

# Tecnologie e materiali per il fotovoltaico di nuova generazione

Il fotovoltaico è uno degli attori più importanti del processo di transizione energetica: è una tecnologia matura e pronta per essere implementata su scala multi-terawatt per contribuire alla riduzione delle emissioni. ENEA è impegnata in un processo di forte innovazione del FV con attività di ricerca su diverse tecnologie.

DOI 10.12910/EAI2022-063

di **Paola Delli Veneri**, Responsabile Laboratorio Dispositivi Innovativi - ENEA

**L**a Conferenza delle Parti (COP26) delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici ospitata nel Regno Unito a novembre 2021 si è conclusa ribadendo l'obiettivo a lungo termine di limitare l'aumento medio della temperatura ben al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli preindustriali e di proseguire gli sforzi per limitare l'aumento della temperatura a 1,5 °C. Per raggiungere questo target è necessaria una sostanziale riduzione delle emissioni globali di gas serra, con una diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> al 2030 del 55% rispetto al livello del 2010 e un azzeramento al 2050. È, quindi, fondamentale una transizione energetica che può essere guidata mediante un processo di elettrificazione e il contestuale utilizzo di energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili e a bassa o nulla emissione di carbonio.

**Il fotovoltaico (FV) è, sicuramente, uno degli attori più importanti del processo di transizione energetica: è una tecnologia matura, pronta per essere implementata su scala multi-terawatt in modo da contribuire alla riduzione delle emissioni a breve termine.** La produzione globale di elettricità da solare fotovoltaico è un ordine di grandezza inferiore rispetto alle tecnologie convenzionali (ha

rappresentato circa il 3% alla fine del 2020), ma il fotovoltaico dà evidenza di una progressione molto rapida, grazie anche alla rilevante riduzione dei costi osservata negli ultimi anni.

Uno dei fattori di successo del FV è la modularità/granularità della tecnologia: pannelli solari identici da alcune centinaia di watt di potenza possono essere combinati, da decine per installazioni sul tetto, a milioni in centrali elettriche su scala industriale. La potenziale applicazione su scale differenti con investimenti economici contenuti e l'accesso alle risorse solari possibile in tutti i paesi sono alla base del successo della tecnologia fotovoltaica.

**Nel mondo installata una capacità fotovoltaica di oltre 1TW**

**Nel 2022 è stato annunciato che la capacità globale di potenza FV installata al mondo ha superato 1 TW, valore di grande rilievo se confrontato con i soli 39 GW di potenza installati nel 2010.** La Cina è attualmente al primo posto per capacità installata con circa il 30% del totale (circa 300 GW), seguita dall'Unione Europea con circa il 17% (166 GW) e dagli USA con oltre 125 GW. Anche la produzione industriale è guidata dalla Cina che nel 2021 ha prodotto celle e moduli FV per una potenza pari a circa 150 GW sui 200

GW prodotti globalmente nell'anno.

In Italia si è registrato un discreto incremento delle installazioni FV, con una capacità di potenza che ha raggiunto nel 2021 un valore di 22,6 GW; è stata, così, prodotta una quantità di energia elettrica da **fotovoltaico pari a 25 TWh, il 7,8% del consumo elettrico nazionale.**

**Una forte accelerazione in termini di installazioni FV è, tuttavia, richiesta nei prossimi anni per raggiungere l'obiettivo del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima: installare al 2030 50 GW di potenza fotovoltaica, valore quest'ultimo che dovrà essere ulteriormente incrementato alla luce delle indicazioni del pacchetto clima "fit for 55" adottato nel 2021 dalla commissione Europea.**

**La tecnologia del silicio cristallino**

La tecnologia FV si basa sull'effetto fotovoltaico che consente di convertire in portatori liberi di carica elettrica la luce solare assorbita da un materiale semiconduttore. Sebbene svariati materiali possano essere utilizzati per realizzare celle solari, la stragrande maggioranza dei moduli FV prodotti nel passato, ma anche nel presente, sono basati sul silicio, il secondo più abbondante elemento dopo l'ossigeno nella crosta terrestre, in una forma cri-

