



Redazione

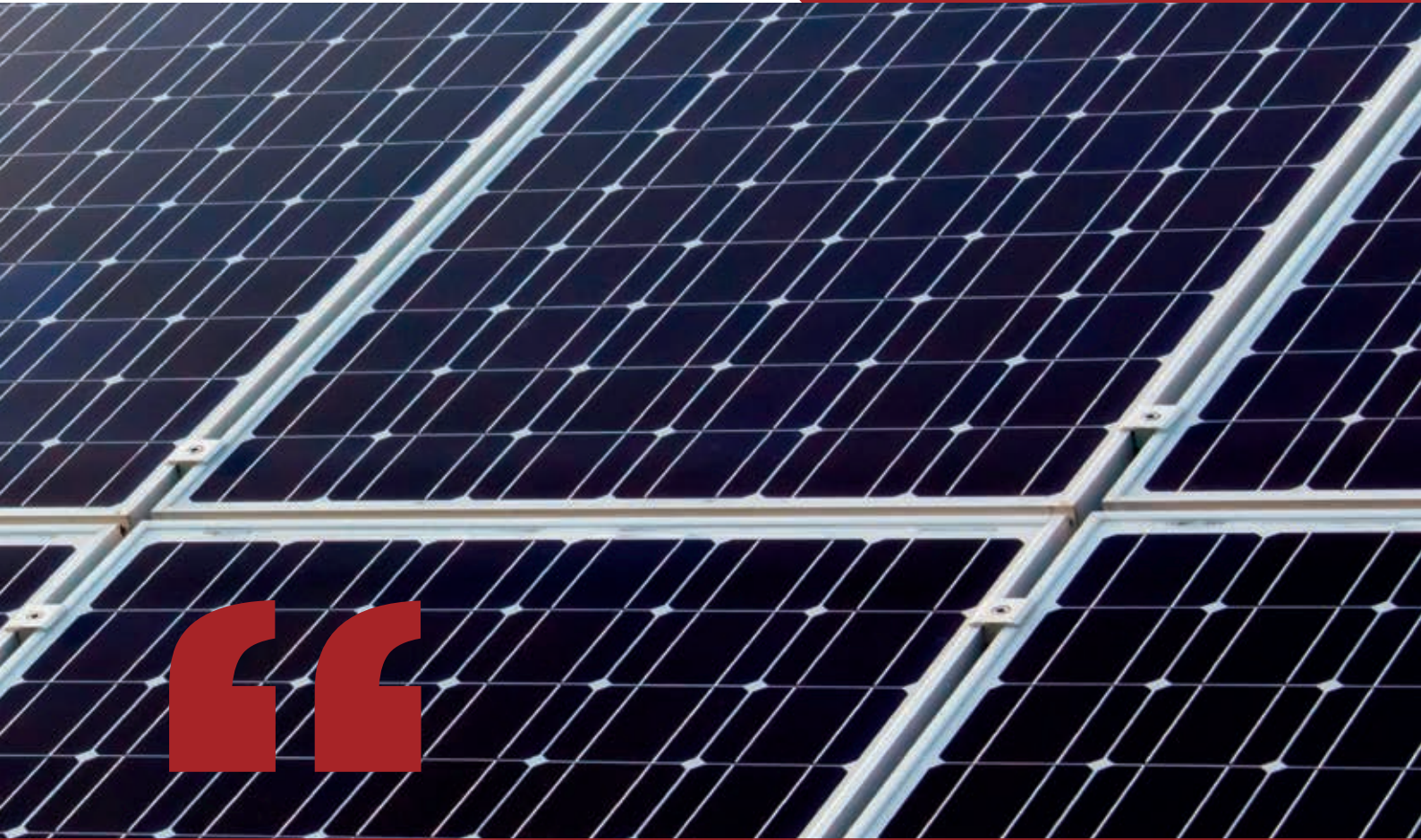
(4) La quarta parte è stata pubblicata sul fascicolo precedente.

Tipologie di moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici sono dei componenti assemblati, contenenti un certo numero di celle fotovoltaiche e in grado di resistere alle azioni degli agenti atmosferici. I moduli fotovoltaici presentano quindi una certa robustezza meccanica, sufficiente per le applicazioni a cui sono destinati, hanno un elevato grado di protezione contro la penetrazione dell'acqua e dispongono di terminazioni elettriche (in genere costituite da connettori) aventi anch'esse un sufficiente grado di protezione. I moduli fotovoltaici sono normalmente disposti vicini tra loro e collegati in Array come in *figura 4.1*.

La superficie frontale dei moduli fotovoltaici presenta un'elevata trasparenza alla radiazione solare e per tale motivo si utilizza vetro temprato con basso contenuto di ferro. In alcuni casi si utilizza un rivestimento plastico trasparente al fine di dare al compo-

QUINTA PARTE (4)



I moduli fotovoltaici

nente un certo grado di deformabilità, ma ciò avviene solitamente con i film sottili in quanto l'estrema fragilità delle celle in silicio cristallino difficilmente si concilia con degli involucri flessibili.

Ultimamente si stanno diffondendo i moduli fotovoltaici con rivestimento trasparente su entrambi i lati (moduli double-face) che fanno uso di celle con l'elettrodo posteriore in grado di far passare la radiazione luminosa al pari di quello frontale. Come si può vedere in *figura 4.2*, questi moduli fotovoltaici sono in grado di raccogliere anche la poca radiazione diffusa incidente sulla faccia posteriore, la quale

fornisce un proprio contributo, anche se inferiore, alla resa energetica del componente.



Figura 4.1 - Esempio di disposizione di moduli fotovoltaici in un impianto.



Figura 4.2 - Esempio di moduli fotovoltaici double-face.

Alcuni moduli fotovoltaici hanno dimensioni ridotte, spesso con prestazioni modeste, e sono utilizzati in piccole applicazioni isolate, tra cui quelle mobili. Da qui in avanti tratteremo invece i moduli fotovoltaici destinati all'impiego in impianti per servizio in rete, oppure isolati dalla rete ma destinati comunque all'elettificazione di abitazioni o attività produttive oppure per impieghi professionali. In tutti questi casi occorre utilizzare componenti fotovoltaici di buona qualità, quasi sempre certificati, in grado di assicurare adeguati livelli di efficienza e affidabilità.

Negli ultimi anni abbiamo assistito ad una grande varietà di moduli fotovoltaici, con caratteristiche finalizzate di volta in volta ad aumentarne l'efficienza, a ridurre il costo, a soddisfare particolari requisiti estetici e architettonici o, infine, a sperimentare nuovi materiali e soluzioni.

