

Tecnologia delle celle fotovoltaiche spiegata

Moduli fotovoltaici



Creating a Powerful Future



Funzionalità e struttura di una cella solare

La funzione di base di una cella solare è semplice: la luce solare viene convertita in energia elettrica. Il processo può essere spiegato più dettagliatamente come segue.

Le celle solari sono solitamente costituite da diversi strati di silicio. Il silicio è un materiale solido con una struttura cristallina delle particelle più piccole, motivo per cui viene anche definito modulo solare monocristallino o policristallino. Gli strati di silicio vengono inoltre contaminati intenzionalmente con sostanze estranee come fosforo o boro. Ciò comporta un surplus o un deficit di elettroni nei diversi strati.

La luce solare è composta da fotoni. Quando la luce solare colpisce la cella, i fotoni trasferiscono energia agli elettroni e li attivano. Questi iniziano a muoversi tra gli

strati e a equalizzare le differenze di carica. Questo crea una tensione e quindi una corrente elettrica. Questo processo è noto come effetto fotoelettrico. La struttura della cella può variare a seconda della tecnologia. Le tecnologie più comuni sul mercato sono la tecnologia di tipo P e quella di tipo N.

Lo sapevi che ...

Anche una cella solare è composta da diversi strati per catturare la luce solare "completa". Questo perché la luce solare è composta da colori spettrali (rosso, giallo, verde, blu e viola). Questi colori hanno lunghezze d'onda diverse. Ciò significa che quando la luce colpisce la superficie della cella, raggiunge strati di diversa profondità all'interno della cella.

Tecnologie delle celle fotovoltaiche

Celle monocristalline

Nell'industria solare odierna vengono prodotte quasi esclusivamente celle solari monocristalline. Queste si sono dimostrate efficaci in termini di efficienza, aspetto e funzionalità e si sono affermate sul mercato. Anche Solar Fabrik utilizza esclusivamente celle solari monocristalline. Le celle monocristalline vengono combinate con altre tecnologie quali celle di tipo P, di tipo N e bifacciali. Monocristallino significa che la cella è costituita da un unico cristallo di silicio. Questa è la differenza rispetto alle celle solari policristalline, che sono costituite da diversi cristalli di silicio.

Vantaggi del monocristallino

Le celle solari monocristalline hanno un alto grado di efficienza grazie alla loro struttura cellulare. Ciò significa che possono convertire più energia solare in energia elettrica in relazione alla quantità di luce solare che ricevono rispetto ad altre celle.

Inoltre, le celle solari monocristalline sono molto resistenti e robuste, poiché sono costituite da un unico cristallo e non presentano punti di rottura.

Le semi celle solari monocristalline soddisfano anche alle alte temperature, poiché hanno un basso calo di prestazioni alle alte temperature.

Celle bifacciali

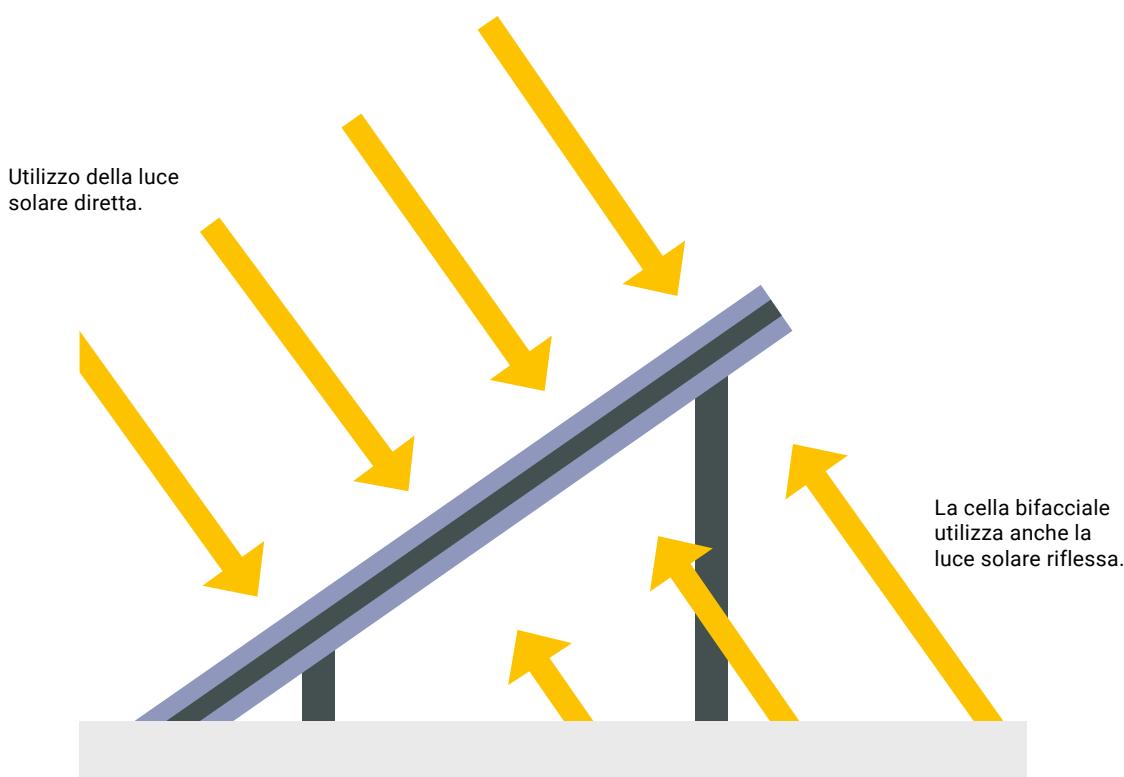
Anche le celle monocristalline possono essere bifacciali. Le celle bifacciali, note anche come celle a doppia faccia, assorbono la luce riflessa sul retro della cella oltre alla luce solare diretta. Questa riflettività è nota anche come effetto albedo. In combinazione con un vetro posteriore invece di una pellicola posteriore, le celle bifacciali stanno diventando sempre più popolari. Il doppio vetro sulla parte anteriore e posteriore del modulo consente alla luce solare di passare tra le celle e di essere riflessa dal suolo alla parte inferiore della cella. Inoltre, anche la luce che colpisce il suolo accanto al modulo può essere assorbita sul retro della cella.

