|

potential increase of cell efficiency. Therefore the development of tandem solar cells, as obtained by connecting two junctions in series, was already started over the last three years, in which tandem cells were manufactured with a crystalline silicon back cell and a front cell made with a thin perovskite or kesterite absorber film. In the next three-year period the activities will continue pursuing the objective of improving the conversion efficiencies already obtained, paying attention to the use of materials and architectures that allow to obtain stable performance over time and scalable processes on areas that are potentially interesting in a medium / long-term industrial perspective. The research is then focused on the development of devices and systems for various applications such as the integration of PV modules in buildings or in rural contexts, where it is necessary to find appropriate solutions both in consideration of the application considered and from the point of view of electricity production. The main objectives are: 1) the development of innovative solar cells made with perovskite absorber layer and the study of the potential PV applications of graphene ; 2) the development of tandem solar cells made with a crystalline silicon bottom cell and a top cell realized with perovskite or kesterite absorber; 3) the study of materials and processes for the creation of innovative PV modules. 4) the design and development on different scales of technological solutions for BIPV; 5) the realization of a prototype photovoltaic greenhouse (covering about 10 m<sup>2</sup>) and on a large scale (about 80 m<sup>2</sup>) to be used to evaluate the influence of different patterns on the growth of crops in semi-transparent housings.

#### **Attività svolte nel triennio precedente**

Obiettivo dell'attività di ricerca è stato lo sviluppo di celle solari innovative ad alta efficienza con struttura tandem nelle quali la cella posteriore è realizzata in silicio cristallino, mentre quella anteriore è realizzata con un materiale a film sottile ad alta gap a base di perovskite o kesterite. Inoltre, per incrementare l'efficienza e la producibilità dei sistemi fotovoltaici, si è lavorato alla progettazione e alla realizzazione di prototipi di convertitori Smart Maximum Power Point Tracking (SMPPT) equipaggiati con dispositivi switching basati su materiali e tecnologie innovativi.

Per quanto riguarda lo sviluppo di celle solari con materiali innovativi, sono state messe a punto celle a base di perovskite (del tipo Cs<sub>0.06</sub>FA<sub>0.78</sub>MA<sub>0.14</sub>PbI<sub>0.83</sub>Br<sub>0.17</sub>) con efficienza superiore al 20% e celle a base di kesterite (del tipo Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> - CZTS) con efficienza dell'8%. Parallelamente sono state sviluppate celle ad eterogiunzione di silicio con efficienza massima su area attiva di circa il 20%. Sono state, quindi, realizzate celle tandem perovskite/silicio, utilizzando due configurazioni di collegamento tra le celle componenti: la crescita diretta della componente frontale su quella in silicio (configurazione monolitica) e la connessione meccanica tra i singoli dispositivi. Quest'ultima struttura ha consentito di misurare sui dispositivi tandem un'efficienza massima pari al 24,2% su area di 1 cm<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda lo sviluppo di convertitori SMPPT, è stata realizzata una piattaforma software di progettazione per tali convertitori da utilizzare in contesti energetici di ultima generazione. Sono stati poi progettati e realizzati tre prototipi SMPPT con dispositivi switching in silicio, carburo di silicio e nitruro di gallio.

#### **Inquadramento del Progetto nello stato dell'arte**

*Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto*

Il mercato dei moduli fotovoltaici è attualmente dominato da produttori asiatici, in particolare cinesi, che dispongono di siti produttivi con volumi di produzione che in diversi casi superano i 3 GWp. Per quanto riguarda la tecnologia FV il mercato è ancora dominato dalle celle solari in silicio cristallino di tipo standard (cosiddette Al BSF - Back Surface Field), che ad oggi coprono il 60% della produzione di moduli FV. Attualmente la produzione si sta spostando verso tecnologie di realizzazione delle celle solari in silicio in grado di determinare migliori efficienze di conversione fotovoltaica quali le celle solari in c-Si cosiddette PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) e le celle ad eterogiunzione di silicio che nel giro di una decina di anni si imporranno nel mercato, mentre probabilmente negli stessi anni cominceranno a comparire in produzione moduli ancora più efficienti realizzati con celle solari a multigiunzione. Le efficienze dei moduli commerciali oggi spaziano su un ampio intervallo che va da circa il 12% al 22%, con moduli in silicio monocristallino che

|                                       |                                            |                                     |                   |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| <b>PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br/>AP1</b> | <b>1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza</b> | <b>Descrizione del<br/>progetto</b> | <b>pag. 3 / 8</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|