stallina (c-Si). **Più del 90% dei moduli installati nel corso del 2020, infatti, sono basati sulla tecnologia del silicio cristallino**, mentre la parte rimanente è realizzata con materiali semiconduttori in forma di film sottile, con spessori dell'ordine del micron, quali ad esempio il CdTe, il CIGS e il silicio. La prestazione del dispositivo FV viene misurata dall'efficienza di conversione fotovoltaica, definita come il rapporto tra la potenza elettrica disponibile ai capi della cella fotovoltaica e la potenza della radiazione solare che colpisce la superficie della stessa cella. **Le efficienze dei moduli commerciali variano attualmente nell'intervallo 15-23% per i differenti materiali/tecnologie**; mediamente, per la tecnologia FV del c-Si, le efficienze dei moduli si attestano intorno al 20%, mentre le più alte efficienze sono ottenute con sofisticate architetture di dispositivo in c-Si, che attualmente evidenziano limitati volumi di produzione. **I prezzi dei moduli FV si sono ridotti notevolmente negli anni grazie a vari fattori, tra cui principalmente l'aumento dei volumi di produzione e il miglioramento dell'intera catena del processo produttivo di moduli FV.** Attualmente i tipici prezzi per moduli standard in silicio cristallino variano nell'intervallo 0.17-0.25 US\$/W, in relazione alla tipologia ed efficienza del prodotto, che si traduce in un costo per unità di area di soli 35-50 US\$/m<sup>2</sup>.

### Il ruolo della ricerca: innovazione 'incrementale' e 'radicale'

In questo scenario quale deve essere il ruolo della ricerca per promuovere un utilizzo sempre maggiore della tecnologia FV, favorendo così il processo di transizione ecologica? Gli argomenti chiave possono essere così riassunti: 1) sviluppo di celle e moduli FV ad alta efficienza e con costi contenuti; 2) definizione e sviluppo di nuovi approcci tecnologici al fotovoltaico che ne rendano possibile l'integrazione in vari contesti; 3) definizione di metodologie innovative per ottimizzare la gestio-

ne di impianti FV in modo, così, da massimizzare la produzione di energia elettrica da fotovoltaico. In particolare, **lo sviluppo di materiali e architetture di dispositivo per l'alta efficienza può consentire di realizzare nuovi prodotti capaci di incrementare la quantità di energia elettrica prodotta a parità di suolo occupato**, consentendo così, anche, di mitigare la questione del consumo del suolo, fattore che potrebbe limitare l'utilizzo della fonte solare per la produzione di energia elettrica.

Sul tema dell'alta efficienza e della possibile integrazione del FV con l'agricoltura sono concentrate buona parte della attività di ricerca svolte in ENEA.

Per quanto riguarda lo sviluppo di materiali e celle FV, le ricerche hanno l'obiettivo di produrre innovazioni catalogabili in due categorie: **"innovazione incrementale"**, che riguarda le attività destinate al miglioramento delle prestazioni di dispositivi fotovoltaici già presenti sul mercato e di interesse per l'industria, e **"innovazione radicale"**, che riguarda lo sviluppo di moduli di nuova generazione.

Alla prima categoria appartengono le attività finalizzate al miglioramento di celle in silicio ed in particolare di celle ad eterogiunzione di silicio (SHJ), architettura di cella in silicio con la quale è stato ottenuto il record di efficienza in laboratorio dalla Kaneka (Giappone) che ha misurato un'efficienza del 26,7% su una cella SHJ da 79 cm<sup>2</sup>. Le ricerche sono mirate a studiare soluzioni per migliorare le prestazioni e/o i processi produttivi. Sono allo studio, ad esempio, materiali per contatti selettivi più trasparenti rispetto ai film drogati di silicio amorfo tipicamente utilizzati nelle celle attuali, eventualmente eliminando l'uso di gas tossici, quali PH<sub>3</sub> o B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, necessari al drogaggio dei film di silicio, così come si studiano contatti trasparenti alternativi all'ossido di indio e stagno (ITO), valutando materiali/soluzioni che possano determinare un minore o nullo utilizzo di indio, elemento con problemi di disponibilità. Altri studi riguardano

poi il miglioramento dei processi di metallizzazione delle celle, valutando alternative più economiche alle paste di argento.

### Celle solari tandem

**Le celle in silicio con appropriate architetture saranno, probabilmente, anche alla base di una nuova generazione di dispositivi basati sul concetto di multigiunzione.** Una cella solare a multigiunzione combina materiali assorbitori con differenti bandgap in modo che ognuno di essi assorba efficacemente una regione spettrale della luce.