Vantaggi del bifacial

Questa tecnologia è ideale per tetti piani e impianti a terra, consentendo di sfruttare in modo ottimale la produzione di energia su entrambi i lati. I moduli Solar Fabrik possono generare rendimenti fino al 30% superiori.

Le celle bifacciali sono anche in grado di assorbire meglio la luce diffusa e la luce solare al crepuscolo. Al mattino e alla sera, l'angolo di incidenza della luce è più piatto, il che porta a un riflesso ottimale sul retro della cella.

Inoltre, le celle bifacciali hanno una durata di vita più lunga in quanto sono protette in modo ottimale dal doppio vetro.



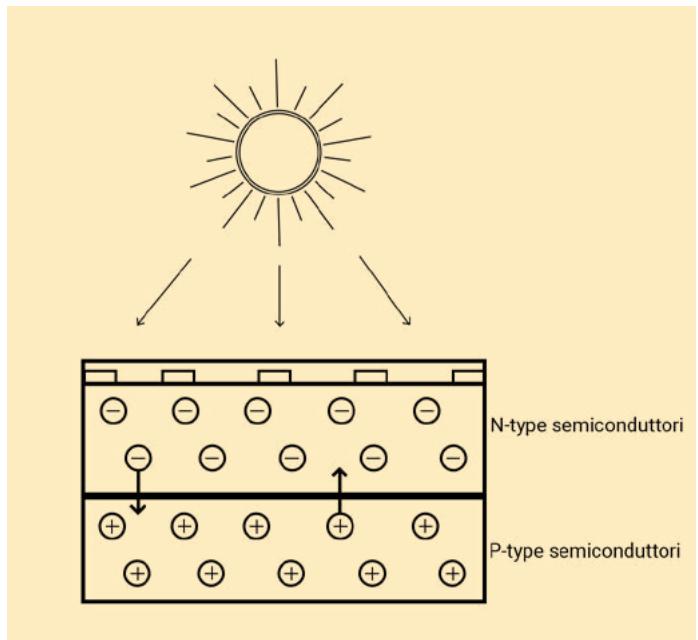
Cella di tipo P -> PERC

Il termine "PERC" sta per Passivated Emitter and Rear Cell. Questa tecnologia utilizza il processo di passivazione posteriore. Ciò significa che sul retro della cella è presente uno strato aggiuntivo. Qui la luce traslucida viene parzialmente riflessa nella cella e quindi non va completamente persa. Tuttavia, non tutte le celle con tecnologia di tipo P sono celle PERC. Le celle di tipo P di Solar Fabrik combinano entrambe le caratteristiche delle celle.

Una cella di tipo P è composta da due strati di silicio. L'aggiunta di additivi determina il drogaggio degli strati. Il numero di elettroni degli additivi determina il drogaggio dello strato.

In una cella di tipo P, lo strato inferiore è dopato con boro. Poiché il boro ha un elettrone in meno rispetto al silicio, lo strato viene dopato positivamente. Da qui deriva il nome della tecnologia: la "P" sta per positivo.

Lo strato superiore è costituito da silicio puro e, in combinazione con lo strato di base positivo, è dopato negativamente. Questa differenza di carica viene compensata dagli elettroni quando viene colpita dalla luce e si genera corrente elettrica (vedi funzione della cella).

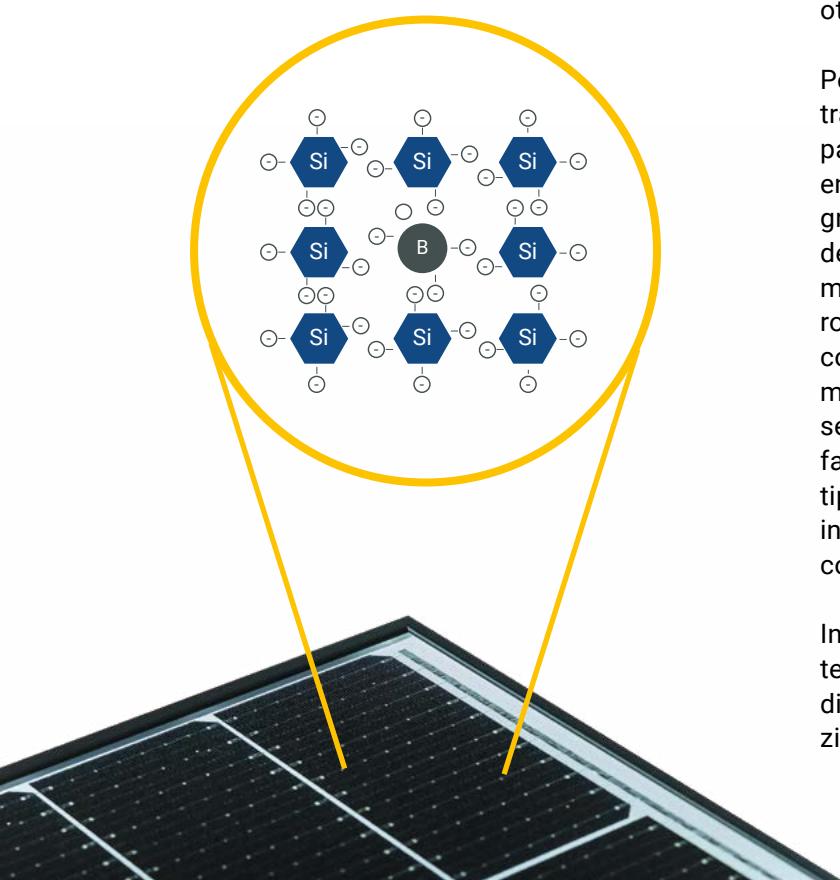


Vantaggi del tipo P

La tecnologia delle celle PERC di tipo P offre anche alcuni vantaggi. Il vantaggio principale è che le ore di sole al mattino e alla sera possono essere sfruttate in modo ottimale.

Poiché la luce solare è composta da diversi colori spettrali e quindi anche da diverse lunghezze d'onda, una parte della luce può attraversare la cella senza generare energia. La cella PERC contrasta questo problema grazie alla pellicola sul retro. Rispetto agli altri colori dello spettro, la luce rossa ha una lunghezza d'onda molto lunga. Attraverso la pellicola sul retro, la luce rossa viene riflessa nuovamente nella cella e può quindi contribuire alla produzione di energia elettrica. Poiché al mattino e alla sera, durante il crepuscolo, è spesso presente molta luce rossa, questa tecnologia cellulare può fare la differenza. Per questo motivo, la tecnologia di tipo P è ottimale per i tetti con orientamento est-ovest, in modo da sfruttare al massimo il potenziale energetico.