presentano efficienze comprese tra 16% e 22% e moduli policristallini con valori nell'intervallo 12% - 18%. Relativamente allo sviluppo di celle ad alta efficienza, lo stato dell'arte della ricerca ha compiuto grandi progressi sviluppando celle solari con valori di efficienze in alcuni casi prossimi ai limiti teorici calcolati per la tecnologia associata. E' questo, ad esempio, il caso delle celle a singola giunzione in silicio cristallino (limite teorico di efficienza calcolato per tale dispositivo 29,4%), dove la cella record è stata realizzata dalla Kaneka (Giappone) che nel 2017 ha misurato un'efficienza del 26,7% su una cella ad eterogiunzione di silicio da 79 cm<sup>2</sup> con entrambi i contatti realizzati sulla superficie non illuminata del dispositivo. Questi ottimi progressi ottenuti per la tecnologia del silicio, accompagnati dallo sviluppo di celle solari a film sottile realizzate con materiali assorbitori ad alta gap di energia, hanno determinato una grande spinta delle attività di ricerca verso lo sviluppo di celle tandem realizzate con una cella posteriore in silicio cristallino e una celle frontale sviluppata con uno strato assorbitore ad alta gap con la finalità di migliorare le prestazioni dei dispositivi consentendo al contempo di ridurre il costo dell'elettricità prodotta da fotovoltaico. In questo contesto la Oxford PV ha annunciato a giugno 2019 di aver realizzato una cella tandem perovskite/Si con efficienza pari al 28% (area 1 cm<sup>2</sup>). Per quanto concerne le celle solari a film sottile vale la pena sottolineare il risultato ottenuto dal Korea Research Institute of Chemical Technology che ha realizzato una cella a perovskite con efficienza del 24.2% (area 0.1 cm<sup>2</sup>).

Per quanto riguarda il fotovoltaico integrato negli edifici, una stima recente afferma che nei paesi europei il potenziale di produzione elettrica da BIPV sia pari a più del 22% della domanda di elettricità prevista in Europa al 2030. Dal punto di vista della tecnologia fotovoltaica, per i sistemi cosiddetti BAPV, cioè aggiunti all'involucro dell'edificio, sono utilizzati soprattutto moduli in silicio cristallino standard, con opportuni sistemi di montaggio. Nel caso della sostituzione di parti dell'involucro dell'edificio (BIPV) il panorama è più vario, ma una fetta consistente di mercato è costituita dai cosiddetti "vetri fotovoltaici". Recentemente, grazie anche al basso costo della parte attiva del componente FV, la ricerca si è concentrata sulla messa a punto di vetri che migliorano gli aspetti visivi del componente (texture e colore), sia pure penalizzandone parzialmente le prestazioni fotovoltaiche. Sono stati sviluppati diversi componenti che tramite l'uso di strati addizionali sono in grado di rispondere a requisiti nuovi di valenza formale e controllo del daylight. Ne sono un esempio i moduli bianchi e colorati sviluppati da CSEM (Svizzera) e commercializzati da diverse ditte. Lo sviluppo di vetri fotovoltaici innovativi risulta cruciale per tutte le applicazioni in cui la valenza formale dell'intervento sia un requisito fondamentale, e cioè quegli edifici in cui il design sia una componente fondamentale, o che siano vincolati per il loro valore storico, monumentale o paesaggistico, ed, inoltre, i contesti urbani pregevoli in genere.

### *Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte*

L'attività ha la finalità di sviluppare tecnologie fotovoltaiche ad alta efficienza e soluzioni innovative per il BIPV. Per quanto riguarda lo sviluppo di celle ad alta efficienza l'obiettivo del progetto consentirà di portare la filiera nazionale della ricerca sul fotovoltaico piano verso lo stato dell'arte mondiale in termini di prestazione della cella, valutando tra i processi sviluppati quelli più promettenti anche in un'ottica di trasferimento industriale. Relativamente poi al processo di fabbricazione dei moduli, saranno studiate alcune soluzioni tecnologiche del tutto innovative rispetto ai processi attualmente diffusi. Complessivamente gli studi condotti potranno comportare ricadute di tipo industriale su aziende che vogliono approcciare la produzione di moduli e celle FV. Anche lo sviluppo di soluzioni BIPV ottimizzate per i differenti contesti edilizi in cui i moduli FV debbano sostituire parti dell'involucro dell'edificio potranno favorire la creazione di nuove industrie nel settore BIPV che rispondano alle specifiche richieste. Inoltre lo studio dell'effetto di "vetri fotovoltaici" in grado di regolare intensità e/o spettro di luce filtrata sul processo di fotosintesi delle piante potrà favorire anche l'installazione di grandi potenze di fotovoltaico a terra, tema che pone diverse preoccupazioni in ordine all'uso del suolo (specialmente agricolo), realizzando soluzioni che coniugano fotovoltaico ed agricoltura e che quindi consentano un doppio uso del suolo, per produzione energetica e agricola.