La cella solare tandem, che combina due celle componenti, rappresenta la più semplice configurazione a multigiunzione ed in questa configurazione il silicio può giocare un ruolo fondamentale come cella posteriore deputata ad assorbire la parte dello spettro a più bassa energia. In letteratura sono riportate delle simulazioni che predicono valori di efficienza prossimi al 40% per celle tandem con cella posteriore in silicio.

Per la cella frontale, la perovskite è uno dei materiali attualmente più studiati. Recentemente, nel laboratorio fotovoltaico dell'EPFL a Neuchatel (Svizzera), è stata superata la barriera psicologica del 30% di efficienza, realizzando una cella tandem perovskite/silicio con un'efficienza record pari al 31,25% su un'area di 1 cm<sup>2</sup>.

**ENEA è impegnata in questo processo di forte innovazione del FV con lo sviluppo di celle in perovskite da utilizzare anche in combinazione col silicio per realizzare celle tandem perovskite/silicio.** Nei laboratori sono sperimentati film di perovskite e gli altri materiali necessari alla fabbricazione delle celle, testando differenti processi per la preparazione dei materiali (tecniche di crescita da soluzione o in vuoto).

Gli studi sui dispositivi FV a base di silicio e perovskite hanno consentito di realizzare celle tandem perovskite/silicio ottenute utilizzando due possibili configurazioni di collegamento tra

le componenti: la crescita diretta della cella frontale in perovskite su quella in silicio (cella tandem in configurazione monolitica) e la connessione meccanica in serie tra i singoli dispositivi realizzati separatamente.

Con quest'ultima configurazione in collaborazione con l'Università di Tor Vergata è stata realizzata una cella tandem perovskite/Si con un ragguardevole valore di efficienza pari al 28,4%.

### L'agrivoltaico sostenibile

**Accanto allo sviluppo di celle solari ad alta efficienza sono in corso attività di ricerca sullo sviluppo del cosiddetto agrivoltaico sostenibile in cui produzione agricola e generazione fotovoltaica si integrino senza impattare sul consumo di suolo con attenzione alle trasformazioni del paesaggio.** ENEA ha recentemente promosso la creazione di una rete italiana per l'agrivoltaico sostenibile e co-

ordina le attività della rete con lo scopo di elaborare linee guida per supportare i decisori e metodologie per valutare impatti dei sistemi FV proposti. ENEA sta inoltre progettando e sviluppando celle solari a film sottile spettralmente selettive in grado di esplorare l'uso complementare integrato della luce solare per fotovoltaico e fotosintesi e ha progettato coperture per serre con moduli FV innovativi sviluppati in collaborazione con diverse aziende.

*Per info: [paola.delliveneri@enea.it](mailto:paola.delliveneri@enea.it)*

#### Riferimenti

- Jäger-Waldau, Arnulf, Snapshot of photovoltaics - February 2022, EPJ Photovoltaics 13, 9 (2022) <https://doi.org/10.1051/epjpv/2022010>;
- <https://www.iea.org/reports/solar-pv>
- IEA PVPS ANNUAL REPORT 2021, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/03/IEA-PVPS\\_Annual\\_Report\\_2021.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/03/IEA-PVPS_Annual_Report_2021.pdf)
- Ballif C, Haug F-J, Boccard M, Verlinden P-J, Hahn G, Status and perspectives of crystalline silicon photovoltaics in research and industry, Nature Reviews Materials, Volume 7 (8), 2022, P. 597 – 616, <https://doi.org/10.1038/s41578-022-00423-2>
- L. Serenelli, L. V. Mercaldo, E. Bobeico, A. De Maria, M. Della Noce, M. Ferrara, V. La Ferrara, L. Lancellotti, G. Rametta, G. V. Sannino, A. Romano, I. Usatii, L. Martini, F. Menchini, E. Calabrò, E. Nonni, F. Matteocci, A. Di Carlo, M. Tucci, P. Delli Veneri, Definizione di materiali e architetture per la realizzazione di celle solari tandem perovskite/silicio, Report RdS/PTR(2021)/324 – 2022.
- L. V. Mercaldo, A. Scognamiglio, A. Citarella, M. Della Noce, M. Ferrara, C. Toledo, P. Delli Veneri, Definizione del design di multistrati a film sottile e di sistemi BIPV con prestazioni ottimizzate per involucri semitrasparenti, Report RdS/PTR(2021)328 - 2022