



ENERGY TRANSITION DAYS

Bari 20 e 21 aprile 2023

LA TECNOLOGIA DELLE CELLE FOTOVOLTAICHE

Ing. Andrea LANZILOTTI



AREA SALES MANAGER
SUD ITALIA HANWHA QCELLS

Vicini al tuo **Futuro**



La cella fotovoltaica

La cella fotovoltaica, o come definita a volte cella solare, e' l'elemento principale nei sistemi di generazione da energia solare.

Si tratta di piccoli elementi, che posizionati e cablati in un certo modo, danno vita al modulo fotovoltaico.

Prodotta da un lingotto di silicio, si e' avuta in policristallino, fino all'attuale e piu' efficiente monocristallino.



Principali elementi di una cella fotovoltaica

La realizzazione di una cella fotovoltaica richiede la ricerca di un giusto compromesso tra vari elementi destinati ad incidere significativamente sulle performance quali:



- Numero e spessore delle Bus Bars (es da 2 BB a 12 BB): migliorano la distribuzione delle cariche (pieno sole) ma creano resistenza (scarsa luce) e diminuiscono la superficie captante (efficienza)
- Densita' della griglia elettrica (Fingers): favoriscono la raccolta delle cariche elettriche ma possono diminuire superficie captante.
- Colorazione della cella: piu' scura e' meglio e', ma crescono drasticamente tempi (e costi) di processo. Anche lo strato di antiriflesso influisce
- Tipologia di stringatura delle celle; densita' e spessore del ribbon: punti di contatto della stringatrice sulla cella, spessore ed ampiezza del ribbon utilizzato

Principale tecnologia presente sul mercato, la PERC

Cosa significa PERC?

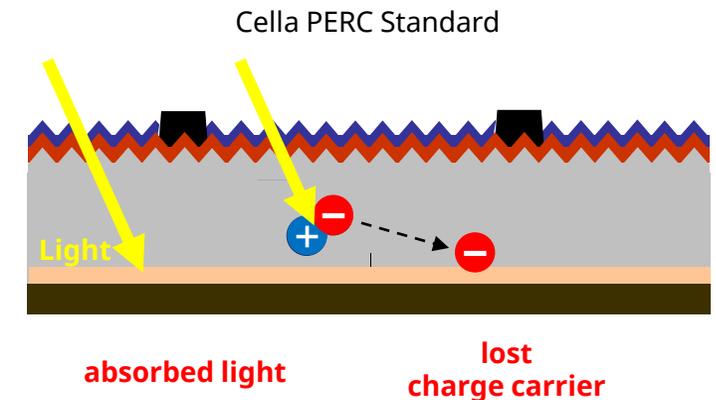
La sigla PERC indica Passivated Emitter and Rear Cell, ovvero emettitore passivato e cella posteriore.

Come e' composta?

La tecnologia PERC e' una delle piu' utilizzate da oltre tre decenni ed e' ad oggi presente sulla maggior parte dei moduli fotovoltaici presenti in commercio.

La sua struttura, partendo dalla parte superiore e andando fino al retro, composta nel seguente modo :

- Pasta d'argento serigrafata per formare i contatti
- Rivestimento antiriflesso
- Wafer di silicio diffusi con fosforo e drogati con boro che formano la giunzione P-N
- Campo superficie posteriore in alluminio (Al-BSF)
- Pasta di alluminio serigrafata



Vantaggi della tecnologia PERC

Il vantaggio principale della struttura delle celle PERC è che consente ai produttori di ottenere efficienze maggiori rispetto alle celle solari standard, che oramai hanno raggiunto i loro limiti fisici. Allo stato attuale della tecnologia, è possibile ottenere un guadagno assoluto fino all'1% in termini di efficienza.

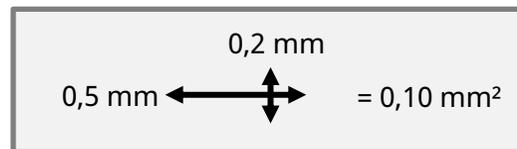
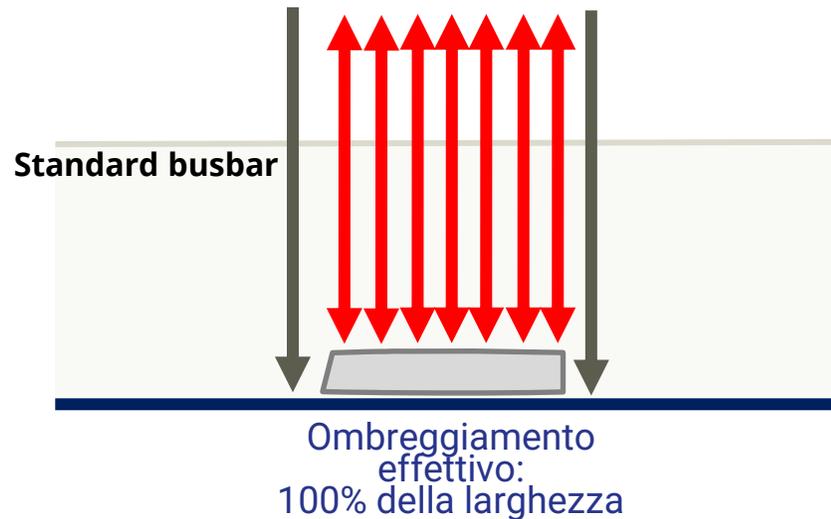
Sebbene ci siano più fasi nel processo di produzione, il guadagno in termini di efficienza consente una riduzione dei costi, anche a livello di sistema. Dobbiamo sempre tenere presente che il Sacro Graal è migliorare l'efficienza riducendo i costi allo stesso tempo. E il miglioramento dell'efficienza delle celle solari contribuisce alla riduzione dei costi.

Attualmente questa architettura di celle è considerata come una delle migliori potenzialità per la produzione di pannelli solari ad alta efficienza a prezzi competitivi.



Innovazione nel Sistema di interconnessione

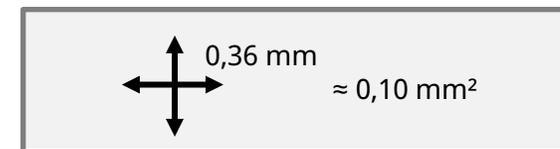
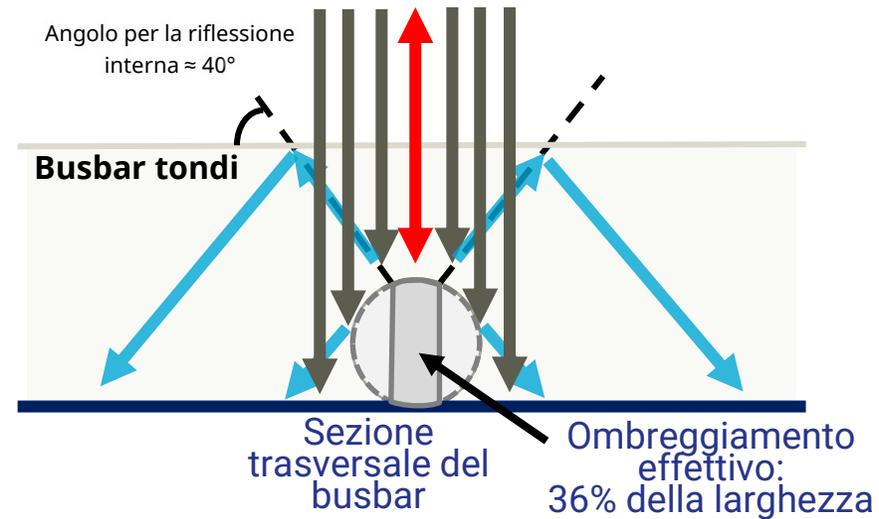
STANDARD