Si può, comunque, affermare che le ricerche che si intendono perseguire nel progetto potranno definire un partenariato di ricerca di eccellenza sul panorama nazionale ed internazionale che può fare da volano per nuove iniziative industriali e sostenere le industrie consolidate del settore con ricadute positive per il sistema paese.

|                               |                                     |                             |            |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|
| PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br>AP1 | 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza | Descrizione del<br>progetto | pag. 4 / 8 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|

*Eventuali collegamenti con altri progetti/soggetti relativamente alle attività previste dalla proposta di progetto*

ENEA partecipa al progetto EU – H2020 AMPERE (Automated photovoltaic cell and Module industrial Production to regain and secure European Renewable Energy market) che prevede la realizzazione di una linea di produzione di moduli fotovoltaici bifacciali ad eterogiunzione ad alta efficienza, con una capacità produttiva di 200 MegaWatt/anno (capofila 3SUN), estendibile fino a 1 GigaWatt/anno. Il progetto AMPERE ha attività collegate all'attuale proposta in quanto la tecnologia FV produttiva che si sta mettendo a punto presso 3SUN – Enel GP (Catania) potrebbe essere implementata nel medio/lungo termine per la produzione di celle solari tandem ad alta efficienza.

*Bibliografia stato dell'arte*

Non presente in allegato

## **Obiettivi e risultati**

*Obiettivi finali del progetto*

L'obiettivo finale del progetto è lo sviluppo di celle solari tandem realizzate con cella bottom in silicio cristallino con efficienze maggiori del 27%, la messa a punto di materiali innovativi ed in particolare della perovskite per celle solari di nuova generazione, lo sviluppo di processi innovativi per la realizzazione dei moduli FV e la definizione di soluzioni per il BIPV. Le attività finalizzate allo sviluppo di celle solari ad alta efficienza hanno un alto contenuto di innovatività in quanto prevedono lo studio di: 1) nuovi materiali quali ad esempio perovskite o kesterite da utilizzare come strato assorbitore di celle, 2) film sottili a base di silicio nanostrutturati, di ossidi e solfuri metallici di transizione e sintesi di polimeri da utilizzare come materiali trasportatori di carica, 3) film di ossido trasparente e conduttore alternativi agli attuali anche a base di grafene da utilizzare nei dispositivi. Inoltre saranno studiate molteplici architetture di cella, ottimizzando i vari materiali e le differenti interfacce. Nel caso delle celle tandem saranno sviluppati differenti schemi di connessione delle celle componenti. In tutti i casi si valuteranno tra i materiali e le architetture sviluppati, quelli che risulteranno più interessanti per la realizzazione di dispositivi FV stabili e i cui processi di realizzazione siano compatibili con un eventuale trasferimento industriale. Nell'ambito del BIPV, si lavorerà su scale differenti, concentrandosi da una parte (media e larga scala) sulla progettazione di sistemi fotovoltaici, quali vetri e coperture, e dall'altra (piccola scala) sullo sviluppo di strutture innovative basate sulla tecnologia fotovoltaica a film sottile. Inoltre, coniugando l'obiettivo di sviluppare soluzioni FV per involucri semi-trasparenti e di valutare l'effetto dell'ombreggiamento o dell'illuminazione con determinate porzioni dello spettro solare sulla crescita delle piante, è prevedibile un ulteriore vantaggio nel settore del cosiddetto agroPV, utilizzo del suolo occupato dai moduli per la produzione agricola e di energia elettrica.

Le attività di ricerca sono prevalentemente di tipo sperimentale e vengono svolte in laboratori attrezzati con complesse apparecchiature necessarie alla realizzazione e caratterizzazione di materiali e dispositivi. Accanto alle attività sperimentali, bisogna poi menzionare le attività di progettazione delle architetture di dispositivo da realizzare e, ove sia ritenuto necessario, gli studi teorici per comprendere alcuni dei fenomeni che possono influenzare le prestazioni delle strutture in analisi.