Inoltre, i costi di produzione e i costi associati a questa tecnologia sono relativamente bassi. I moduli con celle di tipo P sono quindi particolarmente adatti per applicazioni residenziali e commerciali con budget limitato.

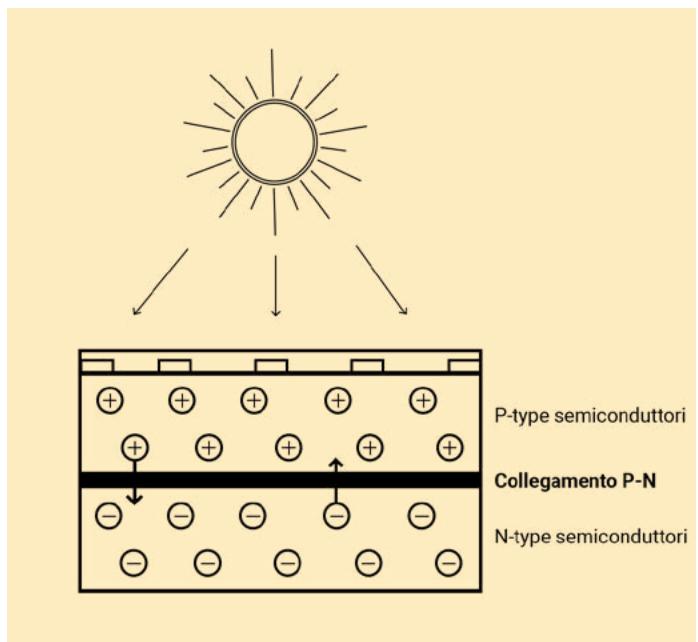


Cella di tipo N -> TOPCon

Il termine "TOPCon" significa Tunnel Oxide Passivated Contact. Come descrive il nome, lo strato di silicio non è in contatto diretto con i contatti di collegamento. In questo modo si impedisce la ricombinazione dei portatori di carica, evitando perdite di potenza. Sul retro della cella solare si trovano uno strato di ossido tunnel e un sottile strato di ossido di silicio a conducibilità negativa. Questo strato passiva la superficie, ma consente una bassa resistenza al flusso di corrente. Anche in questo caso è importante sottolineare che non tutte le celle con tecnologia di tipo N sono celle TOPCon.

Come la cella di tipo P, anche una cella di tipo N è composta da due strati di silicio. La differenza sta nella disposizione degli strati. Nella cella di tipo N, lo strato inferiore è dopato negativamente con l'aggiunta di fosforo, poiché il fosforo ha un elettrone in più rispetto al silicio.

Anche in questo caso lo strato superiore è costituito da silicio puro e, a causa della differenza di carica che ne deriva, assume un droggaggio positivo. Quando viene colpito dalla luce, gli elettroni vengono attivati e si muovono tra gli strati. Tra gli strati si crea una giunzione P-N. Anche in questo caso si genera corrente elettrica.



Vantaggi del tipo N

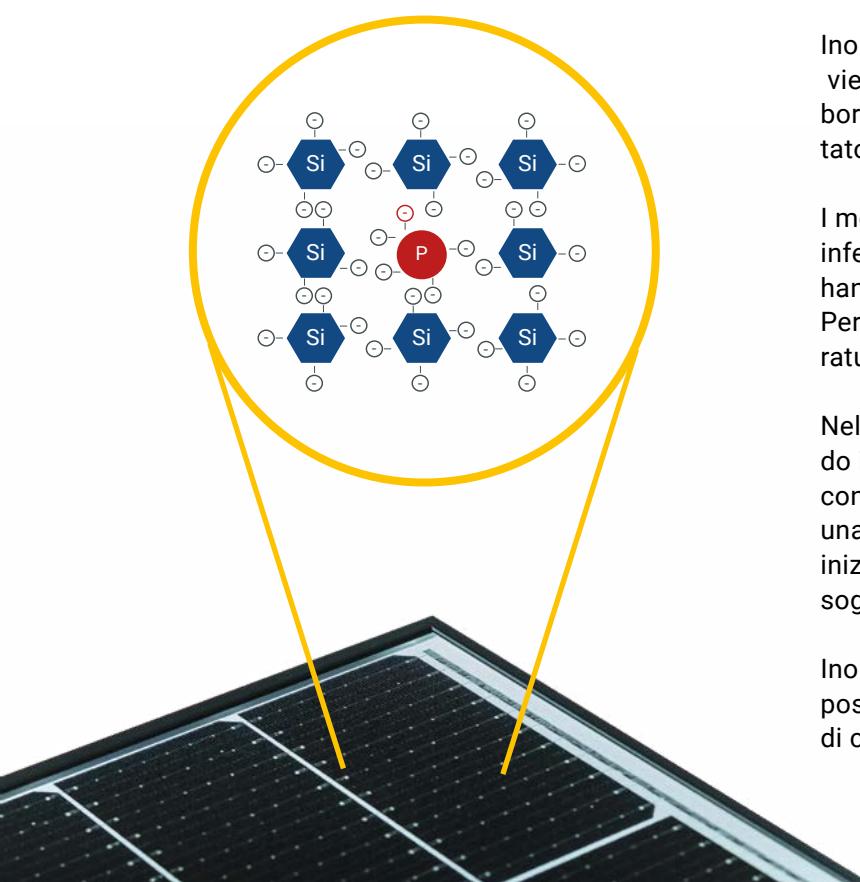
Grazie alla disposizione degli strati di tipo N, è inoltre possibile effettuare una separazione di carica sul retro della cella, ottenendo così un rendimento più elevato.

Inoltre, grazie al droggaggio con fosforo, viene eliminato il rischio di formazione di complessi boro-ossigeno. È possibile garantire una durata dei portatori superiore rispetto alla tecnologia di tipo P.

I moduli di tipo N hanno un coefficiente di temperatura inferiore. Ciò significa che le temperature più elevate hanno un effetto minore sulle prestazioni dei moduli. Pertanto, i moduli sono ideali per le regioni con temperature elevate.

Nel caso delle celle di tipo P, si parla spesso di degrado indotto dalla luce (PID) quando i moduli entrano in contatto con il sole per la prima volta. Ciò è dovuto a una reazione chimica nella cella e porta a un degrado iniziale delle prestazioni. I moduli di tipo N non sono soggetti al PID.