WIRE BUSBAR

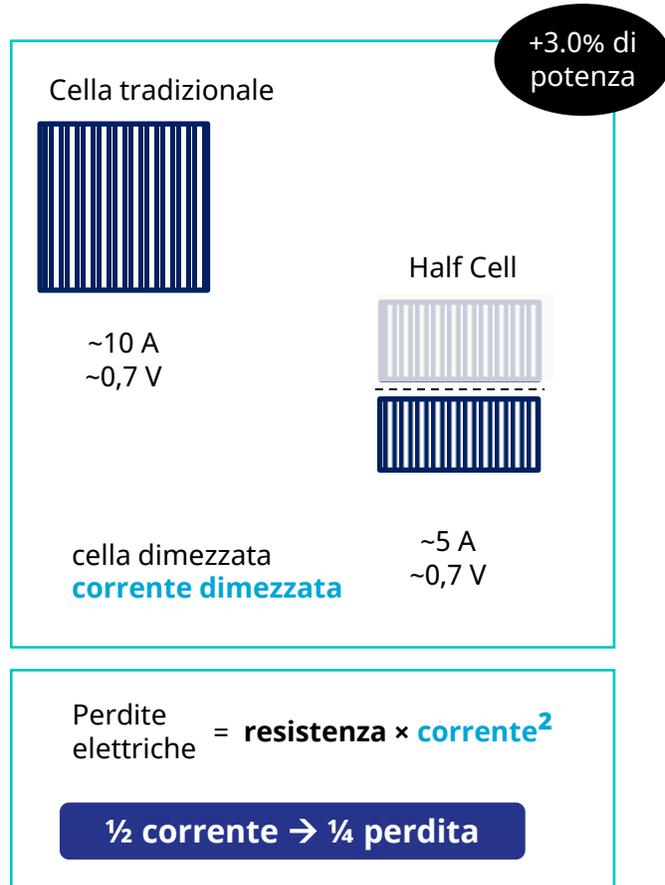
La larghezza ridotta e la riflessione interna riducono l'ombreggiamento sulla cella del 75%.

+2.0% di potenza



Stessa sezione conduttore = Stessa resistenza

La tecnologia Half Cut e i suoi benefici tecnologici



Il concept Half Cut Cell dimezza la corrente passante lasciando inalterato il valore di tensione: cio' consente di ridurre notevolmente le perdite elettriche.

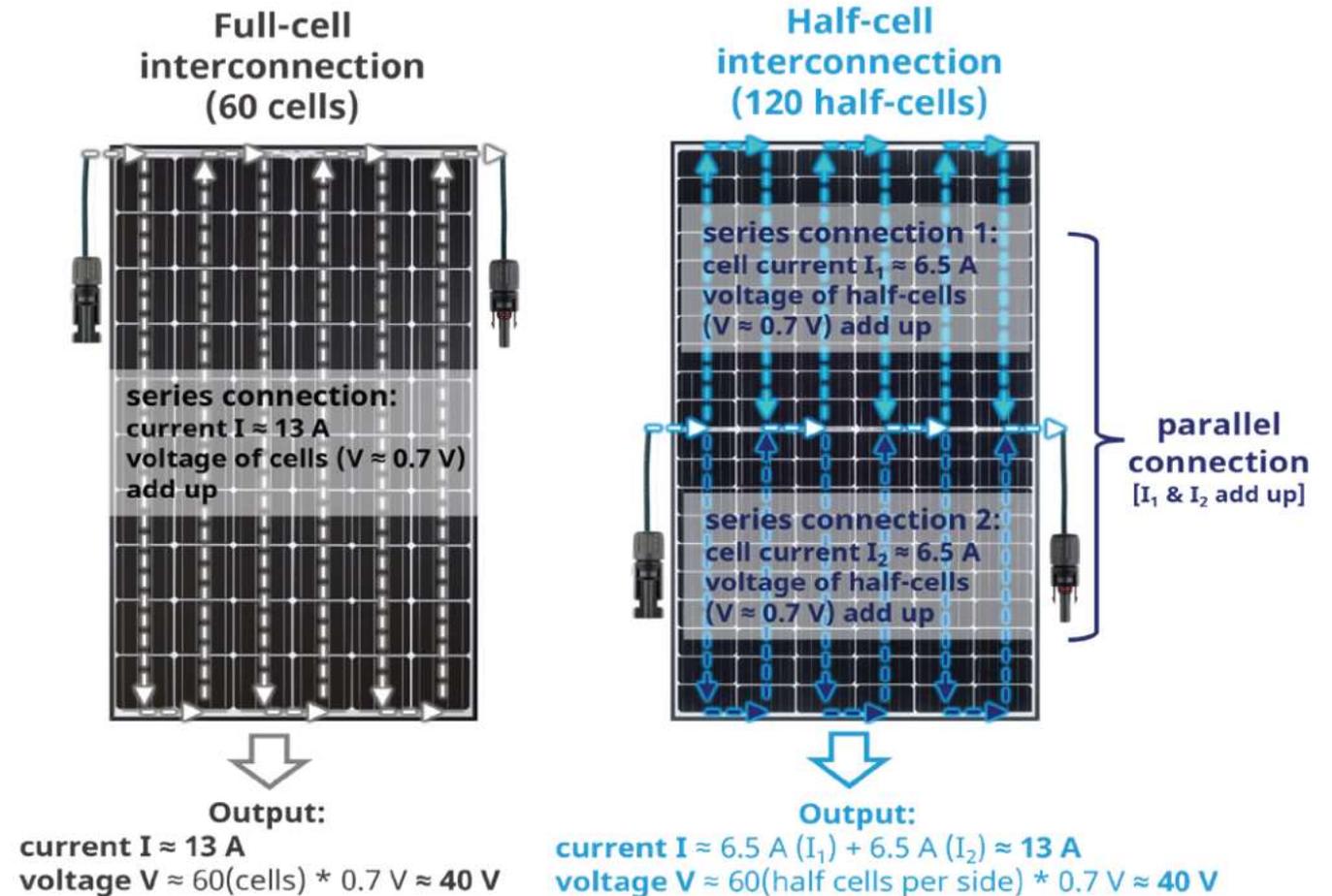
Il sistema multi bus bars con sezione tonda consente una piu' efficace raccolta e distribuzione delle cariche elettriche pur riducendo nel complesso la porzione di superficie captante occupata dalla rete di contatti.