Col tempo si è visto però che alcuni prodotti risultavano più idonei di altri a soddisfare un ampio spettro di esigenze, in primis la riduzione del costo per watt, e questo si è tradotto infine in una maggiore uniformità delle caratteristiche. Attualmente quindi assistiamo ad una crescita della potenza nominale del singolo modulo fotovoltaico, che a tutt'oggi viene proposto con taglie di 350-500 W, o anche più, contro i 250 W che venivano considerati ottimali solo 5-10 anni fa.



Negli ultimi anni abbiamo assistito ad una grande varietà di moduli fotovoltaici

Moduli fotovoltaici in silicio cristallino

Struttura del sandwich

I moduli fotovoltaici con celle in silicio mono o policristallino hanno una configurazione abbastanza simile e sono sempre costituiti da un insieme di strati sovrapposti (Sandwich), i quali vengono sottoposti ad un processo di laminazione ad alta temperatura al fine di ottenere un prodotto compatto, perfettamente incollato e privo di inclusioni di aria o altro. La laminazione impedisce il contatto delle celle con l'ossigeno e l'umidità, formando uno strato barriera contro la corrosione.

Se non consideriamo per il momento i collegamenti elettrici tra le celle, la sezione tipica di un modulo fotovoltaico si presenta come in *figura 4.3*.

I vari strati che compongono il modulo fotovoltaico sono disposti in sequenza su un supporto rigido, costituito dal vetro anteriore. Quest'ultimo deve possedere delle apprezzabili qualità di resistenza meccanica e trasparenza, pertanto si utilizza vetro temprato con basso contenuto di ferro. Lo spessore è normalmente compreso tra 3 e 5 mm a seconda delle dimensioni del modulo, della presenza o meno della cornice e delle prestazioni meccaniche richieste. Esternamente, sul fronte, può essere presente un sottile strato di materiale antiriflettente.

Immediatamente a contatto col modulo fotovoltaico viene disposto un primo foglio di materiale incapsulante, quindi le celle fotovoltaiche, opportunamente distanziate e collegate elettricamente tra loro, a cui segue un secondo foglio di incapsulante.

I due fogli di incapsulante sono destinati a fondere durante la successiva laminazione in modo da inglobare le celle e aderire perfettamente al vetro anteriore e al rivestimento posteriore. Tipici materiali utilizzati come incapsulanti sono l'EVA (eta-vinil-acetato), il PVB (poli-vinil-butirrale) e il TPU (poliuretano termoplastico).

L'incapsulante assicura un primo isolamento elettrico delle celle verso l'esterno, deve inoltre possedere caratteristiche di elevata trasparenza, resistenza ai raggi UV e stabilità nel tempo.

Il rivestimento posteriore, in figura indicato come foglio posteriore, è costituito nella maggioranza dei casi da un foglio plastico con particolari caratteristiche di resistenza, ma in altri casi può essere impiegato un vetro di caratteristiche analoghe a quello anteriore. In ogni caso, il rivestimento posteriore deve presentare notevoli caratteristiche di robustezza meccanica e isolamento elettrico, resistenza agli agenti meteorologici e stabilità nel tempo. Oltre al ben noto *Tedlar*, nome commerciale di un particolare polivinil-fluoruro, si utilizzano configurazioni multistrato con varie denominazioni come TPT, TPE, PET, PEN. Al laminato così ottenuto è quasi sempre applicata una cornice di alluminio di spessore e forma tale da conferire all'insieme una notevole robustezza meccanica. Al fine di assicurare una perfetta aderenza ed evitare infiltrazioni, la cornice viene applicata mediante un sigillante siliconico o mediante un film plastico di caratteristiche opportune.

Collegamenti

Le celle in un modulo fotovoltaico sono normalmente collegate tra loro in serie. Con riferimento alla *figura 4.4*, i *bus-bar* della faccia superiore di ogni cella sono collega-

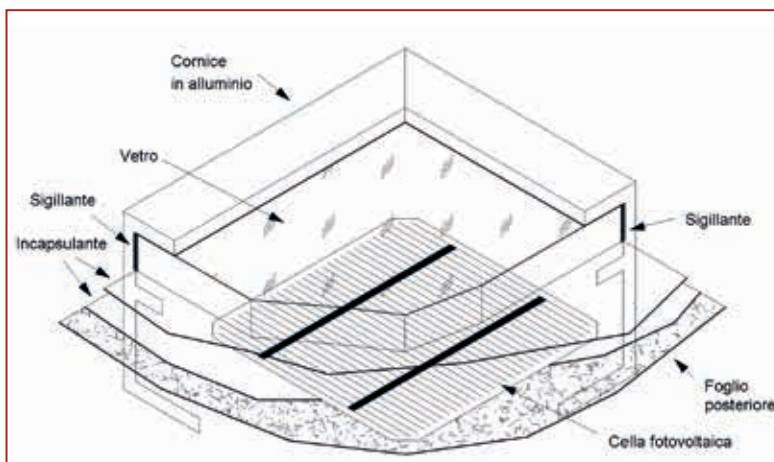


Figura 4.3 - Particolare della vista in sezione di un modulo fotovoltaico.

te alla faccia inferiore della cella successiva mediante delle apposite bande metalliche saldate su tutta la lunghezza. Le celle in figura hanno 3 *bus-bar*, ma le celle in commercio frequentemente possiedono 5 *bus-bar* o anche più. Se le celle sono di tipo *double-face*, la parte retrostante ha un aspetto speculare a quella presente sulla faccia frontale e le bande metalliche sono saldate in modo pressoché identico su entrambi i lati. La disposizione ora vista permette di formare delle stringhe di celle tra loro collegate in serie. Queste stringhe sono in numero pari perché sono a loro volta collegate tra loro in serie e i due estremi devono ritornare sullo stesso lato del modulo fotovoltaico, in prossimità del quale è anche collocata la scatola di giunzione, dalla quale fuoriescono le terminazioni elettriche.



Le celle in un modulo fotovoltaico sono normalmente collegate tra loro in serie

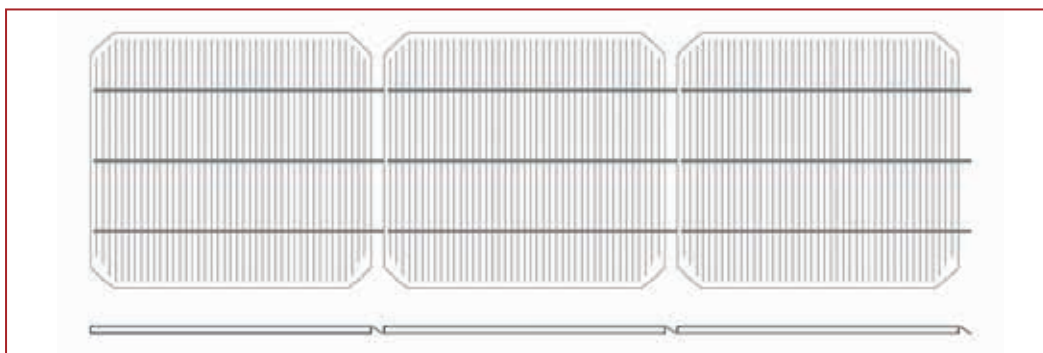


Figura 4.4 - Esempio di collegamento in serie delle celle in un modulo fotovoltaico.



