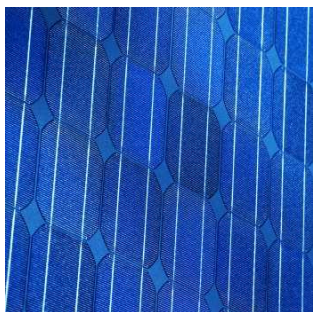




## Il Pannello Solare: *Quick Guide*.

**La cella fotovoltaica converte la radiazione solare in una corrente elettrica**, la cella è costituita da una sottile lastra di



materiale semiconduttore (tipicamente il silicio) trattata in maniera opportuna: il processo tradizionale per ricavare una cella è il taglio di un lingotto realizzato attraverso fusione dei cristalli di silicio.

Se la struttura risultante è ordinata, il silicio ha un grado di purezza maggiore (monocristallino) e le relative celle raggiungono valori di rendimento di conversione superiori (rispetto alle celle policristalline) ma il rovescio della

medaglia è che hanno una forma ottagonale dato che sono ricavate da un blocco circolare ottenuto con il cosiddetto metodo [Czochralsky](#) (detto metodo comporta una produzione di una notevole quantità di scarti in fase di lavorazione ed impossibilità, per la particolare geometria, di sfruttare tutta l'area del modulo fotovoltaico). Il silicio policristallino ha invece una struttura cristallina disordinata, l'efficienza della cella è

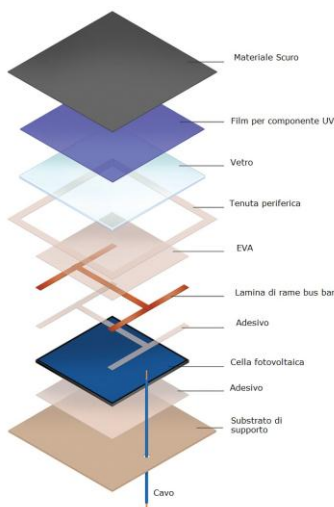
leggermente inferiore, ma il materiale e l'area del modulo sono meglio utilizzate.



Il processo di produzione di un modulo è completamente automatizzato e già nelle primissime fasi di tale processo iniziano i test sul blocco di silicio con verifiche ispettive volte a indagarne la qualità, il tempo di vita delle cariche

e la resistività del blocco stesso. Attraverso il drogaggio dell'elemento si genera una giunzione di tipo *pn* che esposta ad una fonte luminosa genera una corrente elettrica: l'elevata automazione del processo produttivo garantisce l'elevata qualità della produzione nonché la garanzia da danneggiamenti dovuti a rotture o crepe durante il ciclo di vita del modulo stesso (le marche presenti sul mercato generalmente vengono prodotte in siti con la certificazione di qualità).

I collegamenti elettrici fra le celle si chiamano **bus bar**, gli elettroni emessi dalla cella sono captati da un reticolo conduttivo presente su tutta la superficie della cella e convogliati verso filamenti di sezione maggiore (generalmente i moduli hanno o due o tre bus bar). Se sono presenti solo due collegamenti abbiamo una maggior superficie attiva esposta al sole d'altra parte però ciò comporta l'aumento della densità di corrente e maggiori perdite Joule con innalzamento della temperatura della cella: con tre bus bar si ha una più uniforme distribuzione della corrente sui tre filamenti con valori più bassi e temperature inferiori (senza considerare la maggiore



affidabilità in caso di rottura di un bus bar dato che è uno dei punti più delicati del modulo fotovoltaico, per le escursioni termiche è soggetto infatti ad "allentamenti").

Il dimensionamento dei moduli con tre bus bar avviene in maniera tale che ogni bus possa portare più della metà delle cariche potenzialmente emesse dalla singola cella. Quindi appare chiaro come sia importantissima in fase costruttiva la qualità della saldatura dei collegamenti e le fasi di prova per escludere lavorazioni difettose.

Nell'esplosione del pannello l'EVA si utilizza per proteggere la cella, si tratta di un copolimero di etilene e di acetato di vinile, un materiale molto elastico con caratteristiche di durezza notevoli. Le celle sono contenute

fra due fogli sottili e messe sotto vuoto (l'assenza d'aria è necessaria per evitare ossidazioni della cella con conseguente decadenza delle prestazioni). Il vetro protegge meccanicamente e dagli agenti atmosferici la cella, garantendo la massima trasmissione della radiazione incidente, la differenza fra l'indice di rifrazione del vetro e quello dell'aria fa deviare di circa il quattro per cento per strato la radiazione incidente (quindi una perdita totale dell'otto per cento) pertanto si opera un trattamento antiriflesso superficiale sul vetro con un materiale ad indice di rifrazione intermedio riducendo la perdita al due per cento (generalmente il trattamento è il TCO Transparent Conductive Oxide, un sottile strato di pochi micro metri), il filtro per i raggi UV ed infrarossi (che comunque non sono assorbibili dalla cella) contiene, infine, l'aumento di temperatura.