La migliore distribuzione delle cariche ha enormi vantaggi anche nel coefficiente di dispersione termico: infatti molta meno corrente viene dispersa (0,37 %/K contro 0,40 a Pmax)

La tecnologia Half Cut e i suoi benefici tecnologici

Migliori performance dovute a:

1. Prestazioni eccellenti in situazioni di scarsa illuminazione
2. Miglior resistenza all'ombreggiamento
3. La tecnologia a mezza cella è più durevole per prestazioni di lunga durata, difatti la tecnologia HC è meno suscettibile alle microcricche a causa delle dimensioni ridotte delle celle solari
4. Funziona meglio in condizioni di calore elevato
5. Nuove scatole di giunzione su tre punti

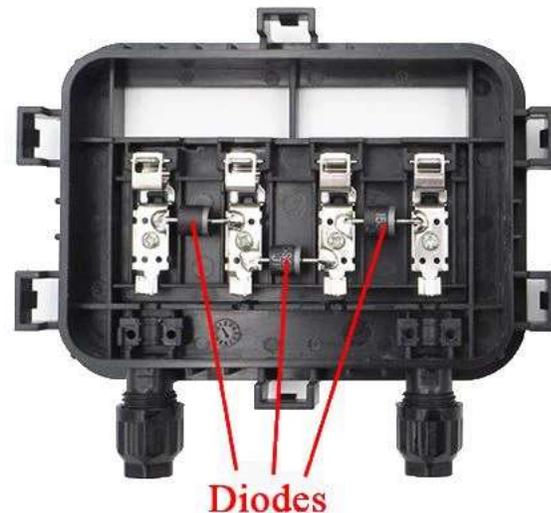


Nuovo Sistema di Junction BOX

Il nuovo sistema di interconnessione tra moduli suddiviso in tre scatole di giunzione ha portato benefici, principalmente per la dissipazione del calore, che soprattutto per nei mesi centrali dell'anno generavano delle grosse perdite.

Inoltre l'innovativo sistema permette di cablare l'impianto in maniera differente riducendo in maniera drastica il numero di cavi e le perdite che ne derivano.

VECCHIA SOLUZIONE



NUOVA SOLUZIONE

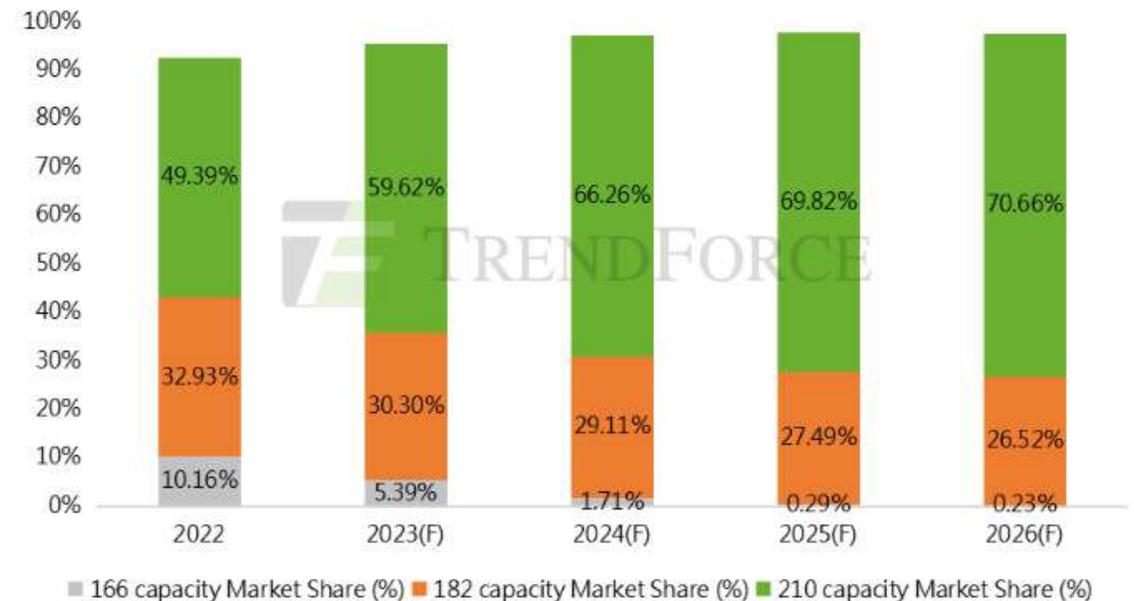


Formati delle celle fotovoltaiche

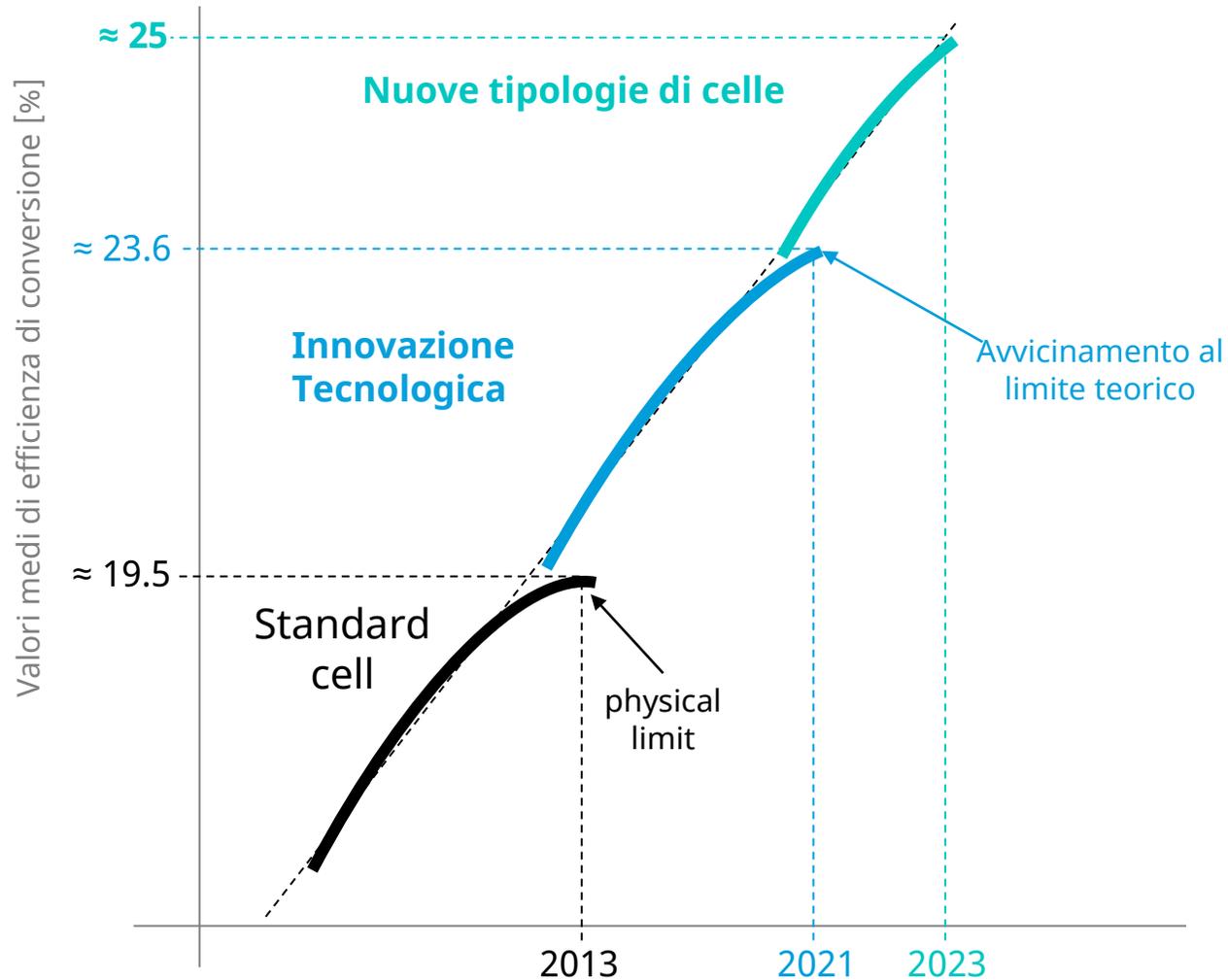
M2	M4	M6	M9	M10	M12	G12
L, 156,75 millimetri	L, 161,7 millimetri	L, 166 millimetri	L, 192 millimetri	L, 200 millimetri	L, 210 millimetri	L, 158,75 millimetri
D, 210 millimetri	D, 211 millimetri	D, 223 millimetri	D, 270 millimetri	D, 281 millimetri	D, 295 millimetri	D, 223 millimetri