È molto importante che le celle siano tra loro spaziate con precisione, in modo da evitare cortocircuiti accidentali

Non è infrequente incontrare moduli fotovoltaici composti da due sezioni collegate tra loro in parallelo, soprattutto quando il numero di celle è elevato come nel caso delle *half-cell*. È molto importante che le celle siano tra loro spaziate con precisione, in modo da evitare cortocircuiti accidentali. Inoltre, tra le celle periferiche e i bordi esterni deve essere lasciata una distanza sufficiente ad evitare cedimenti degli isolanti anche dopo anni di attività. In *figura 4.5* è mostrato un esempio di collegamento in un modulo fotovoltaico da 60 celle, nel quale si può notare la presenza di 6 stringhe di celle tra loro collegate in serie. I due estremi formano i terminali positivo e negativo diretti verso la scatola di giunzione posta sul retro del laminato.

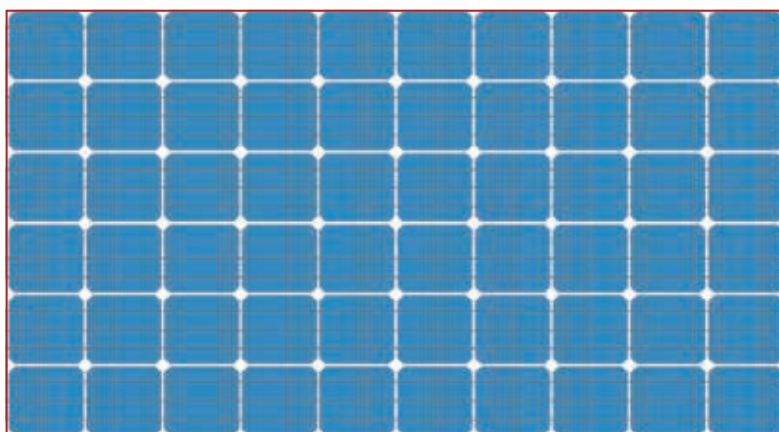


Figura 4.5 - Vista frontale dei collegamenti in un modulo FV da 60 celle.

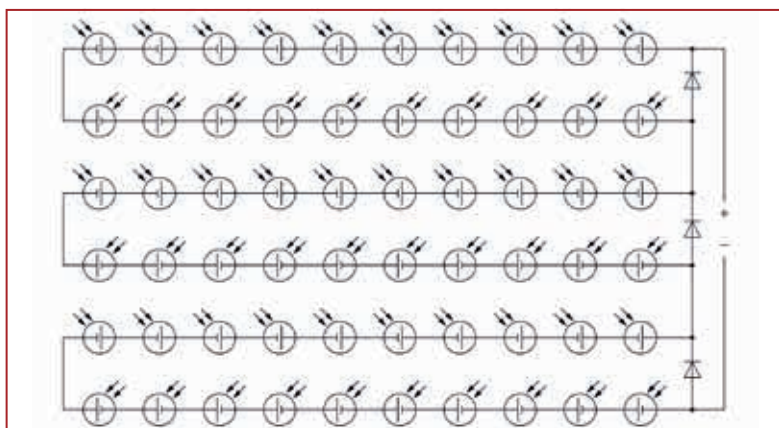


Figura 4.6 - Schema elettrico interno del modulo FV da 60 celle

Alla scatola di giunzione arrivano anche due collegamenti intermedi, attraverso i quali è possibile inserire 3 diodi di by-pass a protezione delle celle in caso di ombreggiamento.

In *figura 4.6* è pertanto visibile lo schema elettrico equivalente del modulo fotovoltaico nel quale vi sono tre gruppi di 20 celle, a ciascuno dei quali è stato collegato in parallelo un proprio diodo di by-pass.

Normalmente i diodi di by-pass sono polarizzati inversamente e quindi non conducono. Tuttavia, se si dovesse verificare un ombreggiamento parziale, il gruppo di celle interessato potrebbe trovarsi lui stesso ad essere polarizzato inversamente fino a raggiungere la tensione di breakdown inversa (*Figura 4.7*), nel qual caso l'integrità della cella sarebbe seriamente compromessa.

La presenza del diodo di by-pass impedisce però che questo possa avvenire perché la polarizzazione inversa del gruppo di celle corrisponde ad una polarizzazione diretta del diodo e quindi la tensione ai suoi capi scende ad una frazione di volt.

La *figura 4.8* mostra chiaramente l'effetto del diodo di by-pass nel caso in cui una delle tre sezioni risulti ombreggiata. In mancanza del diodo di by-pass le celle più sfavorite sarebbero state polarizzate inversamente (caso 1) o avrebbero limitato la corrente passante nel componente (caso 2).

Nel caso 1 il circuito utilizzatore mantiene la corrente su valori elevati, che però non sarebbero compatibili con la corrente che la sezione del modulo FV ombreggiata e quindi più sfavorita è in grado di produrre. Il risultato sarebbe stato comunque la riduzione della corrente passante, ma con una forte polarizzazione inversa delle celle più sfavorite. La presenza del diodo di by-pass permette invece il passaggio della corrente che il modulo FV è in grado di produrre, escludendo la sezione ombreggiata e introducendo invece solo una piccola caduta di tensione (circa 0,7 V) dovuta al diodo stesso.

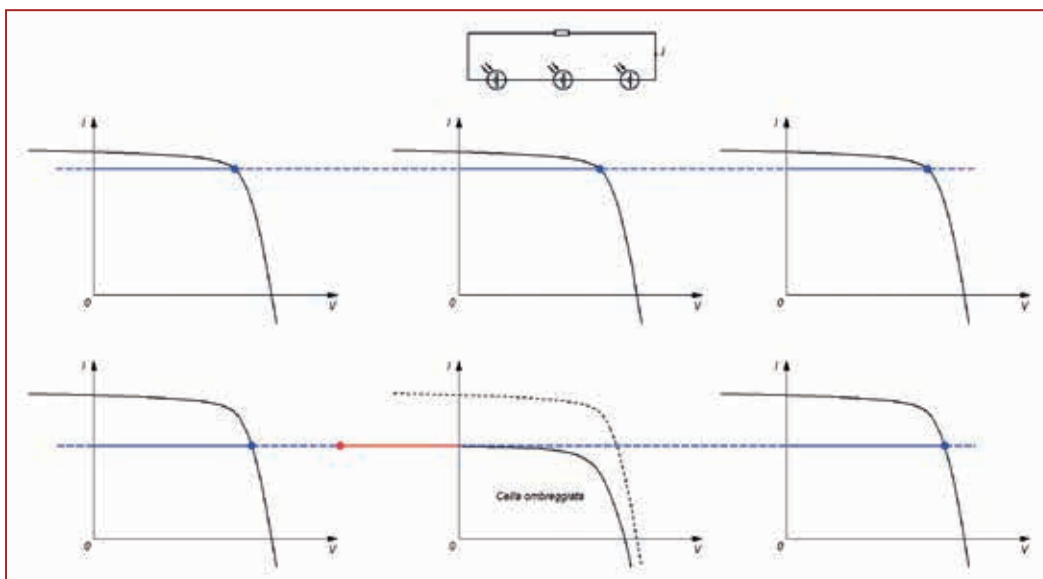


Figura 4.7 - Comportamento delle celle FV in serie in caso di ombreggiamento parziale.

