



TUTTO IL POTENZIALE DELLA PEROVSKITE

I LIVELLI DI EFFICIENZA DEI MODULI REALIZZATI CON QUESTA TECNOLOGIA PROMETTONO PERFORMANCE ELEVATISSIME NELLA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA SOLARE, RISPETTO ALLE CONFIGURAZIONI GIÀ SUL MERCATO. SONO MOLTE LE SFIDE CHE AZIENDE E SVILUPPATORI DEVONO AFFRONTARE PER ARRIVARE AD UNA PRODUZIONE DI MASSA, MA LA STRADA È SEGNATA ED ESISTONO GIÀ I PRIMI PRODOTTI IN COMMERCIO

DI ALDO CATTANEO

Le perovskiti sono semiconduttori con una speciale struttura cristallina che le rende adatte alla tecnologia delle celle solari. Sono elementi di un materiale promettente nel campo dell'energia solare grazie alla sua elevata efficienza e ai costi di produzione relativamente bassi. I moduli con celle tandem combinano strati di silicio e perovskite raggiungendo sia efficienze maggiori, sia valori di potenza in uscita a vita più elevati rispetto al silicio convenzionale.

«La tecnologia a perovskite», spiega Francesco di Giacomo, CTO di Solertix, società controllata di Futura-Sun, «appartiene alla classe del fotovoltaico a film sottile, dove si utilizzano strati molto sottili di materiali (più di 100 volte più sottili delle celle di silicio). È simile alla tecnologia al silicio amorfo o CdTe, ma permette di ottenere efficienze molto più alte, fino ad oltre il 26%. In confronto ai moduli a silicio monocristallino le efficienze massime sono simili, ma solo su dispositivi di area minore di un centimetro quadrato».

UNA COSTANTE EVOLUZIONE

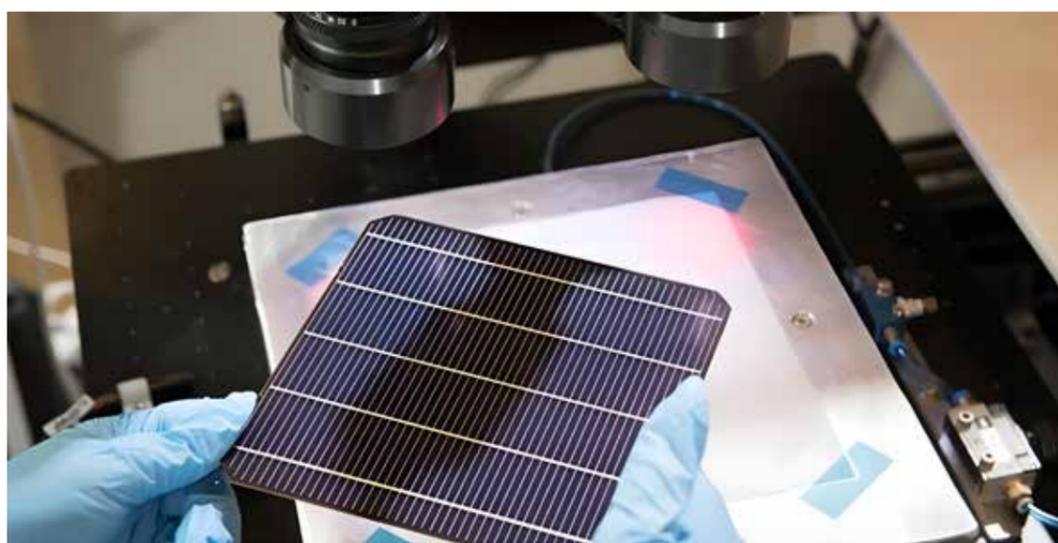
Ma l'evoluzione di questa tecnologia potrebbe portare a un grado di efficienza ancora più elevato, anche se fino ad oggi si tratta di prove di laboratorio. Ad esempio, a novembre dello scorso anno, Longi aveva annunciato che le sue celle solari tandem silicio cristallino-perovskite avevano raggiunto un'efficienza del 33,9%. Il dato era stato certificato dal laboratorio di ricerca statunitense Nrel. Con questo grado di efficienza veniva superato il precedente record del 33,7% raggiunto a maggio dello scorso anno dalla King Abdullah University of Science & Technology. A fine 2023 è stato invece pubblicato uno studio di un gruppo di ricercatori dell'istituto tedesco Fraunhofer ISE secondo il quale l'efficienza di conversione delle celle solari tandem in silicio-perovskite può raggiungere il 39,5%.