Nel Corso degli ultimi anni, a partire dal 2019, si e' assistito ad un rapido sviluppo e cambiamento nel format delle celle fotovoltaiche. Da un formato consolidato di celle formato M2 si e' passati all'attuale M12 e G12

Figure: Market share of modules (Unit: %)



Oltrepassare le barriere della tecnologia PERC



La cella PERC ha oramai approcciato il valore di limite teorico della tecnologia basata su wafer p-type. Se da un lato la produzione di tale tecnologia subirà la phase out tecnologico, dall'altro, si preparano linee, materiali e processi per gli sviluppi tecnologici successivi.

Tecnologia HJT

Che cos'è La Tecnologia HJT?

Le celle solari HJT hanno un design della struttura bifacciale in grado di assorbire la luce incidente e la luce diffusa da entrambi i lati, utilizzando un PECVD, si forma uno strato di passivazione intrinseco di silicio molto sottile e uno strato drogato di silicio di tipo P sul lato superiore del N di silicio monocristallino di tipo wafer dopo la testurizzazione e la pulizia della superficie, quindi sull'altro lato viene depositato uno strato passivo di silicio intrinseco molto sottile e uno strato drogato di silicio di tipo N.

Dopo la deposizione di pile di strati di silicio amorfo, viene applicata la tecnologia di rivestimento sputtering magnetron PVD per depositare film conduttivo di ossido trasparente (TCO) e pila di metallo su entrambi i lati delle celle.

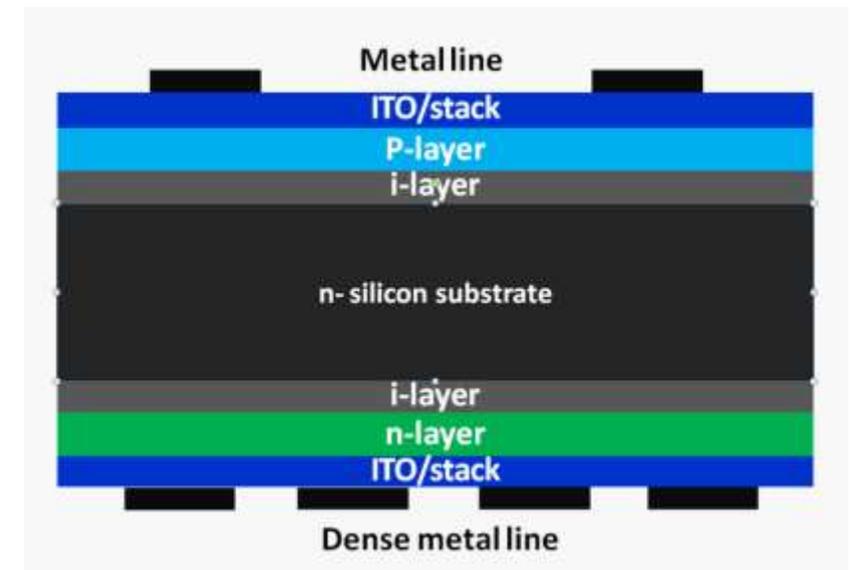
Infine, le griglie metalliche su entrambi i lati sono formate dalla nostra innovativa tecnologia di metallizzazione.

Quali vantaggi?

La tecnologia HJT combina i migliori vantaggi del silicio cristallino di tipo N e del film sottile, consentendo:

1. l'efficienza della cella è superiore al 24% e l'efficienza del pannello è superiore al 22%;
2. Il coefficiente di temperatura più basso, è solo -0,24%;
3. C'è un tasso di degrado annuale molto basso, pari solo allo 0,4%;
4. Non ci sono effetti da LID e PID;

Questa tecnologia dimostra la capacità di raggiungere >23% di efficienza delle celle solari



Tecnologia IBC

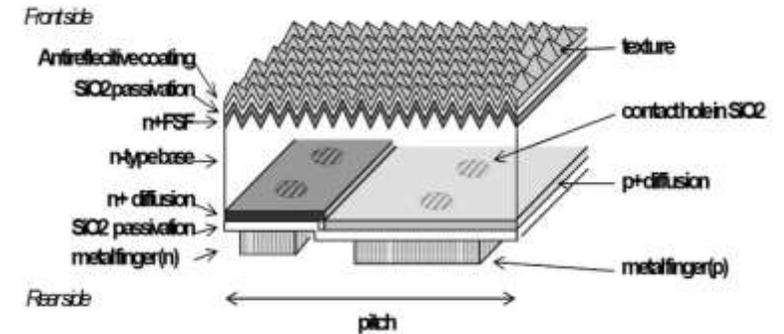
Che Cos'è La Tecnologia IBC?

La cella IBC (Interdigitated Back Contact) è una sorta di giunzione posteriore con elettrodi metallici positivi e negativi disposti a forma di dito biforcuto sulla superficie retroilluminata della cella.

La struttura della cella solare a contatto posteriore, la sua giunzione P-N si trova nella parte posteriore della cella, la corrente appartiene al modello di trasmissione bidimensionale.

Quali Vantaggi?