Qualora invece il circuito utilizzatore si fosse regolato su valori di corrente più modesti (caso 2) il diodo di by-pass non sarebbe intervenuto ma due delle tre sezioni sarebbero rimaste sottoutilizzate.

L'effetto ovviamente si amplifica quando, anziché un solo modulo fotovoltaico, siamo in presenza di molti moduli collegati in serie. In questo caso la tensione inversa a cui potrebbe essere sottoposta una cella ombreggiata sarebbe di diverse centinaia di volt, col risultato di arrivare in poco tempo alla sua distruzione.

Scatola di giunzione

La scatola di giunzione permette di collegare elettricamente il modulo fotovoltaico col mondo esterno. Un tempo le scatole di

giunzione erano apribili e contenevano i morsetti su cui potevano attestarsi i cavi di collegamento che entravano in appositi fori dotati di pressacavi.

Attualmente si preferisce invece utilizzare scatole di giunzione dalle quali fuoriescono due spezzoni di cavo con connettori volanti alle estremità. Questo sistema permette un cablaggio più veloce, anche se spesso si ha poi a che fare con le lunghezze sovrabbondanti dei cavi da sistemare adeguatamente, anche per evitare che i connettori si trovino in posizioni in cui possa esserci ristagno di acqua.

Le scatole di giunzione, come si è detto contengono i diodi di *by-pass* e dovrebbero evitare, per quanto possibile, l'occupazione di spazio sul retro delle celle per non



La scatola di giunzione permette di collegare elettricamente il modulo fotovoltaico col mondo esterno

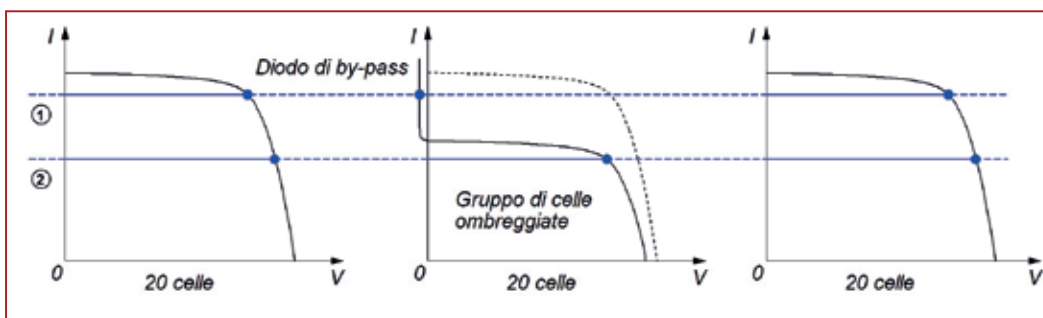


Figura 4.8 - Effetto del diodo di *by-pass* in caso di ombreggiamento parziale.

comprometterne il raffrescamento. Nei moduli *double-face*, ovviamente, le scatole di giunzione non devono coprire le celle.

Moduli fotovoltaici in film sottile

I moduli fotovoltaici in film sottile sono costituiti da una sequenza di celle depositate sul medesimo substrato. Come si è visto, le celle sono collegate tra loro sagomando opportunamente il materiale semiconduttore e le deposizioni di TCO, così da ottenere un collegamento serie.

Sul retro del substrato anteriore ricoperto dalle celle viene incollato un rivestimento posteriore di uguali dimensioni, così da realizzare un sandwich resistente e impenetrabile agli agenti atmosferici come abbiamo visto nel caso dei moduli fotovoltaici in silicio cristallino. Frequentemente, nei moduli fotovoltaici in film sottile il rivestimento posteriore è realizzato con una lastra di vetro al pari del substrato frontale, così da ottenere una struttura vetro-vetro. Il più delle volte a questi moduli fotovoltaici non viene applicata una cornice esterna.

In corrispondenza delle due celle terminali vengono effettuati i collegamenti delle terminazioni positiva e negativa, le quali normalmente fuoriescono dal bordo o dal rivestimento posteriore e si attestano nella scatola di giunzione. In questa possono trovare posto i diodi di by-pass ma in molti casi questi ultimi sono realizzati direttamente sul substrato.

Moduli fotovoltaici a concentrazione

I moduli fotovoltaici a concentrazione sono formati da celle ad elevata efficienza, il più delle volte di tipo tandem, ma di piccola dimensione, sulle quali viene fatta convergere la radiazione solare per mezzo di opportuni sistemi ottici.

In questo modo, pur utilizzando tecnologie di costo elevato, le quantità impiegate di materiale semiconduttore sono molto ridotte.

In letteratura si possono trovare numerosi esempi di moduli fotovoltaici a concentrazione, dai più semplici, con bassi livelli di concentrazione, ai più sofisticati che concentrano la radiazione solare di un fattore 500 - 1 000 o anche maggiore. Una delle tecnologie maggiormente impiegate fa uso di una disposizione a matrice di celle fotovoltaiche sormontate da un rivestimento anteriore sagomato con lenti di Fresnel, come nell'esempio di *figura 4.9*.

I moduli fotovoltaici a concentrazione sono quindi in grado di convertire la radiazione solare con elevata efficienza ad un costo



Nei moduli double-face, ovviamente, le scatole di giunzione non devono coprire le celle.