Inoltre, le linee di produzione esistenti per le celle PERC possono essere facilmente aggiornate per la produzione di celle TOPCon.



Celle Back Contact

I moduli solari Back Contact hanno una struttura cellulare speciale, in cui tutti i conduttori della cella sono collegati sul lato posteriore. A differenza dei moduli tradizionali, in cui i conduttori di corrente (busbar) sono visibili anche sul lato anteriore.

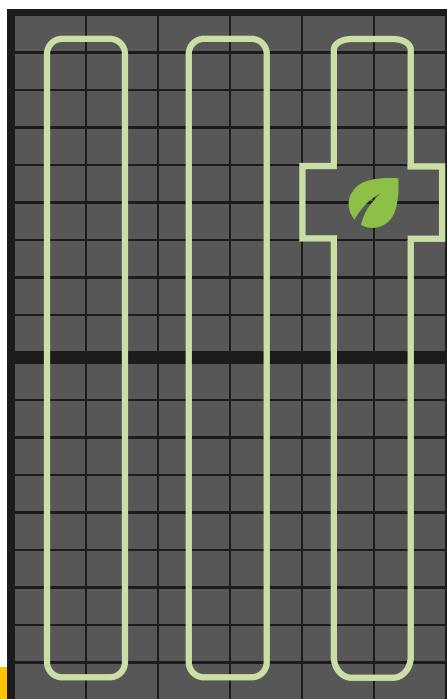
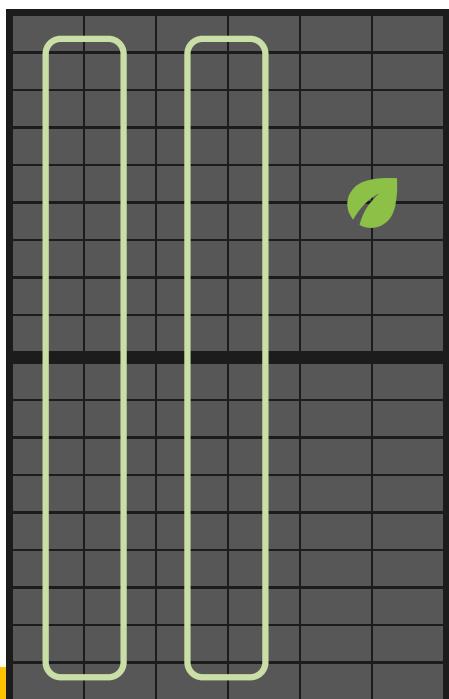
Ciò consente di dissipare l'energia elettrica generata tramite punti di contatto sul lato posteriore della cella. Il lato anteriore rimane quindi completamente privo di conduttori metallici. Da un lato, questa tecnologia innovativa consente un aspetto estetico gradevole senza alcuna fonte di disturbo sul lato anteriore del modulo. Dall'altro lato, consente una maggiore resa luminosa. Inoltre, secondo le prime evidenze, si riscontra una riduzione del degrado.

Modulo solare TopCon di tipo N

Nei moduli solari tradizionali, in caso di ombreggiamento parziale viene attivato un diodo di bypass. Questo bypassa il gruppo di celle interessato per impedire un aumento della temperatura all'interno del modulo, il cosiddetto hotspot. Tuttavia, ciò interrompe anche il flusso di corrente attraverso l'area ombreggiata, con conseguente perdita di rendimento.

Mono S4 Halfcut BC Series

La serie Back Contact di Solar Fabrik presenta un'architettura cellulare innovativa con uno strato di passivazione bipolare intelligente. Anziché disattivare singoli gruppi di celle, i moduli sono in grado di deviare la corrente in modo flessibile attraverso percorsi alternativi. Ciò riduce al minimo le perdite di potenza e previene la formazione di hotspot senza l'uso di diodi di bypass (tecnologia Anti Shading).



Passivazione bipolare delle celle in dettaglio

Come mostra il taglio della cella, nello strato di transizione N (2) non sono previsti canali conduttori in grado di deviare la corrente. Pertanto, non è possibile garantire il funzionamento sicuro del modulo senza attivare il diodo di bypass. Per aggirare questo circuito è stata sviluppata l'innovativa tecnologia Back Contact.

A differenza della tradizionale passivazione frontale con rivestimento antiriflesso (1), in questo caso viene utilizzata anche una struttura a strati bipolare che forma una sorta di microcanale tra gli strati di transizione N (2) e P (3). Ciò crea una separazione elettrica attiva e un controllo del flusso di corrente a livello di cella, anche in caso di ombreggiamento parziale.

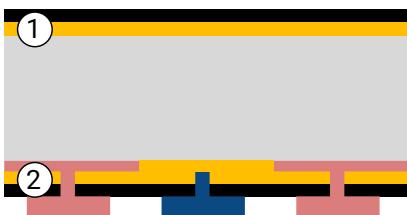


Fig.: Sezione trasversale di una cella tradizionale

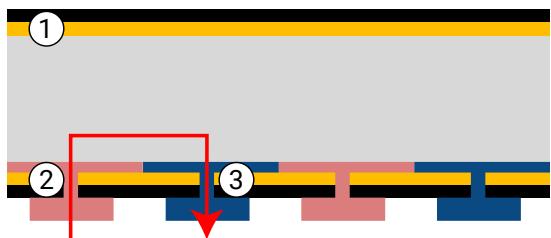


Fig.: Sezione della cella BC

Vantaggi del Back Contact

Grazie alla parte frontale delle celle completamente priva di ombreggiamento, è disponibile una superficie attiva maggiore. Ciò significa un assorbimento di luce complessivo maggiore e un rendimento energetico superiore.

Le celle Back Contact presentano una gestione termica ottimizzata e garantiscono prestazioni stabili anche a temperature elevate.

Il contatto posteriore riduce inoltre al minimo il rischio di microfessurazioni e problemi di contatto sulla parte anteriore. Ciò riduce i guasti e garantisce una maggiore durata.

Inoltre, la struttura delle celle consente una conduzione ottimizzata della corrente. La corrente scorre su un percorso più breve, riducendo così le resistenze e aumentando l'efficienza elettrica.