Nello specifico lo studio utilizzava diversi metodi di caratterizzazione per quantificare le perdite in una cella solare tandem e per analizzare le possibilità di ottimizzazione dell'efficienza.

I ricercatori hanno calcolato i miglioramenti dell'efficienza andando per gradi, dalla cella realizzata sperimentalmente con coefficiente di conversione del 26,7% a uno scenario idealizzato, raggiungendo un potenziale di efficienza pratica del 39,5%. Questo può essere considerato il limite superiore per l'architettura tandem silicio-perovskite.

INTEGRAZIONE CON LE TECNOLOGIE PREESISTENTI

Un altro aspetto interessante di questa tecnologia è la sua integrazione con le attuali architetture delle celle in silicio HJT, TOPcon o Back Contact, che vedono migliorare le proprie prestazioni adottando la cella tandem con la perovskite.



Le celle in perovskite potrebbero beneficiare dell'architettura con la tecnologia TOPcon (Tunnel Oxide Passivated Contact) che prevede una passivazione della superficie che riduce significativamente le perdite di ricombinazione, per portare a una migliore stabilità e un aumento dell'efficienza complessiva (questa soluzione ad esempio è stata adottata da Qcells).

La perovskite, se abbinata alla tecnologia HJT (Heterojunction) che combina materiale amorfo e cristallino, sembra in grado di offrire una buona efficienza e il miglioramento della gestione delle perdite di calore, il che aumenta l'efficienza complessiva, grazie alla possibilità di sfruttare la banda larga della perovskite per assorbire meglio la luce (questa è la scelta adottata da 3Sun).

Infine, se integrata con la tecnologia Back Contact Interdigitated (IBC), la perovskite consente di avere una migliore gestione della luce e ridurre le ombreggiature, per aumentare il numero di fotoni assorbiti, migliorando ulteriormente le prestazioni (scelta adottata da Longi).

In questa fase ogni produttore reputa essere l'architettura migliore per l'integrazione delle celle perovskite in base alla facilità di produzione, alla stabilità nel tempo, all'efficienza desiderata e al costo di produzione.

La ricerca è focalizzata sull'ottimizzazione dell'interfaccia tra strati di perovskite e silicio per ridurre al minimo le perdite di energia e migliorare le prestazioni complessive delle celle. Questo approccio ibrido potrebbe diventare uno standard nel settore solare, fornendo un percorso per superare i limiti di efficienza delle attuali tecnologie fotovoltaiche.

I NUMEROSI VANTAGGI

«I vantaggi di questa tecnologia sono parecchi», spiega Alberto Nadai, sales manager Italia di Qcells, «partendo dall'alta efficienza e dalle prestazioni, le celle solari in perovskite hanno raggiunto ren-

I vantaggi

- **Alta Efficienza:** Le celle in perovskite a giunzione multipla possono raggiungere, con le simulazioni in laboratorio, efficienze fino al 39,5%, rispetto al limite del 29,4% delle celle basate su silicio

- **Basso Costo:** I materiali in perovskite sono meno sensibili alle impurità, consentendo la produzione di celle con oltre il 20% di efficienza utilizzando materiali in perovskite di circa il 90% di purezza.

- **Ampia Gamma di Applicazioni:** Le celle solari in perovskite possono essere prodotte in forme flessibili e leggere, rendendole adatte a varie applicazioni.

- **Eccellenti Prestazioni in Condizioni di Bassa Luce:** Le celle solari in perovskite mantengono una buona prestazione anche in condizioni di illuminazione sub-ottimale, migliorando il loro potenziale complessivo di generazione di energia.



dimenti molto elevati superiori al 30% e mostrano una forte capacità di assorbire la luce in un ampio intervallo di lunghezze d'onda, il che le rende particolarmente efficaci nel convertire la luce solare in elettricità.