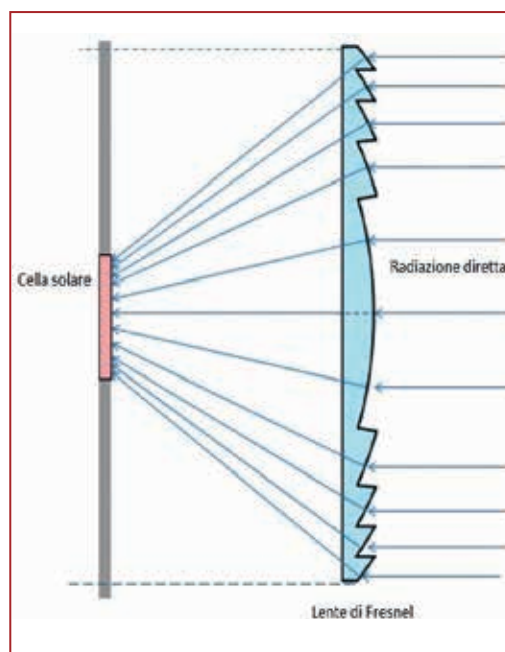


Figura 4.9 - Esempio di modulo fotovoltaico a concentrazione con lenti di Fresnel.

contenuto. Tuttavia hanno anche evidenziato alcuni problemi la cui soluzione appare lontana, tra questi:

- soprattutto nel caso di elevata concentrazione, non è possibile sfruttare la radiazione diffusa, che invece rappresenta una frazione importante della radiazione solare disponibile;
- sono sempre richiesti dei sistemi di puntamento che, nel caso di elevata concentrazione devono essere molto precisi, dell'ordine di 1° e anche più;
- concentrazione elevata significa anche elevato surriscaldamento locale; non è sempre facile asportare il calore generato ed evitare così perdite di efficienza o anche, in alcuni casi estremi, la distruzione delle celle.

Per quanto visto, il fotovoltaico a concentrazione, benché già disponibile in commercio, è ancora in gran parte da considerare a livello di sperimentazione e sviluppo.

Principali caratteristiche dei moduli fotovoltaici commerciali

Le caratteristiche dei moduli fotovoltaici in commercio derivano in gran parte dalla tecnologia impiegata e dal numero di celle utilizzate. Infatti, la curva tensione-corrente di un modulo fotovoltaico non è altro che la curva della singola cella amplificata sull'asse delle tensioni, dato che le celle sono collegate tra loro prevalentemente in serie.

Caratteristiche a STC e NMOT

In un componente fotovoltaico il punto di massima potenza sulla curva tensione corrente è il punto in corrispondenza del quale la potenza prodotta è massima.

Da un punto di vista matematico, esso corrisponde al punto di tangenza tra la curva tensione-corrente e l'iperbole $V \cdot I = P_m$, nella quale P_m esprime la potenza massima.

Per un modulo fotovoltaico sono allora fornite le seguenti caratteristiche a STC

(1 000 W/m² con AM 1.5 e temperatura di cella di 25 °C).

| | |
|--------------|---------------------------------------|
| V_m [V] | Tensione nel punto di massima potenza |
| I_m (A) | Corrente nel punto di massima potenza |
| V_{oc} [V] | Tensione a circuito aperto |
| I_{sc} [A] | Corrente di corto circuito |
| P_m [W] | Potenza erogata a STC |

Nel caso di moduli fotovoltaici in silicio cristallino è facile dedurre il valore approssimato della tensione nel punto di massima potenza V_m sulla base del numero di celle, dato che per una singola cella tale valore è di circa 0,5 V. Pertanto, ad esempio, nel caso si un modulo da 60 celle possiamo aspettarci una V_m intorno a 30 V.

Spesso il costruttore fornisce questi valori in condizioni diverse, il più delle volte a NMOT (*Nominal Module Operating Temperature*), ossia a 800 W/m², temperatura ambiente: 20 °C e velocità del vento: 1 m/s (in specifiche condizioni di prova). Un tempo invece ci si riferiva alla NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*), del tutto analoga, ma nella cui prova il circuito era lasciato aperto anziché essere collegato a un carico dissipativo come nel caso della NMOT.

La NMOT fornisce quindi la temperatura a cui si porta la cella nelle specifiche condizioni di prova.

Un ulteriore dato fornito dal costruttore riguarda la tolleranza della potenza massima rispetto al valore dichiarato. A questo proposito, P_m può rappresentare il valore medio se la tolleranza è centrata su di esso (es. ±3%), oppure un estremo della distribuzione dei valori possibili (per esempio -0% ÷ +5%).

Spesso il costruttore fornisce le curve tensione-corrente e potenza-tensione del modulo fotovoltaico al variare dell'irraggiamento solare, come nell'esempio di *figura 4.10*, lasciando invariati i rimanenti parametri STC.



Le caratteristiche dei moduli fotovoltaici in commercio derivano in gran parte dalla tecnologia impiegata e dal numero di celle utilizzate



Lo spessore del vetro anteriore è sempre indicato, così come lo spessore del vetro posteriore quando presente

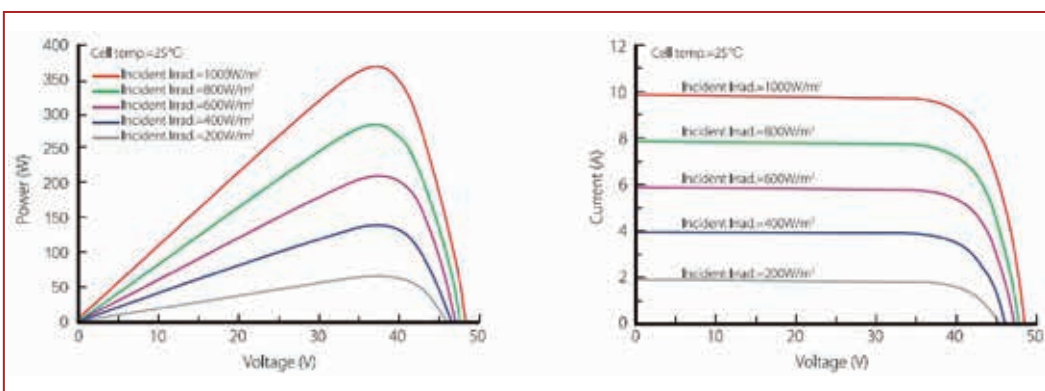


Figura 4.10 - Esempio di curve potenza-corrente e tensione-corrente al variare dell'irraggiamento

Coefficienti di temperatura

La dipendenza dalla temperatura delle prestazioni di un modulo fotovoltaico rispecchia quella già vista per le celle. Il costruttore fornisce pertanto i valori α , β , γ rispettivamente per I_{sc} , V_{oc} e P_m , espressi come valore assoluto o percentuale.

Spesso il costruttore fornisce anche le curve tensione-corrente del modulo fotovoltaico a diverse temperature di cella, come nell'esempio di figura 4.11, nella quale i rimanenti parametri STC restano invariati.

Dati dimensionali

I costruttori forniscono le dimensioni esterne del modulo fotovoltaico con lo spessore com-

prensivo della scatola di giunzione. In genere viene anche fornito un disegno semplificato, come nell'esempio di figura 4.12, nel quale è riportato lo spessore del laminato, le dimensioni della larghezza della cornice, quando presente, e le dimensioni esterne della scatola di giunzione. Lo spessore del vetro anteriore è sempre indicato, così come lo spessore del vetro posteriore quando presente.