### Le **scatole di giunzione elettrica (Junction Box)**

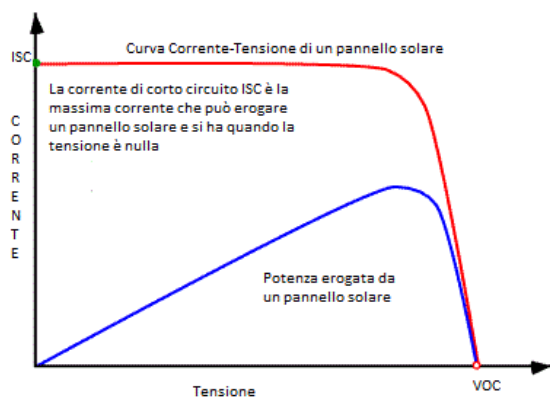
sono componenti che realizzano le connessioni fra celle e il cablaggio dei moduli fotovoltaici. La loro realizzazione a regola d'arte è fondamentale per la performance del modulo e per la sicurezza elettrica dell'impianto. Normalmente sono posizionate nella parte posteriore del pannello e contengono i cosiddetti diodi di bypass. I costruttori raccomandano di non alterare le scatole di giunzione per non modificare gli

accorgimenti tecnici volti a massimizzare il rendimento del modulo in fase di progetto (ad esempio il posizionamento non a contatto con il modulo per favorire il passaggio d'aria, il raffreddamento ed, in ultima analisi, un maggior rendimento del pannello). I cavi utilizzati per collegare i moduli sono cavi unipolari a doppio isolamento, di sezione generalmente pari a 4mm<sup>2</sup> resistenti ai raggi UV e in grado di operare in un campo di temperatura fra -40°C e +120°C. I connettori, infine, devono garantire una resistenza di contatto minima per limitare la sovratemperatura localizzata e la massima potenza trasferita all'inverter; i migliori connettori devono essere tali da garantire ottime proprietà meccaniche per durare nel tempo ed all'esercizio con le correnti di progetto.



La resistenza meccanica del modulo è assicurata dall'elemento **cornice** generalmente formato da due lati corti e due lati lunghi fissati fra loro o ad incastro o per mezzo di viti: l'accoppiamento con viti assicura ovviamente una tenuta e robustezza maggiori rispetto all'incastro semplice permettendo un collegamento elettrico migliore. Una cornice senza cavità è da preferire perché evitando l'accumulo di acqua e sporcizia garantisce la durata nel tempo (un fenomeno che si è osservato nelle cornici con cavità interne è l'intasamento dei canali di collaggio dell'acqua con successiva formazione di ghiaccio e rottura meccanica della cornice stessa): un profilo geometrico della cornice che garantisca determinati percorsi dell'acqua piovana e quindi la pulizia naturale della cella determina la costanza nel tempo della produzione elettrica. Le celle normalmente sono fissate nel lato lungo pena il decadimento della garanzia del costruttore (a meno di diverse indicazioni sul manuale d'uso e manutenzione), gli standard di riferimento per questi aspetti sono gli standard IEC.

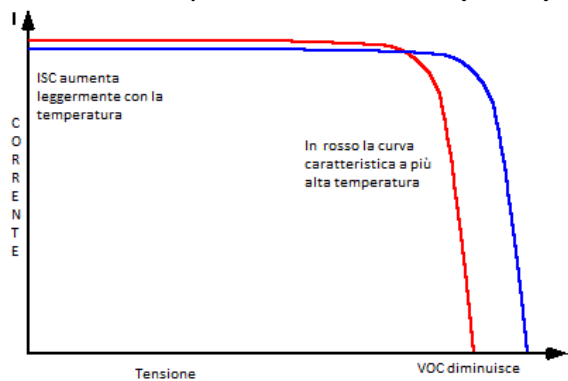
La curva che traccia i valori di corrente in funzione della tensione di una cella



fotovoltaica irradiata non è lineare ed è definita dalla sua corrente nel punto di massima potenza ( $I_{P_{max}}$ ), dalla sua corrente di corto circuito ( $I_{sc}$ ) e dalla tensione a vuoto ( $V_{OC}$ ). Tipicamente una cella di silicio cristallino alle condizioni di riferimento genera una tensione intorno ai 0,5 Volt con una densità di corrente  $J_{sc}$  pari a 25/35 [ $mA/cm^2$ ]: una cella di dimensioni standard sarà allora in grado di erogare correnti nell'ordine di qualche [A] chiaramente insufficienti per un carico elettrico

di normale potenza, da qui la necessità di collegare in serie e parallelo più celle solari.