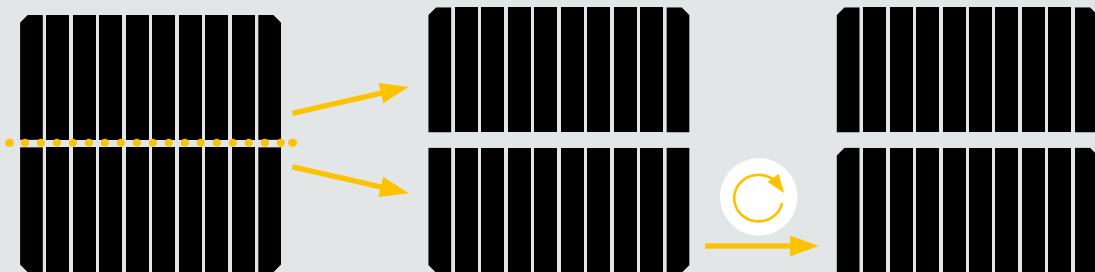
Anche in condizioni di luce diffusa e cielo coperto, la cella Back Contact dà i suoi frutti. Attraverso la superficie libera della cella è possibile assorbire più fotoni e convertirli in energia elettrica.



Struttura dei moduli solari

Celle solari Halfcut

Grazie alla divisione delle celle in due metà, i moduli sono in grado di garantire una produzione di energia continua anche in condizioni di ombreggiamento. Ciò comporta un aumento complessivo delle prestazioni e dell'efficienza dei moduli solari.



I moduli solari con celle solari dimezzate sono denominati moduli a mezza cella o moduli solari half-cut. Questa generazione di celle solari presenta caratteristiche avanzate.

Il Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) ha scoperto che i moduli solari con tecnologia a mezza cella raggiungono in media il 2-3% di potenza in più rispetto ai moduli a cella intera con la stessa cella di ingresso. I moduli a mezza cella sono quindi significativamente più potenti dei moduli con celle intere convenzionali, sebbene siano realizzati con lo stesso materiale.

A differenza delle normali celle intere, nelle celle a mezza cella la corrente che le attraversa è ridotta a causa delle dimensioni ridotte. La divisione delle celle solari dimezza l'intensità di corrente per ogni cella solare. Con una formula matematica è possibile calcolare con precisione la perdita di potenza delle celle solari. (Le perdite di potenza in un modulo a mezze celle diminuiscono di un fattore quattro, poiché la perdita di potenza è calcolata dal prodotto della resistenza del cavo e dell'intensità di corrente al quadrato). La formula conferma quindi in modo dimostrabile il vantaggio principale della tecnologia half-cut: la minore perdita di potenza rispetto alle celle solari intere.

Una minore perdita di potenza aumenta l'efficienza del modulo solare e il modulo raggiunge rendimenti solari più elevati.

Tecnologia delle celle Halfcut e Triplecut

I vantaggi principali in sintesi:

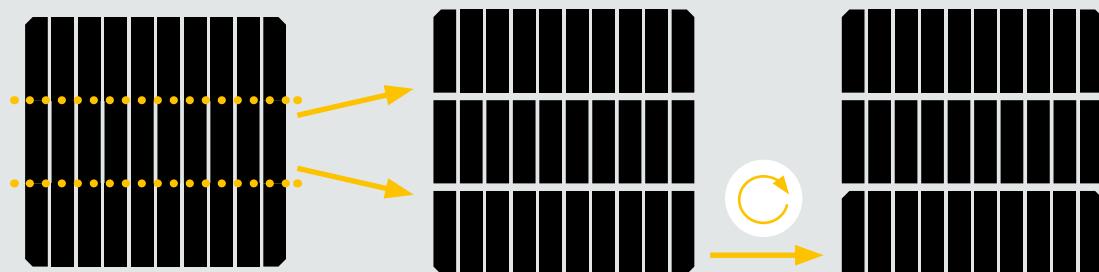
- + Minore perdita di potenza
- + Maggiore efficienza e fattore di riempimento
- + Comportamento termico ottimizzato
- + Maggiore resa energetica

La formula $P_v = R \times I^2$

P_v = Potenza dissipata
 R = Resistenza del cavo in ohm
 I = Intensità di corrente

Celle solari Triplecut

Le celle solari possono anche essere tagliate in tre parti. Ciò consente un ulteriore aumento delle prestazioni e anche i vantaggi in caso di ombreggiamento aumentano di conseguenza.

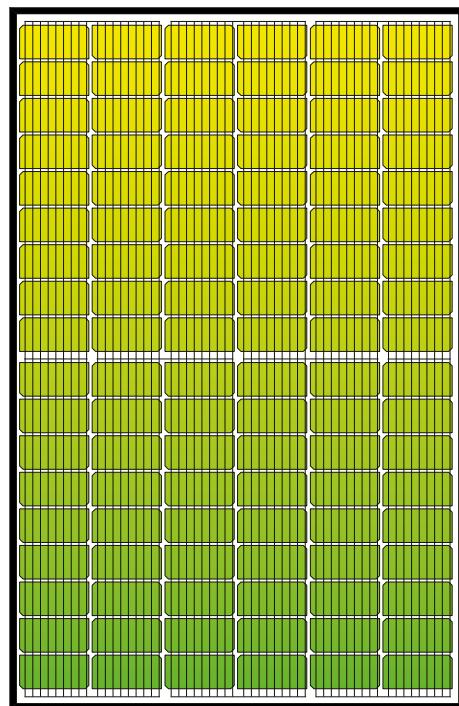
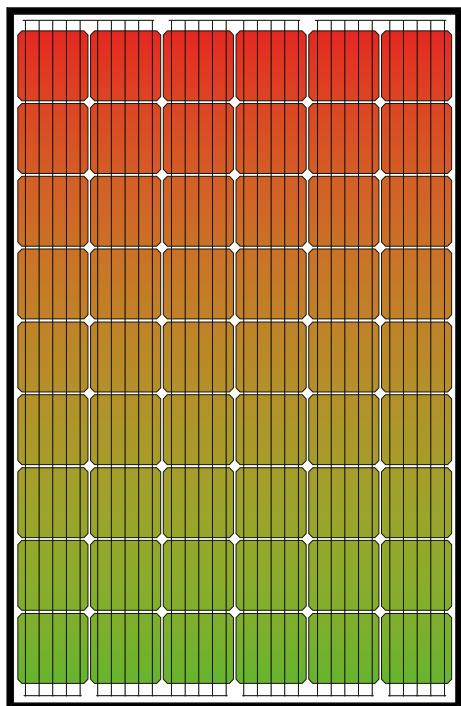


Comportamento termico delle celle solari

Le celle Halfcut presentano un comportamento termico ottimizzato. La perdita di calore a livello del connettore delle celle è notevolmente ridotta, poiché esse dispongono solo della metà della corrente di lavoro. Di conseguenza, la temperatura di esercizio diminuisce e l'affidabilità del modulo migliora, così come il rendimento energetico.