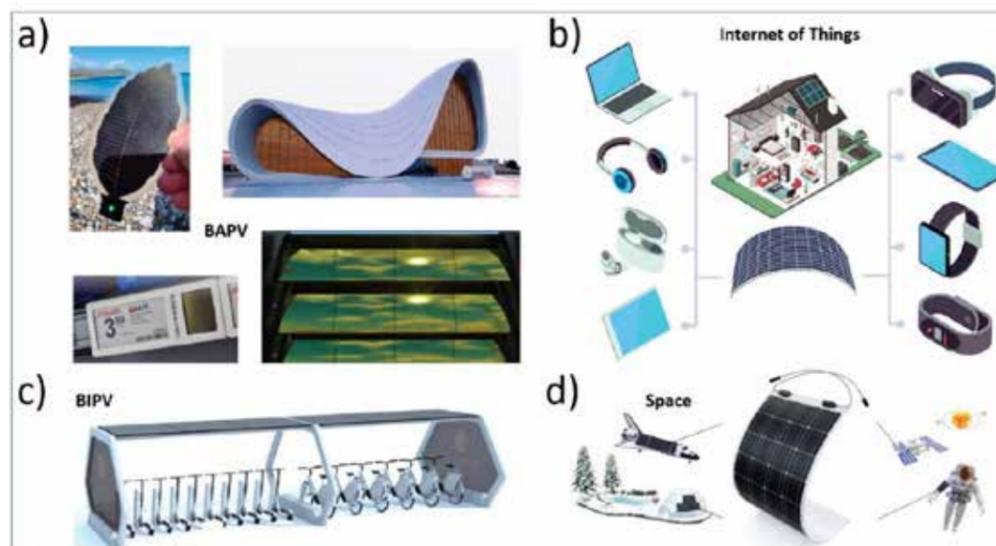
Le celle solari a perovskite raggiungono oggi un'efficienza superiore alle tecnologie consolidate, ma questo non è l'unico punto a favore della tecnologia. Uno dei vantaggi più interessanti dei moduli in perovskite è il loro potenziale di produzione a basso costo. Infatti le celle possono essere prodotte utilizzando metodi di fabbricazione a bassa energia e a bassa temperatura, che consente di ridurre i costi rispetto ai processi di produzione ad alta temperatura necessari per i moduli in silicio.

Inoltre le celle fotovoltaiche in perovskite sono più leggere e flessibili. Questa caratteristica le rende particolarmente adatte a superfici curve o a materiali sottili. La produzione di moduli fotovoltaici in perovskite potrebbe comportare un minore consumo energetico e una minore quantità di materiali rari o costosi. Questo potrebbe rendere i moduli fotovoltaici non solo più economici, ma anche più sostenibili.

«Gli strati utilizzati per il fotovoltaico a film sottile», afferma Francesco di Giacomo di Solertix, «sono molto economici e non hanno bisogno di trattamenti termici ad alta temperatura, abbassando notevolmente i costi energetici di produzione. Anche a livello di produzione richiedono macchinari meno complessi e permettono di partire dalle materie prime ed arrivare al modulo finito in un unico impianto produttivo. Inoltre, questa tecnologia può lavorare in tandem alle celle di silicio, sovrapponendo questi strati alle celle di silicio: così si va ad aumentarne notevolmente l'efficienza a fronte di un incremento di costo limitato».

La perovskite può essere prodotta utilizzando tecniche di deposizione ad alta velocità, come la stampa roll-to-roll (una tecnologia di produzione in continuo) e la deposizione a spruzzo. Questi metodi consentono una produzione rapida e scalabile dei mo-