Un altro dato importante riguarda il peso del modulo fotovoltaico.

Altre informazioni

La tecnologia delle celle utilizzate (silicio mono o poli cristallino, tipo di film sottile, ecc.) è fondamentale ed è sempre indicata, così come tutte le possibili varianti (*back-contacts*, eterogiunzioni, ecc.).

Spesso sono anche specificati l'incapsulante impiegato e il foglio plastico posteriore, quando presente, o in alternativa le caratteristiche del vetro posteriore.

Altro dato fondamentale è la tensione massima di sistema alla quale il modulo fotovoltaico può lavorare e la relativa classe di isolamento che, ad esclusione delle applicazioni a bassissima tensione di sicurezza, deve sempre corrispondere alla Classe II.

Altri dati importanti sono il codice IP (resistenza alla penetrazione di solidi e liquidi) della scatola di giunzione, il tipo e la lunghezza dei cavi impiegati e il tipo e il costruttore dei connettori applicati.

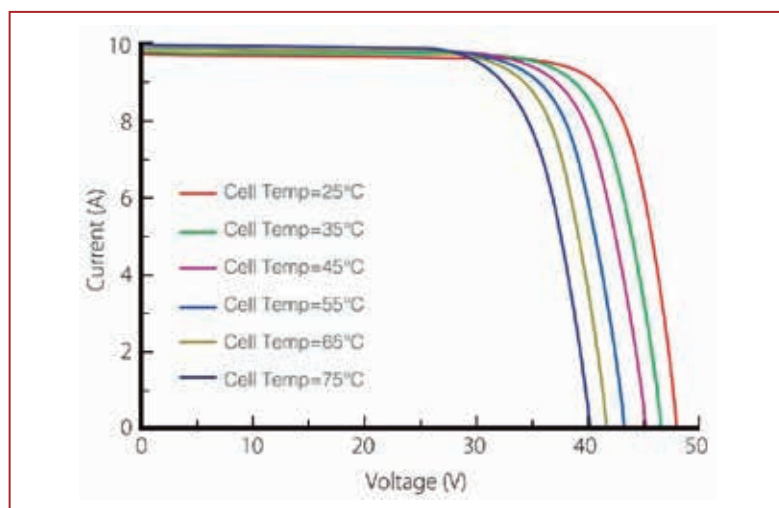


Figura 4.11 - Esempio di curve tensione-corrente di un modulo FV al variare della temperatura di cella. (BlueSun).

Requisiti normativi

I moduli fotovoltaici sono forse i componenti elettrici maggiormente soggetti a normazione e attorno ai quali vi è un costante lavoro di sviluppo e aggiornamento di criteri e standard qualitativi, parallelamente all'evoluzione della tecnologia. Le norme riguardano non solo i moduli fotovoltaici in sé ma anche tutti i materiali utilizzati.

In pratica, quasi tutte le norme esistenti hanno origine dall'*International Electrotechnical Committee* (IEC) e successivamente sono adottate dai comitati nazionali come il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI). In molti casi le norme sono armonizzate alle direttive europee dal CENELEC.

Nel seguito sono brevemente descritte le principali norme di prodotto sui moduli fotovoltaici.

CEI EN 61215 (serie)

Si tratta di una serie di norme, tra loro collegate, di fondamentale importanza, finalizzate alla definizione dei requisiti dei

moduli fotovoltaici e alla descrizione delle prove necessarie alla loro verifica. Queste norme si riferiscono ai moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri, adatti al funzionamento di lunga durata in climi all'aria aperta.

Obiettivo della sequenza di prove è determinare le caratteristiche elettriche, meccaniche e termiche del modulo e verificare, per quanto possibile entro ragionevoli limiti di costo e di tempo, che il modulo sia in grado di sopportare l'esposizione prolungata ai climi descritti nel campo di applicazione.

La *tabella 4.1* riporta i riferimenti di questa serie di norme.

La CEI EN 61215-1 riporta le informazioni principali per condurre le prove, i criteri di accettazione dei risultati e la documentazione da produrre. In essa è inoltre contenuto l'elenco delle prove con una breve descrizione delle stesse, come riportato in *tabella 4.2*.

Per provare un modulo fotovoltaico secondo la serie CEI EN 61215 occorrono 10 campioni. Alcune prove sono effettuate su



I moduli fotovoltaici sono forse i componenti elettrici maggiormente soggetti a normazione

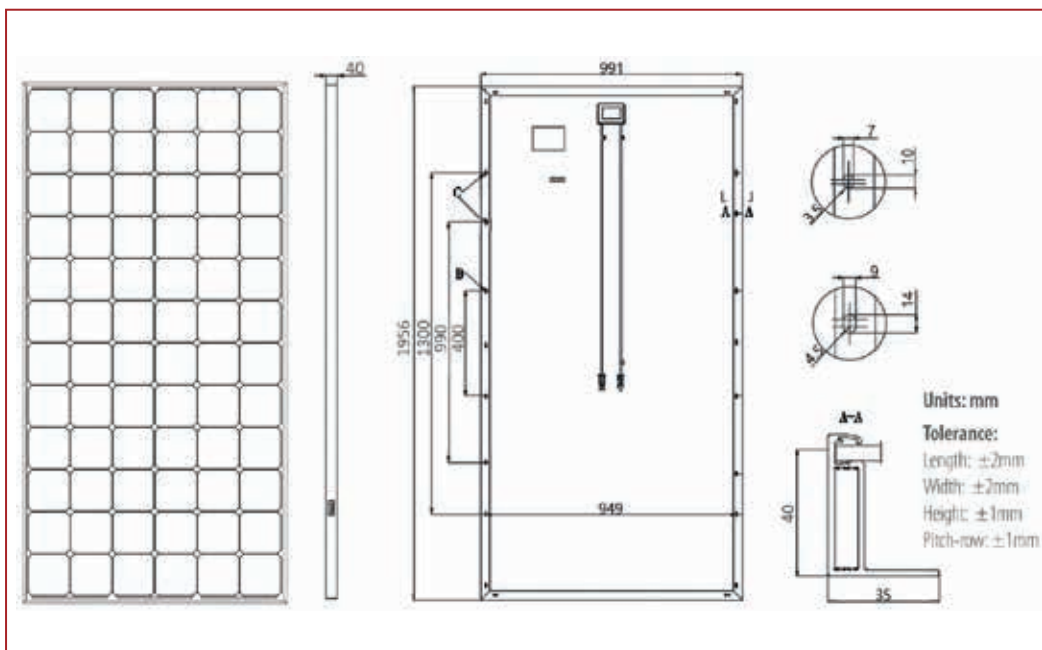


Figura 4.12 - Esempio di disegno semplificato di un modulo FV con i principali dati dimensionali.