1. La parte anteriore della cella non ha schermatura della linea di gate, che può eliminare la perdita di corrente di ombreggiatura dell'elettrodo metallico e massimizzare l'utilizzo dei fotoni incidenti. Rispetto alla cella solare convenzionale, la corrente di cortocircuito può essere aumentata di circa il 7%.
2. Gli elettrodi positivo e negativo si trovano sul retro della cella, quindi il problema della schermatura della linea di griglia non è necessario. La proporzione della linea della griglia può essere opportunamente ampliata per ridurre la resistenza in serie e migliorare la FF.
3. La passivazione della superficie e la struttura di intrappolamento della superficie possono essere ottimizzate per ridurre il tasso di ricombinazione della superficie anteriore e la riflessione della superficie, migliorando così VOC e JSC, poiché il lato anteriore non deve considerare fattori come l'ombreggiatura della linea di gate e il contatto con il metallo.



Tecnologia Shingled

Che Cos'è La Tecnologia Shingled?

Tra le tecnologie e metodi di produzione di ultima generazione utilizzati per aumentare l'efficienza dei moduli fotovoltaici, troviamo la "Tecnologia Shingled", che consiste in un metodo di produzione dei moduli fotovoltaici con celle a bordi sovrapposti.

Il termine "shingle" viene letteralmente tradotto con "scandole", intendendo le scaglie o assicelle di legno che venivano usate, già dall'antichità, per coprire i tetti, e che oggi, seppur realizzate con altri materiali, richiamano la struttura delle tegole canadesi. Infatti, il concetto alla base delle *shingled solar cells* è lo stesso: come avviene con le tegole, queste celle vengono connesse l'una sull'altra in leggera sovrapposizione, evitando quindi di avere spazi tra le celle e consentendo un migliore utilizzo della superficie del modulo.



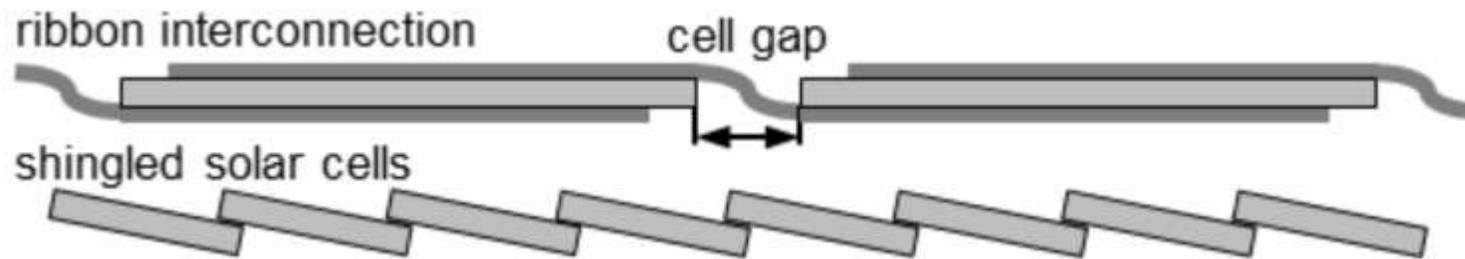
5BB Cell Module



Shingling Module

Vantaggi della tecnologia Shingled

L'interconnessione delle celle elettriche dei comuni moduli industriali avviene utilizzando dei nastri ("ribbon") che collegano il contatto "n" di una cella con il contatto "p" della cella successiva. Invece, con il metodo Shingled, si omettono i nastri e si collegano direttamente le celle solari con degli adesivi elettroconduttivi, ponendole leggermente sovrapposte. In questo modo, l'efficienza del modulo aumenta poiché l'area di spaziatura delle celle viene eliminata, con il risultato di una quota maggiore di area di cella attiva all'interno del modulo.



In poche parole la tecnologia Shingled consente di inserire un numero maggiore di celle sul modulo fotovoltaico, e di conseguenza quasi il 100% della superficie del pannello è coperta da celle solari, garantendo un maggiore rendimento energetico e un'elevata efficienza

Tecnologia N-Type



La tecnologia N-Type può definirsi come un aggiornamento delle linee mono PERC già presenti sul mercato. Andando nel dettaglio, nella tecnologia TOPcon viene sfruttato l'uso di contatti selettivi per i portatori di carica ed è richiesta la presenza di uno strato di ossidi tra i contatti metallici e il wafer di silicio. In questo modo si vanno a diminuire le perdite da ricombinazione.

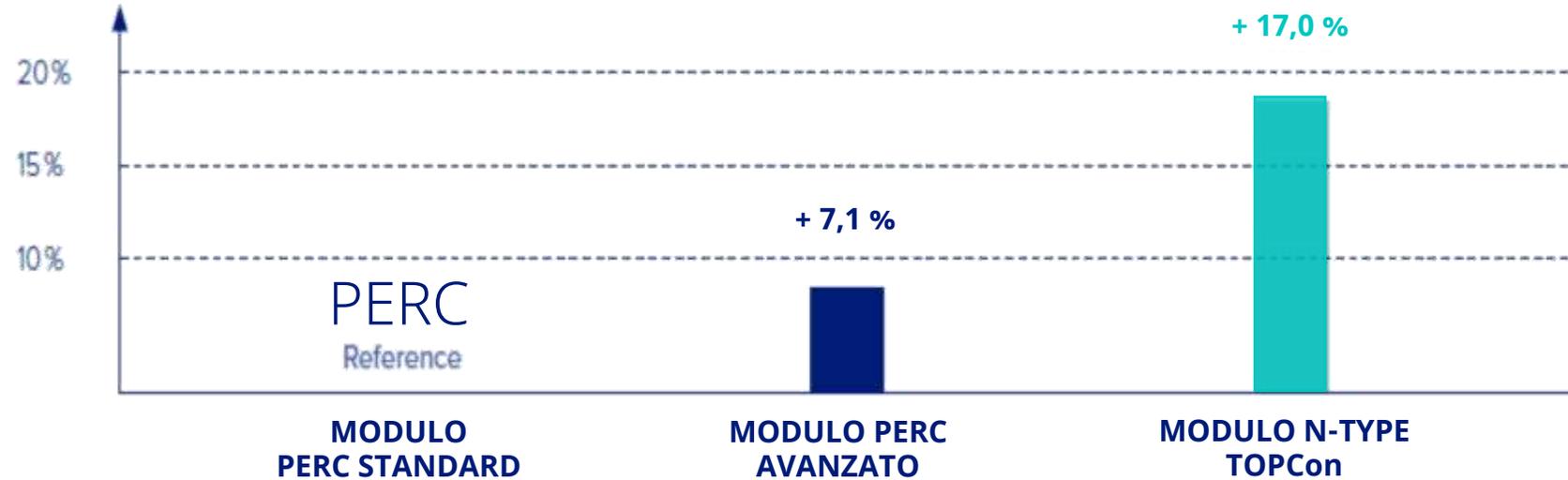
Vantaggi della tecnologia N-Type

1. Le celle solari N-Type sono un'opzione allettante in quanto le aziende desiderano tecnologie di celle solari alternative con bassi costi di produzione, procedure meno complicate e maggiore potenziale di efficienza.
2. Le celle solari TOPCon sono dotate di silicio di tipo N, che offre sia efficienza che stabilità, a differenza di altre tecnologie nel settore dell'energia solare con problemi come l'elevata degradazione di LID e LeTID.
3. Diversi studi hanno rilevato che il limite superiore dell'efficienza teorica per le celle solari TOPCon è compreso tra il 28.2 e il 28.7%. Questa efficienza è di gran lunga maggiore rispetto alle celle PERC, che si attestano al 24.5%. E una maggiore efficienza porta a di più energia raccolta per unità di superficie.
4. Come affermato in precedenza, TOPCon è molto simile a una versione modificata delle celle PERC