*Principali risultati attesi*

I principali risultati attesi sono:

- Sviluppo e realizzazione di celle di piccola area a singola giunzione a base di perovskite;



|                                       |                                            |                                     |                   |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| <b>PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br/>AP1</b> | <b>1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza</b> | <b>Descrizione del<br/>progetto</b> | <b>pag. 5 / 8</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|

- Sviluppo e realizzazione di celle tandem di piccola area (1 cm<sup>2</sup>) con efficienza maggiore del 27%;
- Sviluppo e realizzazione di moduli su area fino a 15 x15 cm<sup>2</sup> a film sottile in perovskite con efficienza superiore al 12% con contatto metallico e all'8% con contatto semi-trasparente;
- Realizzazione di un'attrezzatura prototipale per lo studio di tecniche di embossing per trasferire il texturing dal wafer di silicio al vetro del modulo;
- Realizzazione di prototipi di moduli FV con celle ad eterogiunzione di Si realizzati con concetti innovativi;
- Realizzazione di una serra fotovoltaica prototipale (copertura circa 10m<sup>2</sup>) per valutare l'influenza di diversi pattern di componenti fotovoltaici sulla crescita di piante;
- Realizzazione di una copertura fotovoltaica su una serra storica (circa 80 m<sup>2</sup>) a valle della messa a punto di un opportuno design.

### *Diffusione risultati*

La comunicazione e diffusione dei risultati sarà svolta con la massima attenzione, utilizzando tutti i canali a disposizione. Un costante aggiornamento della pagina dedicata del sito web dell'ENEA consentirà di mettere in evidenza i principali risultati conseguiti nel periodo di riferimento delle attività. Inoltre i risultati saranno presentati e discussi nei più importanti convegni nazionali e conferenze internazionali del settore e saranno resi pubblici attraverso la pubblicazione su riviste scientifiche e proceedings di conferenza. La rete di collaborazione generata nell'ambito del progetto grazie agli Accordi di Collaborazione stipulati con le Università rappresenterà una ulteriore occasione di comunicazione capillare sul territorio nazionale delle attività di ricerca e contribuirà, così, ad incrementare l'impatto globale del progetto.

Sarà garantita la partecipazione italiana all'Implementing Agreement "Photovoltaic Power System" dell'International Energy Agency (IEA) che rappresenta un riferimento globale in ambito fotovoltaico e una piattaforma per la cooperazione internazionale. Sarà anche garantita la partecipazione alla European Technology Platform (ETIP) PV, in relazione al gruppo di lavoro "Integrated PV".

### **TRL iniziale**

3

### **TRL finale**

5

### *Livelli di Maturità Tecnologica (TRL) secondo la Commissione Europea*

Il progetto punta a definire una tecnologia di cella fotovoltaica tandem ad alta efficienza la cui architettura sarà sviluppata grazie agli studi previsti. Inoltre saranno sviluppati moduli prototipali a film sottile di perovskite e saranno testate possibili innovazioni nel processo di realizzazione dei moduli FV. L'aumento del TRL sarà conseguito mediante lo studio e la sperimentazione di materiali e processi che consentiranno di mettere a punto tecnologie FV esportabili in una fase successiva in ambiti industriali. Per tutte queste attività il TRL di partenza è 3 e quello di arrivo si colloca tra 4 e 5.

Una delle attività svolte nel progetto riguarda, poi, la ricerca e la sperimentazione di soluzioni innovative per avanzare la conoscenza sul tema dell'impiego dei vetri BIPV per involucri semitrasparenti, incluse serre per la produzione di piante. In questo contesto verranno progettati e sperimentati componenti fotovoltaici vetrati a partire da prodotti innovativi esistenti sul mercato. In questo caso, per i singoli moduli FV il TRL è già elevato (8) mentre il TRL di partenza del sistema completo da integrare nell'involucro si colloca intorno a 4 e lo si vuole portare a 7.

Il progetto nel complesso ha quindi lo scopo di proporre soluzioni innovative nell'ambito delle tecnologie di realizzazione di celle e moduli FV che possono in una fase successiva essere industrializzate: si può ipotizzare ragionevolmente che il TRL di arrivo del progetto si collochi intorno a 5 per alcuni componenti e a 7

|                                       |                                            |                                     |                   |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| <b>PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br/>AP1</b> | <b>1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza</b> | <b>Descrizione del<br/>progetto</b> | <b>pag. 6 / 8</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|

per altri.