| Riferimento | Titolo | Pagine |
|------------------|---|--------|
| CEI EN 61215-1 | Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1: Prescrizioni per le prove | 28 |
| CEI EN 61215-1-1 | Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-1: Prescrizioni particolari per le prove di moduli fotovoltaici (FV) in silicio cristallino | 20 |
| CEI EN 61215-1-2 | Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-2: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in tellururo di cadmio (CdTe) | 12 |
| CEI EN 61215-1-3 | Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-3: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in silicio amorfo | 18 |
| CEI EN 61215-1-4 | Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 1-4: Requisiti particolari per la prova dei moduli fotovoltaici (FV) a film sottile in seleniuro di rame-indio-gallio (CIGS) e in seleniuro di rame-indio (CIS) | 18 |
| CEI EN 61215-2 | Moduli fotovoltaici (FV) per applicazioni terrestri - Qualifica del progetto e omologazione del tipo Parte 2: Procedure di prova | 52 |

Tabella 4.1 - Riferimenti delle norme della serie CEI EN 61215.

tutti i campioni mentre altre riguardano solo alcuni di essi secondo la sequenza riportata nella norma CEI EN 61215-1

Le norme CEI EN 61215-1-1/4 inseriscono alcune varianti all'elenco ora visto in relazione ad esigenze specifiche legate alla tecnologia di conversione di riferimento.

Le principali modifiche riguardano la MQT 19 (Stabilizzazione).

La norma CEI 61215-2 descrive invece nel dettaglio ciascuna prova.

CEI EN IEC 61730-1/2

Si tratta di due norme di fondamentale importanza, finalizzate alla sicurezza sotto vari aspetti.

La *tabella 4.3* riporta i riferimenti di questa serie di norme.

La CEI EN IEC 61730-1 specifica e descrive le prescrizioni fondamentali per la costruzione di moduli fotovoltaici con l'obiettivo di garantirne la sicurezza nel funzionamento dal punto di vista elettrico e mec-

canico. A tale scopo, nel documento sono contenute le indicazioni atte a prevenire gli shock elettrici, i pericoli di incendio e le lesioni personali dovute a stress meccanici e ambientali.

La CEI EN IEC 61730-2 riguarda invece le prove finalizzate alla sicurezza.

La sequenza di prove e i criteri di accettazione sono stati progettati in modo da poter rilevare le potenziali rotture di componenti interni ed esterni di moduli fotovoltaici che potrebbero provocare danni alle cose e/o lesioni personali.

Le categorie di prova comprendono l'ispezione generale, il pericolo di shock elettrici, il pericolo di incendio, la sollecitazione meccanica e lo stress ambientale.

La sequenza di prove della CEI EN IEC 61730-2 ne prevede alcune già presenti nella CEI EN 61215-2.

Pertanto, nella *tabella 4.4* sono indicati i riferimenti delle prove contenute in tale norma.



Le norme riguardano non solo i moduli fotovoltaici in sé ma anche tutti i materiali utilizzati

| Sigla | Titolo | Descrizione |
|--------|---|--|
| MQT 01 | Ispezione visiva | Descritta nella norma. |
| MQT 02 | Determinazione della potenza massima | Descritta in altra norma (CEI EN 60904-1). |
| MQT 03 | Prova di isolamento | Per moduli fotovoltaici con tensione di sistema > 50 V si applica una tensione pari a 1000 V + 2 · tensione di sistema per 1 min. Si misura poi la resistenza di isolamento alla tensione di sistema (o a 500 V se inferiore) per 2 min. Per moduli FV con tensione di sistema ≤ 50 V si fa una prova di isolamento a 500 V. |
| MQT 04 | Misura dei coefficienti di temperatura | Descritta in altra norma (CEI EN 60891, vedere anche la CEI EN 60904-10). |
| MQT 05 | Misura della NMOT | Condizioni ambientali con irraggiamento totale: 800 W/m ² , temperatura ambiente: 20 °C e velocità del vento: 1 m/s. |
| MQT 06 | Prestazioni a STC e a NMOT | In condizioni STC la temperatura di cella: 25 °C e irraggiamento: 1000 W/m ² . |
| MQT 07 | Prestazioni a basso irraggiamento | Temperatura di cella: 25 °C e irraggiamento: 200 W/m ² . |
| MQT 08 | Prova di esposizione all'esterno | Con radiazione solare totale (cumulata) di 60 kWh/m ² . |
| MQT 09 | Prova di resistenza agli hot-spot | Esposizione a 1000 W/m ² nelle condizioni peggiori per la formazione di <i>hot-spot</i> . |
| MQT 10 | Precondizionamento agli UV | Esposizione a 15 kWh/m ² di UV con lunghezza d'onda da 280 a 400 nm con una frazione compresa tra 3% e 10% di lunghezza d'onda da 280 a 320 nm. |
| MQT 11 | Prova ai cicli termici | 50 cicli (sequenza C) o 200 cicli (sequenza D) da -40 °C a +85 °C con corrente impressa fino a +80 °C. |
| MQT 12 | Prova al freddo-umido | 10 cicli da +85 °C, 85% UR a -40 °C con monitoraggio della continuità circuitale |
| MQT 13 | Prova al caldo-umido | 1000 ore a +85 °C, 85% UR |
| MQT 14 | Prova di robustezza delle terminazioni | Prova sulla resistenza della scatola di giunzione e ancoraggio dei cavi |
| MQT 15 | Prova della dispersione di corrente in ambiente umido | Incremento della tensione di prova non superiore a 500 V/s alla tensione massima di sistema del modulo con un minimo di 500 V. Mantenimento della tensione per 1 min. |
| MQT 16 | Prova di carico meccanico statico | Tre cicli di carico uniforme di valore specificato da costruttore per 1 ora, sulle superfici fronte e retro. Carico minimo: 2400 Pa. |
| MQT 17 | Prova di grandine | Sfere di ghiaccio da 25 mm di diametro dirette verso 11 pinti specifici con velocità di 23 m/s. |
| MQT 18 | Prova termica dei diodi di by-pass | 1 ora a I _{sc} e 75 °C, 1 ora a 1,25·I _{sc} e 75 °C. Prove funzionali secondo la MQT 18.2. |
| MQT 19 | Stabilizzazione | Tre misure consecutive della potenza di uscita P1, P2 e P3 secondo la MQT 02. La potenza STC è determinata con la procedura MQT 06.1 |

Tabella 4.2 - Elenco delle prove per i moduli fotovoltaici secondo la CEI EN 61215-1.