Comportamento termico del modulo solare

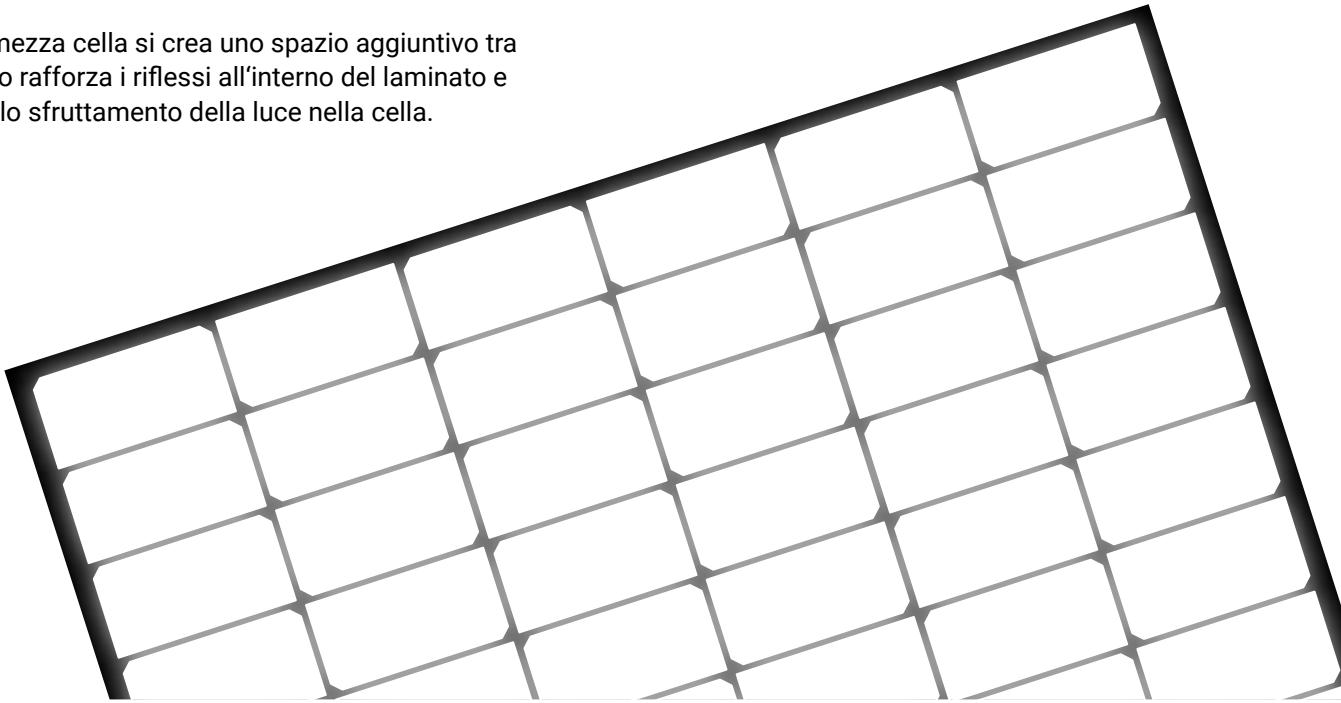
La corrente dimezzata all'interno dell'intero modulo consente un migliore coefficiente di temperatura. I moduli a mezza cella e a un terzo di cella possono quindi raggiungere prestazioni nettamente migliori alle alte temperature o in caso di forte irraggiamento solare.



Flusso di energia

Spazi intercellulari

Nei moduli a mezza cella si crea uno spazio aggiuntivo tra le celle. Questo rafforza i riflessi all'interno del laminato e aumenta così lo sfruttamento della luce nella cella.



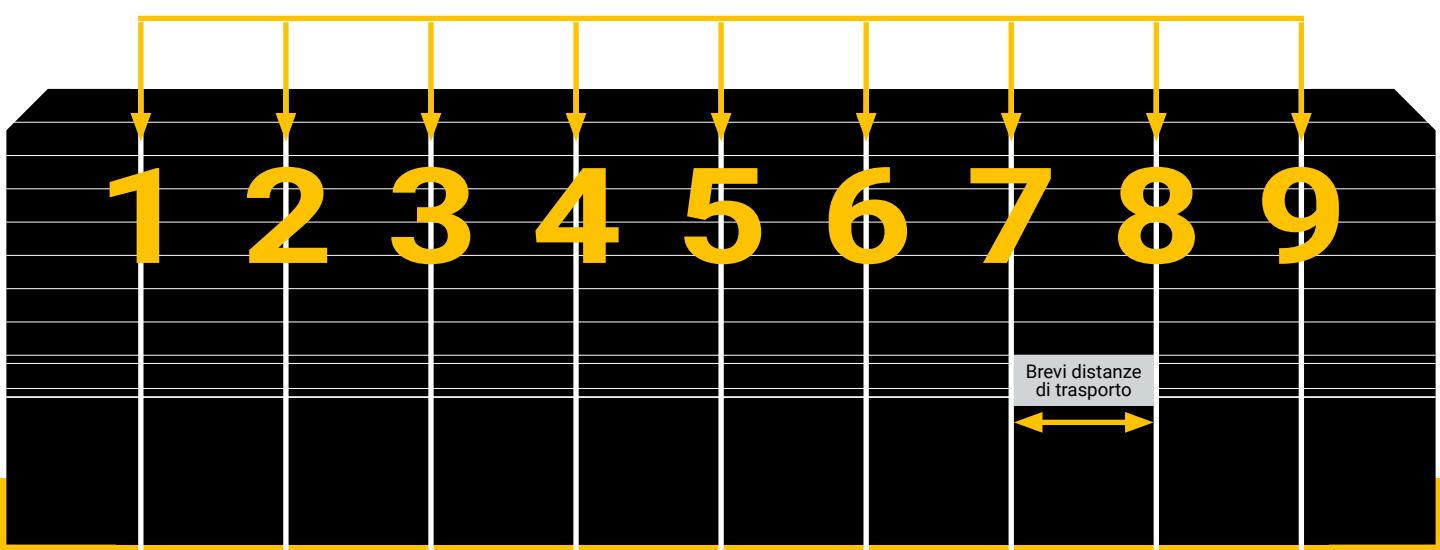
Tecnologia multibusbar

Le celle Halfcut e Triple con tecnologia Multibusbar (MBB) aggiuntiva aumentano ulteriormente l'efficienza della cella. Raggiungono un rendimento superiore del 2-2,5% e offrono la massima affidabilità. (MBB significa che una cella solare è dotata di 9, 12 o 16 busbar anziché 4, 5 o 6).