Al **variare dell'irraggiamento**, la caratteristica tensione-corrente si modifica con ( $I_{sc}$ ) e ( $I_{P_{max}}$ ) che variano quasi proporzionalmente con la radiazione solare incidente il pannello mentre ( $V_{P_{max}}$ ) e ( $V_{OC}$ ) subiscono variazioni inferiori con legge

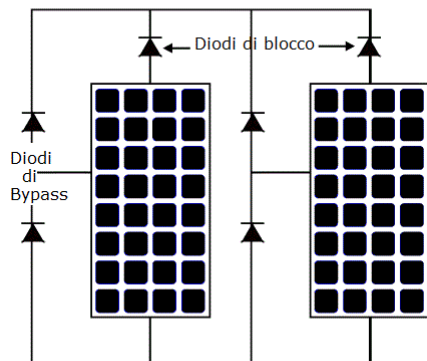


logaritmica; al **variare della temperatura** ( $I_{sc}$ ) e ( $I_{P_{max}}$ ) crescono mentre ( $V_{P_{max}}$ ) e ( $V_{OC}$ ) diminuiscono sensibilmente. L'impatto della temperatura in termini di corrente è più marcato nei pannelli a-Si che in quelli c-Si.

All'interno di un modulo fotovoltaico le celle sono collegate in serie, in assenza di ombreggiamento la corrente totale della serie è pari all'incirca ad ( $I_{sc}$ ) delle singole celle e la tensione alla somma delle tensioni delle singole celle: l'ombreggiamento di una singola cella diminuirebbe, com'è ovvio, la corrente in tutte le celle. In quest'ultimo caso la cella ombreggiata consuma energia dissipando la potenza generata dalle celle



non ombreggiate; il fenomeno che si evidenzia è quello dell'*hot-spot* o ciò che è lo stesso del surriscaldamento localizzato (con possibilità di danneggiamento irreversibile delle celle in ombra).



I costruttori dei moduli risolvono questo fenomeno attraverso l'inserimento dei cosiddetti **diodi di bypass** nella scatola di collegamento; la funzione del diodo di bypass infatti è quella di cortocircuitare ogni singolo gruppo di celle in caso di ombreggiamento: per motivi economici si preferisce collegare il diodo di bypass in parallelo a gruppi di celle in serie che formano un modulo. I **diodi di blocco** (per la protezione dalle correnti inverse) collegati in serie alle stringhe sono

necessari soltanto per i moduli a film sottile: trattandosi di diodi reali determinano una perdita di potenza; un'alternativa è l'utilizzo di fusibili in serie con caratteristica gR. La corrente inversa in una stringa completamente al buio è funzione del numero di stringhe in parallelo e varia da un valore minimo (caso di due stringhe in parallelo) di  $\frac{1}{2} (I_{sc})$  sino ad un massimo di  $(I_{sc})$ .

La messa a terra delle cornici dei moduli fotovoltaici deve essere realizzata seguendo i criteri delle Norme CEI (64-8) che la prescrivono per le masse dei componenti in Classe I chiaramente **se i moduli sono dichiarati dal costruttore come componenti di Classe II (doppio isolamento) non vanno collegati a terra**, nei pressi del mare occorre monitorare l'isolamento del sistema perché (cfr. CEI 82.25) il doppio isolamento potrebbe venir meno col tempo. In generale occorre osservare che solo le masse estranee devono essere collegate a terra quindi le strutture di supporto se non sono masse estranee non devono essere provviste di collegamento a terra. L'esperienza insegna che alcuni tipi di pannelli solari hanno mostrato con il tempo **corrosione dello strato *Transparent Conductive Oxide* (TCO)** secondo un meccanismo di danno ipotizzato per la reazione del sodio, contenuto nello strato del vetro di copertura, e l'umidità dell'aria. Il danneggiamento di questo strato elettricamente conduttivo si osserva per fessurazione ai bordi del modulo che possono estendersi longitudinalmente a tutto il componente danneggiandolo irreversibilmente. I migliori pannelli solari a film sottile sono sigillati con cura per impedire all'umidità di penetrare ed innescare la reazione, come accorgimento di installazione poiché tale meccanismo di danno è funzione della differenza di potenziale rispetto a terra si deve prevedere il collegamento a terra del polo negativo in maniera da drenare gli ioni Sodio che altrimenti danneggerebbero lo strato conduttivo: chiaramente l'inverter deve essere provvisto di trasformatore di isolamento (CEI 64-8 V4) e l'impianto deve essere segnalato opportunamente come funzionante con un polo a terra.