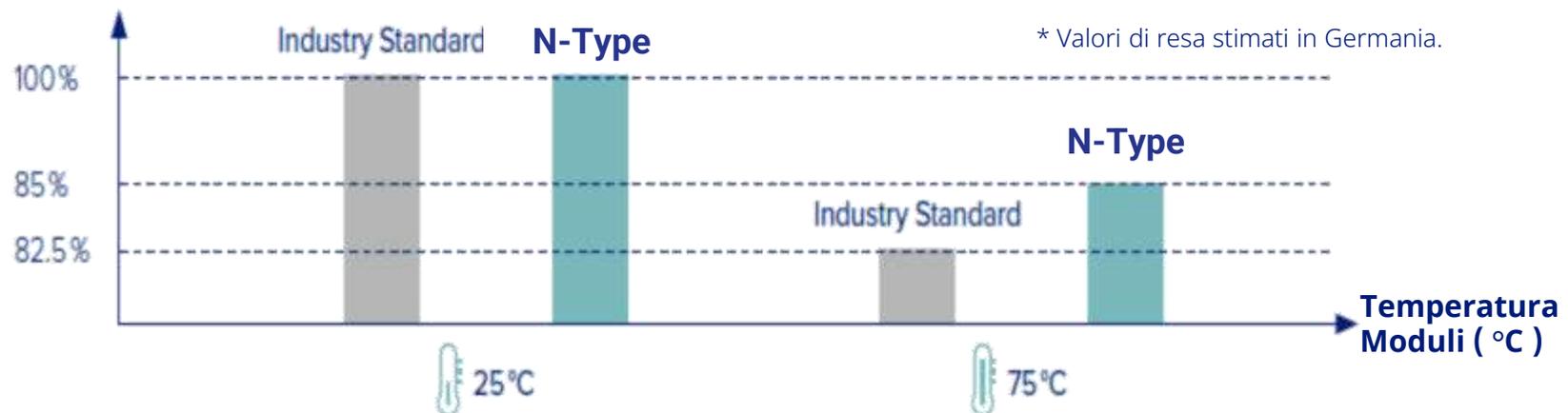
Performance e test della tecnologia N-Type

Performance attesa %

* Valori comparativi di resa ottenuti per installazione di circa 8 Kwp di moduli a San Francisco (USA).



Performance

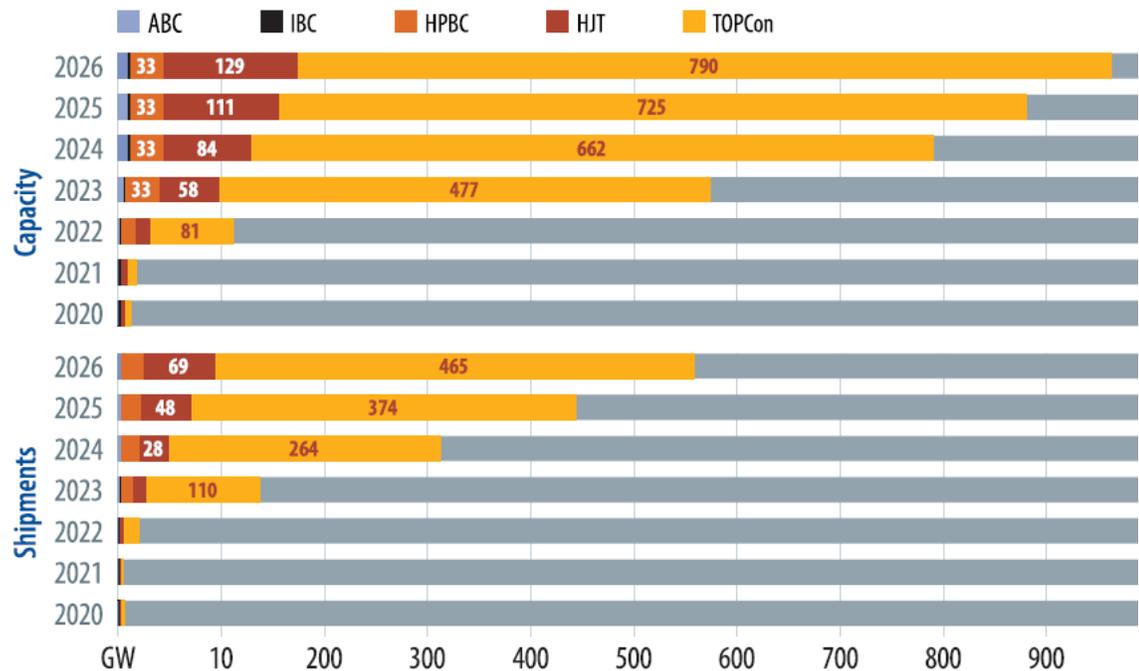


Trend di crescita e tecnologie attese per il mercato

Probabilmente la tecnologia TOPCon supererà quella PERC nel 2024, phase out della tecnologia PERC accelerato dal vantaggio in merito all'efficienza, portando potenzialmente alle spedizioni dell'n-type intorno al 60%