## **Impatto sul sistema elettrico e benefici attesi**

### *Impatto sul sistema elettrico nazionale*

Lo sviluppo di tecnologie innovative per il FV ed in particolare il conseguimento degli obiettivi definiti nel progetto potrà sicuramente avere un impatto sul sistema elettrico nazionale e sull'ambiente. La crescente diffusione del FV in Italia, sebbene fortemente sostenuta dagli incentivi negli anni scorsi, è attualmente in buona parte dovuta anche alla propensione del consumatore verso questo tipo di soluzione per la produzione di elettricità in quanto percepita come particolarmente pulita. I consumatori potrebbero, dunque, nelle scelte presenti e future optare, tra le compagnie di fornitura dell'energia elettrica, per quelle che garantiscano l'uso di energia derivante da fonti rinnovabili, veicolando, così, il sistema di produzione verso tecnologie più sostenibili in termini ambientali. Bisogna, tuttavia, dire che l'attuale mercato dei moduli FV è dominato dall'industria cinese, non particolarmente attenta all'impatto ambientale dei processi utilizzati per la produzione industriale. In questo contesto una crescita dell'industria FV nazionale ed europea con prodotti capaci di migliori prestazioni e realizzati con processi a basso impatto può avere effetti molto vantaggiosi in termini ambientali.

Per quanto riguarda i potenziali vantaggi per il sistema elettrico nazionale legati più specificatamente all'energia elettrica prodotta, la messa a punto di tecnologie fotovoltaiche con efficienze maggiori delle attuali può determinare la produzione nel medio/lungo termine di pannelli FV in grado di generare potenza maggiore a parità di superficie occupata. Questo può favorire il processo di diffusione del fotovoltaico secondo quanto definito nella Strategia Energetica Nazionale (pubblicata nel 2017) e nel Piano Integrato Nazionale Energia e Clima (pubblicato nel 2018), dove il governo nazionale ha posto il target di 50 GW di fotovoltaico installato per il 2030. La possibile riduzione di suolo occupato dall'impianto a parità di potenza fotovoltaica installata, può avere un indubbio vantaggio per un paese come l'Italia, caratterizzato da un enorme numero di siti protetti dal punto di vista architettonico e/o paesaggistico.

### *Benefici per gli utenti*

L'incremento di efficienza dei moduli FV, mediante lo sviluppo di nuove celle e tecnologie di modulo, può tradursi in una riduzione dei costi di modulo e dei costi di balance of system (BoS) legati all'area occupata dal sistema, determinando così una riduzione del costo dell'energia prodotta. Non è semplice ad oggi poter quantificare tali aspetti, in quanto, per quel che riguarda il processo di realizzazione della cella solare tandem, sono da definire ancora materiali e processi e solo a valle di questo percorso di ricerca sarà possibile dare una stima dei costi industriali della tecnologia. Si può tuttavia affermare, anche sulla base della letteratura scientifica che si sta occupando della tematica tecnico-economica legata allo sviluppo di celle tandem, che è ragionevole ipotizzare per i moduli tandem un costo di produzione inferiore a 25 c€/W, valore quest'ultimo confrontabile con gli attuali costi di modulo. Questa ragionevole ipotesi accompagnata dal beneficio in termini di riduzione di costo del BoS per effetto della minore area occupata a parità di potenza prodotta può garantire un sicuro guadagno in termini di costo dell'energia elettrica prodotta da fotovoltaico per l'utente finale.

Lo sviluppo di prodotti per il BIPV, può sicuramente contribuire a diversificare l'offerta tecnologica adattandola anche alle crescenti richieste del mercato dell'edilizia. In questo contesto l'attività proposta può consentire la realizzazione di componenti specifici per l'integrazione del fotovoltaico in edilizia, permettendo all'utenza la possibilità di installare sistemi di produzione di energia elettrica con buona efficienza, lunga durata e costo competitivo anche in contesti sensibili

### *Previsione delle ricadute applicative*



|                                       |                                            |                                     |                   |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| <b>PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br/>AP1</b> | <b>1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza</b> | <b>Descrizione del<br/>progetto</b> | <b>pag. 7 / 8</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|

Tutta la sperimentazione prevista per il raggiungimento degli obiettivi di progetto ha uno sguardo attento alla definizione di materiali, processi e architetture che possano essere rilevanti in un'ottica industriale di medio/lungo termine. I proponenti potranno così beneficiare in termini economici nelle fasi di industrializzazione delle innovazioni sviluppate grazie alle competenze maturate nel progetto.