Applicazione commerciale della tecnologia



A) FOTOVOLTAICO APPLICATA AGLI EDIFICI (BAPV), CON DESIGN LIBERO, ADATTABILE A QUALSIASI EDIFICIO
 B) APPLICAZIONE PER LA DOMOTICA (INTERNET OF THINGS), CON L'USO POTENZIALE DEL FOTOVOLTAICO A PEROVSKITE COME SOSTITUTO PER ALIMENTARE LA TECNOLOGIA DELLE BATTERIE NEI DISPOSITIVI PORTATILI PRESENTI IN CASA E PER USO PERSONALE, COME SMARTPHONE, SMARTWATCH E SMART BANDS, LAPTOP PORTATILI, CUFFIE WIRELESS E OCCHIALI PER REALTÀ VIRTUALE
 C) FOTOVOLTAICO INTEGRATO NELL'EDIFICIO (BIPV), CON INTEGRAZIONE DEL PRODOTTO SOLARE NEGLI EDIFICI E INSTALLAZIONE SPECIFICA
 D) TECNOLOGIA SOLARE PER AMBIENTE SPAZIALE E POLARE, GRAZIE AL SUO RAPPORTO VANTAGGIOSO PESO-POTENZA E DALLE MIGLIORI PRESTAZIONI A BASSA TEMPERATURA

(FONTE: LA CHIMICA E L'INDUSTRIA ONLINE | ANNO VIII | N° 4 | LUGLIO/AGOSTO 2024)

duli, rendendo possibile la produzione in larga scala a costi contenuti. La capacità di produrre moduli solari a basso costo su larga scala è cruciale per aumentare l'accesso all'energia solare in tutto il mondo.

I moduli fotovoltaici in perovskite sono versatili in termini di materiali di supporto. Possono essere applicati su una varietà di substrati, inclusi materiali flessibili o leggeri, come pellicole di plastica o metallo, il che consente l'integrazione nei sistemi fotovoltaici innovativi, come i pannelli solari integrati nelle finestre, nei veicoli o nelle strutture architettoniche. Questo li rende ideali per applicazioni in cui i tradizionali pannelli in silicio non sono idonei.

LE SFIDE TECNOLOGICHE

Il record di efficienza di celle solari basate sulla tecnologia a perovskite ottenuto in laboratorio pari a 26,1% (mentre le modellizzazioni parlano addirittura del 39,5%) è riferito ad un'area attiva inferiore a 0,1 centimetri quadrati; una delle sfide della ricerca è quella di arrivare a questo valore anche su moduli fotovoltaici di dimensioni standard. Questo processo di trasferimento tecnologico da una piccola area ad un'area più grande viene definito upscaling. L'upscaling presenta sfide significative sia dal punto di vista dei materiali (quindi legato all'aspetto chimico-fisico), sia dal punto di vista tecnologico (quindi relativo a fab-



Sistemi di accumulo per impianti C&I Transizione 5.0 e agrisolare con i sistemi zeroCO₂ XL

Made in Italy

90+

IMPIANTI
zeroCO₂ XL
INSTALLATI

OUTDOOR zeroCO₂ - XL Shell 100

Sistema di accumulo e monitoraggio Pug&Play che permette le funzioni di Autoconsumo, Peak shaving e adatto a Smart Grid.

60 kW
potenza

da 100 a 127 kWh
capacità

All-in-One
CEI-021 e CEI-016



Energy offre soluzioni di accumulo personalizzate per ogni settore: dall' **industriale**, al **commerciale** e **agricolo**.

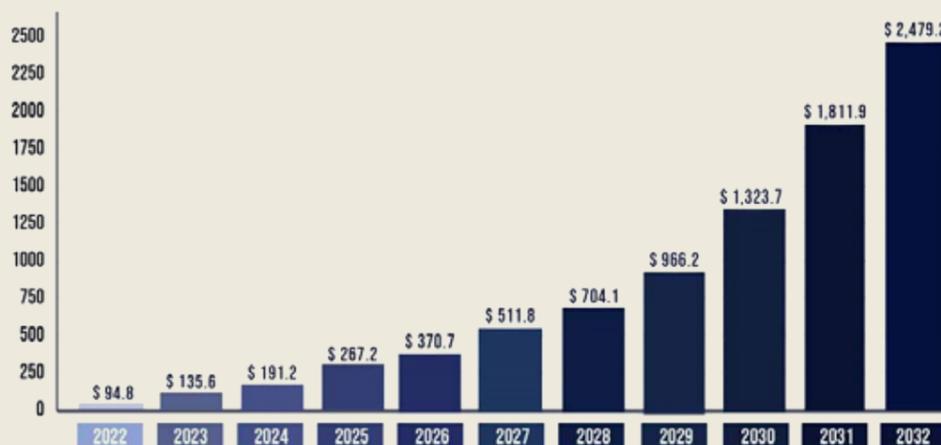
Dalla **produzione di batterie** al **sofisticato software in cloud**, ogni componente è progettato e assemblato in Italia.