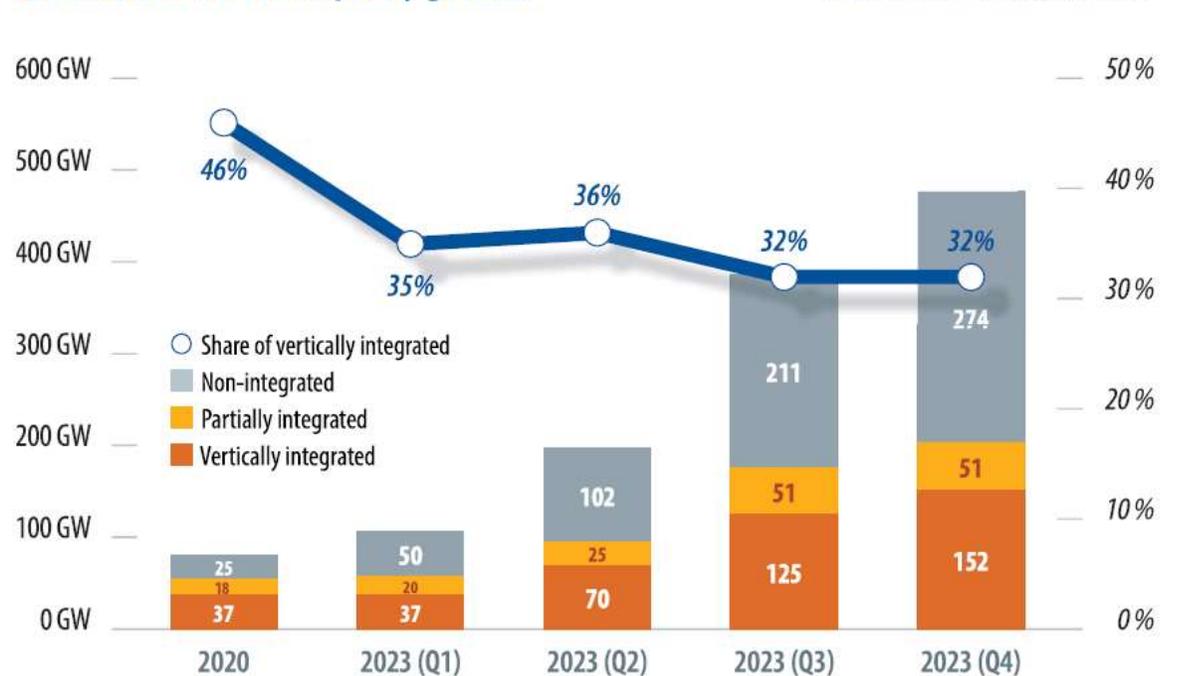
Forecast for high-efficiency cell capacity and production

Source: InfoLink "New Technology Market Report"

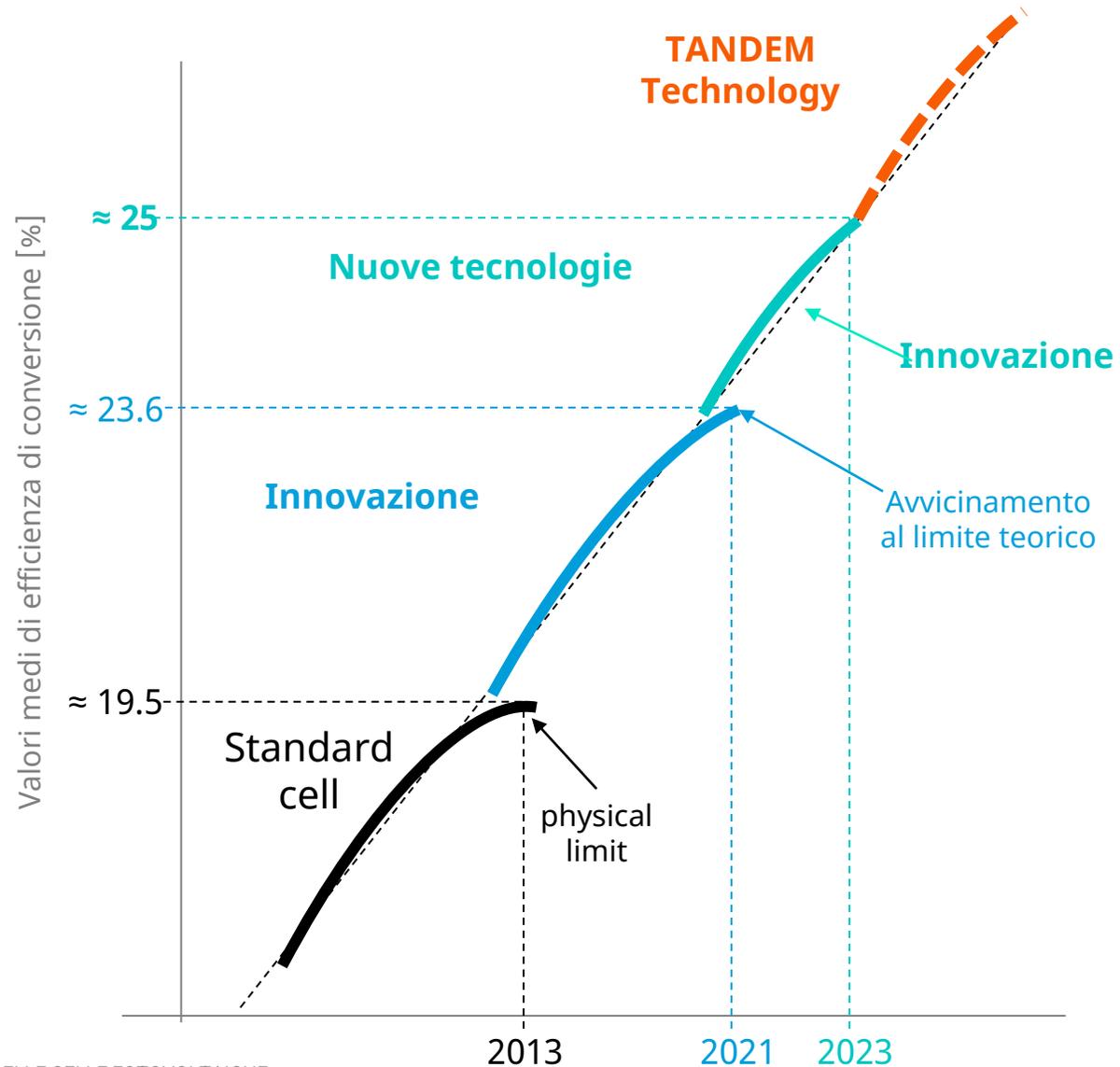


Estimate for TOPCon capacity growth

Source: InfoLink "New Technology Market Report"