Le categorie di prova comprendono l'ispezione generale, il pericolo di shock elettrici, il pericolo di incendio, la sollecitazione meccanica e lo stress ambientale

| Riferimento | Titolo | Pagine |
|--------------------|---|--------|
| CEI EN IEC 61730-1 | Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte 1: Prescrizioni per la costruzione | 64 |
| CEI EN IEC 61730-2 | Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) Parte 2: Prescrizioni per le prove | 68 |

Tabella 4.3 - Riferimenti delle norme CEI EN 61730-1/2.

| Sigla | Titolo | Riferimenti CEI EN 61215-2 | Altri riferimenti |
|--|---|----------------------------|--------------------------|
| Prove contro il pericolo di shock elettrico | | | |
| MST 11 | Prova di accessibilità | - | IEC 61032 |
| MST 12 | Prova di suscettibilità alla rottura | - | ANSI/UL 1703 |
| MST 13 | Prova di continuità a terra | - | ANSI/UL 1703 |
| MST 14 | Prova di tensione all'impulso | - | IEC 60664-1 |
| MST 16 | Prova di isolamento | MQT 03 | |
| MST 17 | Prova della dispersione di corrente in ambiente umido | MQT15 | |
| MST 42 | Prova di robustezza delle terminazioni | MQT 14 | |
| Prove di rischio di incendio | | | |
| MST 21 | Prova di temperatura | | ANSI/UL 1703 |
| MST 22 | Prova di resistenza agli hot-spot | MQT 09 | |
| MST 23 | Prova di resistenza al fuoco | | Codici nazionali/ locali |
| MST 24 | Prova di infiammabilità | | ISO 11925-2 |
| MST 25 | Prova termica dei diodi di by-pass | MQT 18 | |
| MST 26 | Prova di sovraccarico per corrente inversa | | ANSI/UL 1703 |
| Prove di stress meccanico | | | |
| MST 32 | Prova di rottura del modulo | | |
| MST 33 | Prova di connessione a vite | | |
| MST 34 | Prova di carico meccanico statico | MQT 16 | |
| MST 35 | Prova di separazione | | ISO 5893 |
| MST 36 | Prova di resistenza al taglio da sovrapposizione | | ISO 4587 |
| MST 37 | Prova di scorrimento dei materiali | | |
| MST 42 | Prova di robustezza delle terminazioni | MQT 14 | |

Tabella 4.4 - Elenco delle prove per i moduli fotovoltaici secondo la CEI EN IEC 61730-2.

Altre norme di interesse

La tabella 4.5 riporta ulteriori norme che possono rivelarsi utili nell'utilizzo dei moduli fotovoltaici, soprattutto in relazione a specifiche esigenze.

Alcuni documenti non sono stati ancora adottati dal CEI, il più delle volte perché sono in realtà delle *technical specification* (TS) e pertanto sono elencati nella versione in lingua inglese IEC.

| Riferimento | Titolo | Pagine |
|------------------|---|--------|
| CEI EN 61701 | Prova di corrosione da nebbia salina dei moduli fotovoltaici (FV) | 22 |
| CEI EN 62716 | Prove di resistenza alla corrosione da ammoniaca dei moduli fotovoltaici (FV) | 20 |
| IEC TS 62804-1 | Photovoltaic (PV) modules - Test methods for the detection of potential-induced degradation - Part 1: Crystalline silicon | 15 |
| IEC TS 62804-1-1 | Photovoltaic (PV) modules - Test methods for the detection of potential-induced degradation - Part 1-1: Crystalline silicon - Delamination | 16 |
| IEC TS 62804-2 | Photovoltaic (PV) modules - Test methods for the detection of potential-induced degradation - Part 2: Thin-film | 44 |
| CEI EN 62759-1 | Prove di trasporto di moduli fotovoltaici (FV) Parte 1: Trasporto e spedizione di pile di moduli | 26 |
| CEI EN 62790 | Scatole di giunzione per moduli fotovoltaici - Prescrizioni di sicurezza e prove | 60 |
| CEI EN 62852 | Connettori per applicazione in c.c. nei sistemi fotovoltaici - Prescrizioni di sicurezza e prove | 50 |
| CEI EN 62979 | Prova di deriva termica dei diodi di bypass per moduli fotovoltaici | 22 |
| CEI EN IEC 62941 | Moduli fotovoltaici per applicazioni terrestri - Sistema di gestione qualità per la produzione di moduli FV | 34 |
| IEC TS 62782 | Photovoltaic (PV) modules - Cyclic (dynamic) mechanical load testing | 9 |
| CEI EN IEC 62892 | Prova prolungata di ciclo termico di moduli FV - Procedura di prova | 26 |
| IEC TS 62994 | Photovoltaic (PV) modules through the life cycle - Environmental health and safety (EH&S) risk assessment - General principles and nomenclature | 32 |
| CEI EN 62108 | Moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) - Qualifica di progetto e approvazione di tipo | 58 |

Tabella 4.5 - Ulteriori norme per moduli fotovoltaici.



Alcuni documenti non sono stati ancora adottati dal CEI



Un altro documento spesso richiesto è il certificato di ispezione di fabbrica o *Factory inspection*



La CEI EN 62108 è dedicata alle prove sui moduli fotovoltaici a concentrazione ed è fondamentale per l'approvazione di questi particolari componenti.

Va inoltre ricordato che ai costruttori di moduli fotovoltaici può essere richiesta la certificazione ISO 9001 sul sistema di gestione del-

la qualità (anche in abbinamento con la CEI EN IEC 62941), la certificazione ISO 14001 sul sistema di gestione ambientale e OHSAS 18001 (oppure la ISO 45001) sul sistema di gestione della sicurezza e salute. Un altro documento spesso richiesto è il certificato di ispezione di fabbrica o *Factory inspection*.

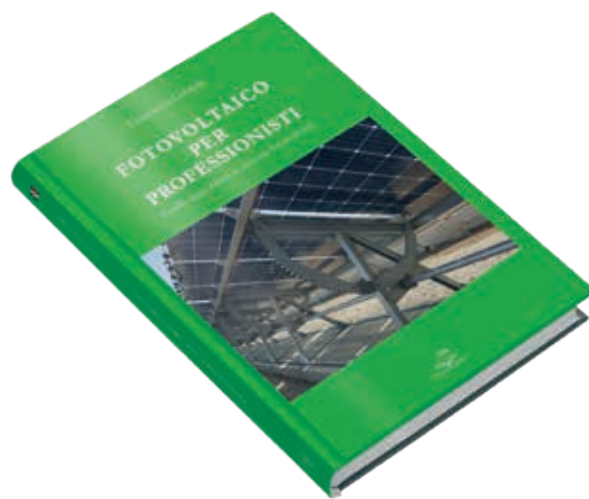
FOTOVOLTAICO PER PROFESSIONISTI

Guida aggiornata ai sistemi fotovoltaici

Autore: Francesco Groppi

Prezzo: 30,00 €

Pagine: 288



PER L'ACQUISTO

<https://libri.editorialedelfino.it/prodotto/fotovoltaico-per-professionisti/>