Energy S.p.A.
Tel. +39 049 2701296
info@energysynt.com

energyspa.com



Previsioni del mercato delle celle solari a perovskite dal 2023 al 2032 in milioni di dollari



FONTE: PRECEDENCE RESEARCH

“Puntiamo sulle celle tandem in perovskite”

«Qcells e un gruppo di istituti di ricerca europei si sono uniti per promuovere la tecnologia tandem-perovskite tramite il consorzio Pepperoni, un progetto di ricerca e sviluppo quadriennale con 14,5 milioni di euro di finanziamenti UE. Qcells sta collaborando con il centro di ricerca Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) per sviluppare e migliorare la tecnologia delle celle solari a perovskite, questa partnership si focalizza sull'ottimizzazione dei materiali e dei processi di produzione per ottenere celle solari più efficienti e sostenibili. Il progetto ha previsto una linea pilota presso la sede centrale europea di Hanwha Qcells a Thalheim, in Germania, volta a commercializzare celle e moduli tandem utilizzando la tecnologia di produzione di celle Q.Antum proprietaria di Hanwha Qcells».



ALBERTO NADAI
SALES MANAGER ITALIA
DI QCELLS

“Una tecnologia per tutte le applicazioni”

«In linea di principio non ci sono limitazioni particolari all'utilizzo di questi nuovi pannelli, ma le diverse tipologie che si possono fabbricare possono riflettersi in applicazioni preferenziali. Per quanto riguarda i pannelli tandem che hanno un'alta efficienza ma un costo più elevato dei pannelli standard, questi sono più convenienti nelle applicazioni in cui lo spazio utilizzabile è limitato o costoso. Pannelli di sola perovskite invece avranno costi più bassi ma anche efficienze più limitate, favorendone l'uso in aree dove il suolo è più disponibile».



FRANCESCO DI GIACOMO
CTO DI SOLERTIX,
SOCIETÀ CONTROLLATA
DI FUTURASUN

bricazione e ingegnerizzazione dei dispositivi nella loro totalità) nel passaggio da prototipi di laboratorio alla produzione di moduli su grandi volumi.

Un'altra sfida è rappresentata dalla stabilità dei materiali in perovskite rispetto a fattori ambientali come umidità, temperatura e esposizione alla luce è una sfida significativa. Le celle solari in perovskite possono degradarsi quando sono esposte a queste condizioni per periodi prolungati. Inoltre le celle in perovskite ad alta efficienza mostrano a volte scarse prestazioni nei test di stabilità a lungo termine. Trovare l'equilibrio ottimale tra efficienza e stabilità è un obiettivo cruciale della ricerca. È emerso anche che le celle in perovskite di piccola superficie prodotte in laboratorio possono raggiungere un'elevata efficienza, ma questa può diminuire quando si passa ad applicazioni più grandi.

«Le perovskiti possono essere formate da una varietà di componenti chimici, il che rende la progettazione e l'ottimizzazione dei materiali una questione complicata» afferma Alberto Nadai di Qcells. «La maggiore sfida da affrontare, ma ci sono continui progressi nella ricerca di soluzioni a questa problematica, è rappresentata dalla stabilità a lungo termine. C'è una instabilità chimica. Le perovskiti, in particolare quelle basate su composti organici e alogeni, possono essere sensibili all'umidità, alla luce e alle temperature elevate, questo porta a una degradazione delle prestazioni nel tempo. C'è poi una instabilità termica in quanto le celle in perovskite possono subire cambiamenti di fase a diverse temperature, il che può influenzare le loro proprietà ottiche ed elettriche e, di conseguenza, l'efficienza complessiva».