### **Verifica dell'esito del Progetto**

#### *Oggetti e documentazione dei risultati finali*

Per ognuna delle linee di attività sarà redatta una relazione tecnica che descriverà nel dettaglio la sperimentazione eseguita e discuterà i risultati ottenuti, evidenziando eventuali problemi riscontrati rispetto alle ipotesi fatte ed eventuali azioni da intraprendere per superare tali problematiche. A parte i report tecnici sulla varie attività alla fine del triennio saranno disponibili i seguenti prototipi:

- celle tandem perovskite/silicio di piccola area (circa 1 cm<sup>2</sup>) con efficienza maggiore del 27%;
- moduli fotovoltaici su area fino a 15 x 15 cm<sup>2</sup> a film sottile in perovskite con efficienza superiore al 12% con contatto metallico e all'8% con contatto semi-trasparente.
- Attrezzatura prototipale per embossing con la finalità di trasferire il texturing dal wafer di silicio al vetro del modulo;
- Realizzazione di un prototipo di mini-modulo ottenuto con vetri testurizzati mediante tecnica di embossing e con celle solari ad eterogiunzione di silicio di dimensioni di almeno 10 x 10 cm<sup>2</sup> con griglie metalliche depositate mediante plating;
- Serra fotovoltaica prototipale (copertura circa 10m<sup>2</sup>);
- Copertura fotovoltaica su una serra storica (circa 80 m<sup>2</sup>) a valle della messa a punto di un opportuno design.

#### *Elementi per la verifica finale del progetto*

La verifica dei risultati finali per i dispositivi FV, celle e moduli prototipali, potrà avvenire mediante le misure di caratterizzazione tipicamente utilizzate per valutarne l'efficienza (misure di curva caratteristica I-V e risposta spettrale).

Sarà possibile eseguire un'ispezione delle due serre con copertura fotovoltaica che saranno realizzate presso il Centro Musei delle Scienze Agrarie di Portici e dell'attrezzatura per embossing presso l'Università "La Sapienza".

### **Coordinamento tra gli affidatari**

#### *Il progetto prevede attività in sovrapposizione con gli altri affidatari?*

SI

#### *Coordinamento tra gli affidatari*

Il comitato di coordinamento è composto dai responsabili di progetto dei tre Enti affidatari sul tema "Fotovoltaico ad alta efficienza" che sono:

- Paola Delli Veneri (Coordinatore), per ENEA
- Salvatore Guastella, per RSE
- Massimo Mazzer, per CNR.

I membri del CdC si sono confrontati in maniera approfondita sulle relative proposte progettuali per valutare potenziali sovrapposizioni e sinergie potenziali. Il CdC assume come riferimento gli elementi che nel Decreto Ministeriale 9 agosto 2019 esemplificano la struttura di base del Progetto a partire dal Tema di Ricerca (WP e attività in essi elencate).

|                               |                                     |                             |            |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|
| PTR_19_21_ENEA_PRG_1_C<br>AP1 | 1.1 Fotovoltaico ad alta efficienza | Descrizione del<br>progetto | pag. 8 / 8 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|

A fronte di una valutazione comparata delle attività di ricerca e sviluppo delle rispettive Organizzazioni, i tre Responsabili di progetto rilevano che non esiste alcuna sovrapposizione di tematiche e di obiettivi fra i programmi di ricerca svolti dai tre Affidatari nell'ambito del Piano Triennale di Ricerca sopraindicato. Il lavoro del CdC continuerà per tutto il periodo di realizzazione del progetto attraverso continui scambi di informazioni fra i Componenti del CdC relativi all'andamento delle attività di ricerca di comune interesse. Inoltre incontri periodici (almeno annuali) saranno tenuti con lo scopo di condividere l'avanzamento delle attività, verificare nel tempo la non sussistenza di sovrapposizioni o duplicazioni di attività di ricerca, condividere l'avanzamento e i risultati di ricerca per quelle attività che manifestamente possono beneficiarne in maniera sinergica.

*Immagini allegate:*

Non presenti in allegato

*Coordinamento affidatari:*

Presente in allegato