L'aumento delle prestazioni delle celle multibusbar è ottenuto sia grazie alle "vie di trasporto abbreviate" tra i singoli busbar, sia grazie alla struttura dei fili altamente

riflettente e ottimizzata nella forma. Il design ottimizzato dei fili presenta un'ombreggiatura ridotta, una migliore diffusione della luce sulla superficie della cella e una minore resistenza in serie.

Inoltre, il cablaggio più fine sulla cella aumenta la resistenza meccanica e riduce a lungo termine la formazione di microfessurazioni nel materiale.



Aumento dei ricavi

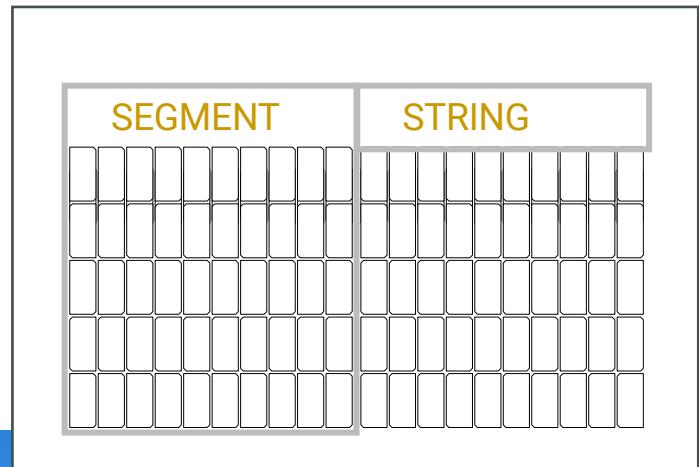
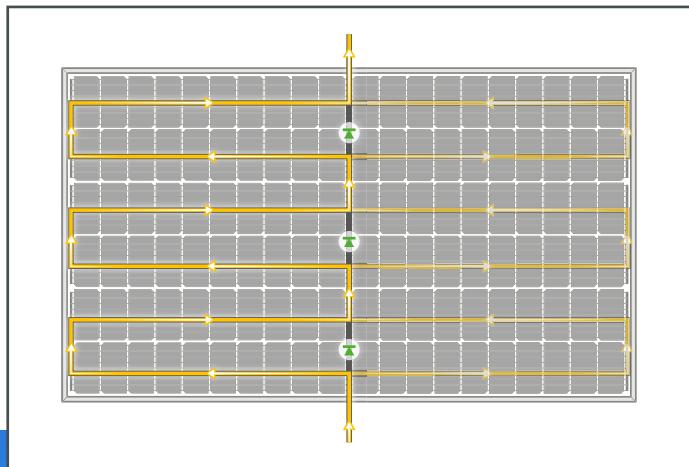
Aumento della resa grazie alla struttura intelligente che riduce l'effetto ombra

I moduli solari Halfcut non si distinguono solo per l'utilizzo di celle semicircolari all'avanguardia. Un'altra caratteristica distintiva è il collegamento separato delle singole celle semicircolari in due percorsi di corrente distinti. A tal fine, le celle semicircolari di un segmento vengono collegate in serie in sei stringhe. I due segmenti vengono quindi collegati tra loro al centro tramite un collegamento in parallelo.

Questo tipo di costruzione ha il vantaggio particolare di modificare radicalmente il comportamento all'ombreggiamento. I moduli fotovoltaici con collegamento regolare a celle intere non producono più corrente già in caso di leggero ombreggiamento di alcune celle solari

I moduli a mezze celle, invece, possono comunque produrre corrente. La metà non ombreggiata del modulo continua a produrre rendimenti grazie alla sua struttura intelligente. In caso di installazione verticale, anche in presenza di ombreggiamento parziale al mattino o alla sera, è comunque possibile aspettarsi una potenza residua del 50%.

Il 50% di potenza in più in caso di ombreggiamento parziale è reso possibile dai due percorsi di corrente indipendenti l'uno dall'altro. Questi sono collegati in modo efficiente al centro del modulo tramite diodi di ricircolo/bypass.

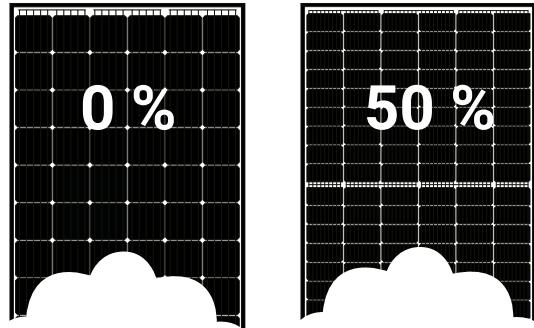


Molti vantaggi

Tecnologia Cut Struttura modulare

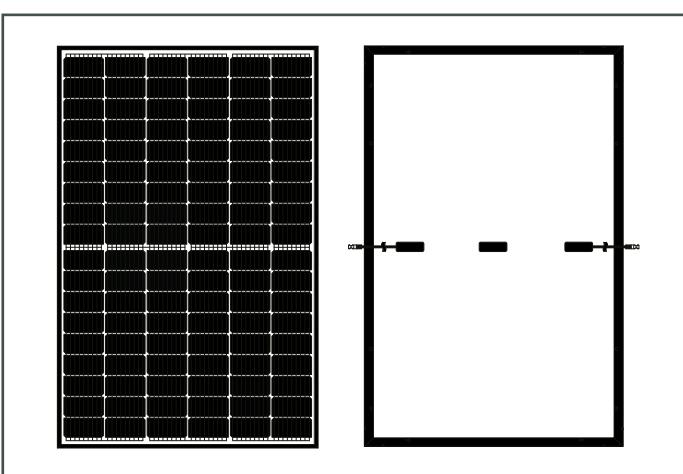
I vantaggi principali in sintesi:

- + 50% in più di rendimento in caso di ombreggiamento parziale del modulo fotovoltaico
- + Scatola di derivazione in 3 parti con comportamento termico ottimizzato durante il trasferimento di energia
- + Temperature hotspot ridotte
- + Maggiore affidabilità
- + Maggiore rendimento energetico



Collegamento del modulo

Una scatola di derivazione in 3 parti sul retro del modulo convoglia l'energia prodotta. Il componente in più parti trasmette meno calore alle celle sottostanti rispetto alle scatole di derivazione in un unico pezzo.