In molte perovskiti inoltre gli ioni possono migrare attraverso il materiale, il che può alterare le proprietà elettriche e influenzare la stabilità nel tempo. La qualità delle interfacce tra la perovskite e le giunzioni con gli altri materiali nei quali è integrata può influenzare la stabilità e l'efficienza della cella solare. Altro aspetto importante saranno le regolamentazioni e le certificazioni in quanto ci sono alcune differenze nei requisiti normativi e nelle certificazioni necessarie per i moduli in perovskite.

«La tecnologia a perovskite deve ancora dimostrare di essere compatibile con una produzione su larga scala» spiega Francesco Di Giacomo di Solertix, «e che abbia una stabilità paragonabile a quelle dei pannelli tradizionali. Anche se ci sono stati notevoli passi avanti negli ultimi anni, come dimostrato dai primi pannelli tandem di OxfordPV o della cinese GCL, il superamento di queste due sfide rappresenta l'ultimo ostacolo all'arrivo sul mercato di questi moduli».

VERSO LA PRODUZIONE DI MASSA

Sono molti i segnali e gli investimenti che mostrano come la tecnologia delle celle solari a perovskite stia avanzando rapidamente, con esperimenti e attività in laboratorio, che puntano a risolvere i problemi di stabilità e a renderle una soluzione commercialmente valida nel prossimo futuro. Secondo uno studio di Precedence Research il mercato globale delle celle solari a perovskite dovrebbe passare ai quasi 200 milioni di

Oxford PV commercializza negli USA i primi moduli con la nuova tecnologia

Oxford PV ha annunciato lo scorso settembre di avere avviato la commercializzazione dei moduli tandem a perovskite con la prima spedizione a un cliente con sede negli Stati Uniti.

I pannelli da 72 celle, composti da celle solari in perovskite su silicio brevettate da Oxford PV, possono produrre fino al 20% di energia in più rispetto a un pannello in silicio standard.

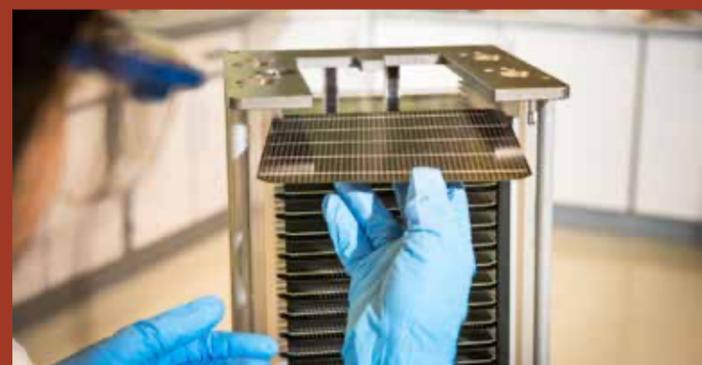
La società inglese ha sviluppato e lavorato per commercializzare questa tecnologia dal 2014, con un livello di efficienza del modulo in laboratorio del 26,9%.

I primi pannelli Oxford PV disponibili sul mercato hanno un'efficienza del modulo del 24,5%, offrendo prestazioni significativamente superiori alla tradizionale tecnologia al silicio. I pannelli sono alimentati da celle perovskite-on-silicon prodotte nella linea pilota su scala di megawatt di Oxford PV a Brandenburg an der Havel, in Germania.

«La commercializzazione di questa tecnologia è una svolta per l'indu-

stria energetica», commenta David Ward, CEO di Oxford PV.

«Le tecnologie ad alta efficienza sono il futuro dell'industria solare e questo futuro sta iniziando ora».





dollari di quest'anno ai quasi 2,5 miliardi di dollari del 2032.

«Allo stato attuale stiamo assistendo alla preparazione delle prime linee produttive su larga scala, con volumi di produzione fino ad un GW», afferma Francesco di Giacomo di Solertix. «I primi moduli di dimensioni standard, sia a perovskite che a tandem perovskite/silicio, sono installati e sono monitorati per capirne la stabilità e la resa energetica in applicazioni standard. Se questi test si dimostrassero affidabili si potrebbe iniziare una e vera produzione su larga scala».