Il futuro delle celle fotovoltaiche, tra sfide e nuovi limiti



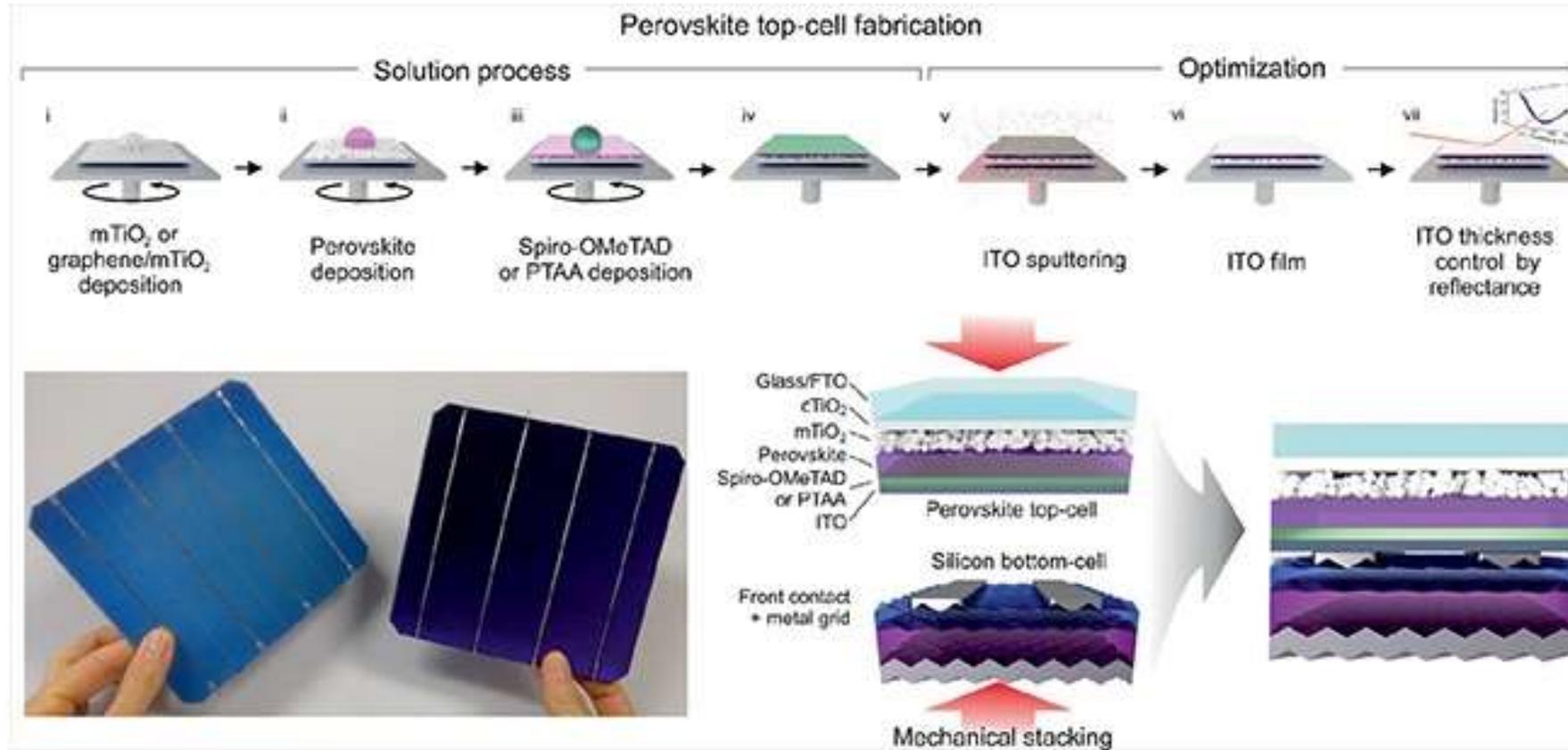
La tecnologia Tandem, l'unione tra silicio e perovskite

Dallo [studio](#) “Mechanically Stacked, Two-Terminal Graphene-Based Perovskite/Silicon Tandem Solar Cell with Efficiency over 26%”, pubblicato su *Joule* da un team di ricercatori italiani da ricercatori Enea del Laboratorio di Tecnologie Fotovoltaiche, Università di Roma “Tor Vergata” (con il centro CHOSE), l'IIT – Istituto Italiano di Tecnologia (con Graphene Labs e il suo spin-off BeDimensional), illustra un'innovativa cella solare “tandem” in perovskite e silicio con un'efficienza record superiore al 26%.

La nuova cella made in Italy è composta da due celle solari accoppiate meccanicamente una sull'altra in modo da lavorare in tandem e i ricercatori evidenziano che «La cella frontale, a base di perovskite, opportunamente dimensionata, converte bene la luce blu e verde dello spettro solare, lasciando passare la luce solare rossa ed infrarossa verso la cella posteriore realizzata in silicio».

Mario Tucci, responsabile del Laboratorio Tecnologie Fotovoltaiche dell'Enea, sottolinea che «La combinazione dei due materiali massimizza l'assorbimento dei raggi solari e produce un'elevata foto-tensione, pari alla somma delle tensioni generate dalle due singole celle, producendo in questo modo una maggiore efficienza rispetto ad una singola cella solare. Due elementi chiave nella realizzazione della cella tandem hanno permesso di ottenere alta efficienza: il grafene ha migliorato le prestazioni nella cella in perovskite, mentre l'eterogiunzione con film amorfi nella cella posteriore in silicio ha consentito di aumentarne la tensione. Finora è stata ottenuta l'efficienza record del 26,3%, ma l'obiettivo è di superare il 30%».

La tecnologia Tandem

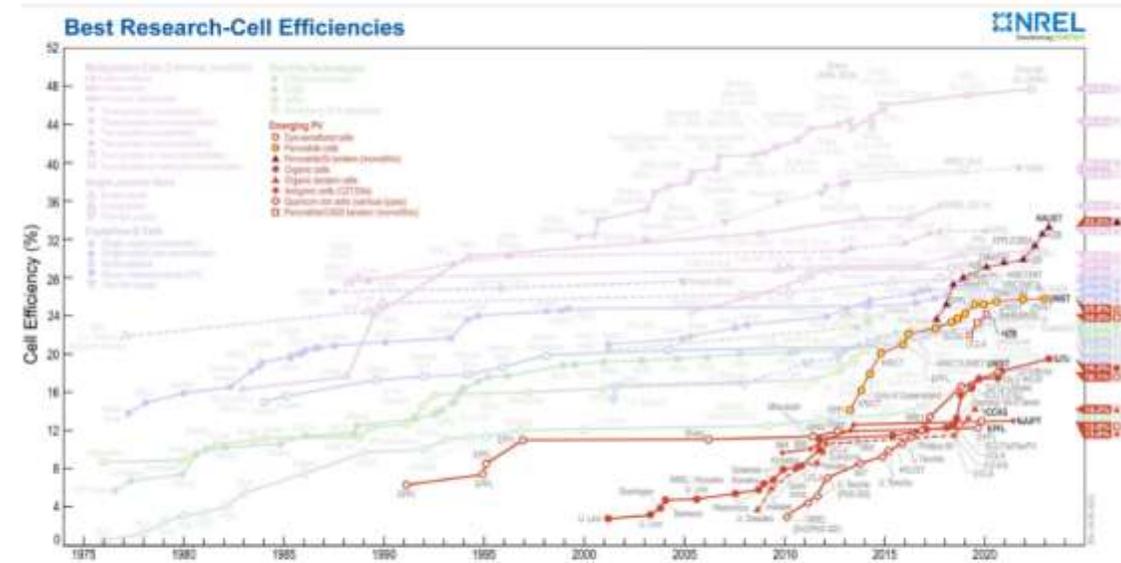


Agencia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

La tecnologia Tandem

I ricercatori del laboratorio fotovoltaico della **King Abdullah University of Science and Technology**, in Arabia Saudita, hanno prodotto celle solari tandem in silicio e perovskite con un'efficienza di conversione **pari al 33,2%**. Si tratta dell'efficienza più elevata per una cella tandem. Essa supera il record precedente del 32,5%, raggiunto dal centro di ricerca Helmholtz Zentrum Berlin.

Attualmente il team dell'università sta esplorando metodi scalabili che consentiranno di produrre celle tandem in silicio e perovskite **su scala industriale** con aree che superano i 240 centimetri quadrati. Inoltre sta lavorando a strategie che potrebbero consentire di ottenere **dispositivi tandem stabili** che rispondano ai protocolli di stabilità del mercato.



GRAZIE