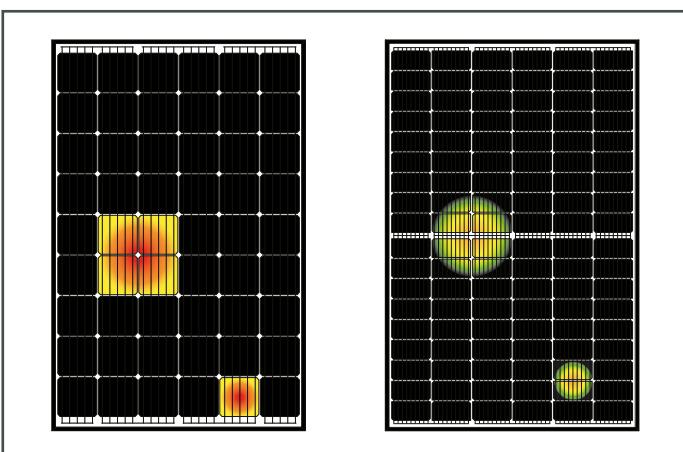
Comportamento degli hotspot

Grazie alla sua struttura unica, un modulo solare con tecnologia Cut ottiene un aspetto inconfondibile e riduce notevolmente la comparsa di indesiderati “hotspot”.

Nell'uso pratico, l'ombreggiamento parziale di piccole aree può aumentare la temperatura locale delle celle solari interessate, poiché la corrente delle celle produttrici, per motivi fisici, viene convogliata attraverso queste celle.

Questi cosiddetti “hotspot” possono causare un deterioramento irreversibile e duraturo delle prestazioni del modulo.

Poiché la corrente di stringa dei moduli a mezza cella è la metà di quella dei moduli a cella intera, la temperatura degli hotspot può essere notevolmente ridotta. Test sperimentali hanno dimostrato che questa riduzione può essere compresa tra 10 e 20 °C, il che conferma l'affidabilità di un modulo half-cut.



Ridurre le perdite di potenza

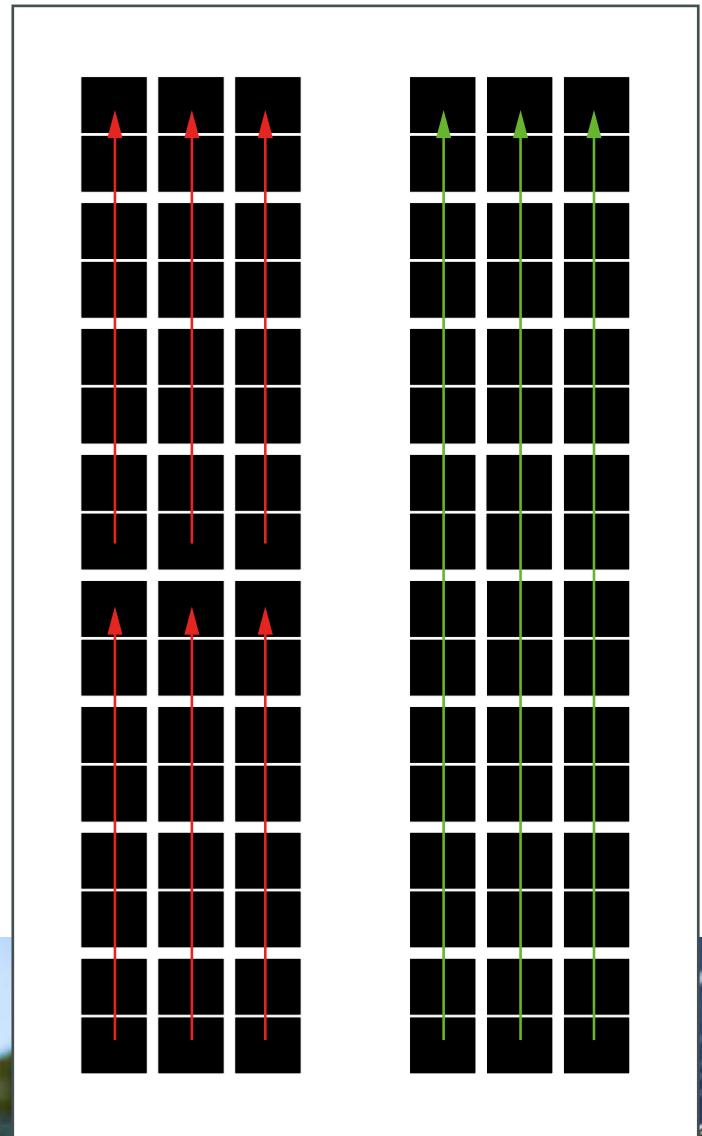
Tensione di sistema 1.500 V

I moduli solari Halfcut con tensione di 1.500 volt offrono ulteriori vantaggi.

Sono la soluzione perfetta per gli impianti di progetto, poiché consentono di allungare le stringhe dei moduli del 50%. È possibile ridurre notevolmente i collegamenti in parallelo, la lunghezza dei cavi e la sezione dei cavi.

Ciò comporta un minor fabbisogno di materiale e una riduzione dei costi dei componenti e dell'installazione. Il bilancio del sistema (BOS) si riduce così fino al 33%. I requisiti per ottenere questo risultato sono, tra l'altro, scatole di derivazione certificate e il corrispondente backsheet del modulo.

Grazie alla tensione più elevata, in combinazione con correnti più basse, le perdite di potenza continuano a diminuire. Il minor degrado e la maggiore affidabilità sono ulteriori vantaggi che hanno un effetto positivo sull'intero impianto.





Solar Fabrik GmbH

Hermann-Niggemann-Str. 7–9, 63846 Laufach, Germany
info@solar-fabrik.de, +49 (0)6093 20770-0

www.solar-fabrik.de

Valido da: 21.10.25
BZ1001251021