Lo scorso agosto Qcells ha annunciato l'intenzione di completare la messa in servizio finale della sua linea di produzione pilota di celle tandem in perovskite da 40 MW nello stabilimento di Jincheon, in Corea del Sud e si è posta l'obiettivo di avviare la vera e propria produzione commerciale entro il 2026.

A inizio settembre Oxford PV ha annunciato che i suoi pannelli solari tandem perovskite-silicio di ultima generazione sono arrivati sul mercato. La società inglese ha infatti comunicato di aver consegnato i primi moduli da 72 celle con la nuova tecnologia ad un cliente statunitense.

«La tecnologia tandem», afferma Alberto Nadai di Qcells, «diventerà dominante nella produzione solare in tutto il mondo a partire dal 2030, sostituendo e assimilando l'industria del silicio. Dal 2025 vedremo i primi prodotti disponibili in alcuni mercati tra i quali quello americano e cinese, rappresenterà però un mercato di nicchia e pertanto ci sarà una convivenza di circa 5-6 anni con le attuali tecnologie TOPcon, HJT e back contact. La produzione su scala GW è prevista dal 2028».

La ricerca e le applicazioni delle celle solari in perovskite stanno continuamente avanzando, presentando un potenziale illimitato per lo sviluppo futuro. Con continui progressi tecnologici e riduzioni dei costi, le celle solari con questa nuova tecnologia sono destinate a giocare un ruolo significativo nel futuro mercato fotovoltaico.



Qcells: a ottobre al via una linea pilota da 40 MW

Qcells ha completato la messa in servizio finale della sua linea di produzione pilota di celle tandem in perovskite da 40 MW nello stabilimento di Jincheon, in Corea del Sud. Già a partire da ottobre di quest'anno sono iniziate le operazioni di prova della nuova linea produttiva. L'obiettivo è quello di avviare la vera e propria produzione commerciale entro il 2026. Le celle tandem in perovskite combinano più strati di materiali fotovoltaici per catturare uno spettro più ampio di luce solare e, rispetto alle normali celle al silicio, sono più economiche del 20-30% e 1,5 volte più efficienti.

Celle tandem silicio-perovskite: l'efficienza di conversione può raggiungere il 39,5%

Un gruppo di ricercatori dell'istituto tedesco Fraunhofer ISE ha stimato che l'efficienza di conversione delle celle solari tandem in silicio-perovskite può raggiungere il 39,5%.

L'analisi condotta dai ricercatori è pubblicata nel report "Analisi delle perdite delle celle solari tandem in silicio-perovskite: metodi di caratterizzazione e simulazione verso il potenziale di efficienza pratica", pubblicata a fine 2023.

Nello specifico lo studio utilizza diversi metodi di caratterizzazione per quantificare le perdite in una cella solare tandem e per analizzare le possibilità di ottimizzazione dell'efficienza.

I ricercatori hanno calcolato i miglioramenti dell'efficienza andando per gradi, dalla cella realizzata sperimentalmente con coefficiente di conversione del 26,7% a uno scenario idealizzato, raggiungendo un potenziale di efficienza pratica del 39,5%. Questo può essere considerato il limite superiore per l'architettura tandem silicio-perovskite.

"Questo lavoro fornisce una linea guida fondamentale per l'ottimizzazione della cella solare", si legge nelle conclusioni dello studio. "Inoltre, il potenziale di efficienza pratica determinato può servire come base per futuri studi di ricerca e sviluppo".



SMART PARTNER NUOVA RETE C&I

Vantaggi e servizi esclusivi dedicati:

- Supporto consulenziale dedicato per le PMI
- Transizione 5.0
- Supporto tecnico per progetti integrati
- Condizioni commerciali riservate
- Senza vincoli e costi per i Clienti VP Solar



Rete di aziende professionali e qualificate in grado di proporre alle PMI soluzioni energetiche e impianti affidabili e innovativi

VUOI SAPERNE DI PIÙ?

www.smartpartner.it



SERVIZI FINANZIARI EVOLUTI

- ▶ Acquisizioni crediti fiscali SUPERBONUS ed ECOBONUS
- ▶ Finanza agevolata

Per maggiori informazioni ▶▶▶ superbonus@vpsolar.com