

IL RENDIMENTO DEI MODULI FOTOVOLTAICI

Aspetti che inficiano l'efficienza dei moduli fotovoltaici.

Damiano Quinci

L'energia solare fotovoltaica si dimostra una buona alternativa per fornire l'aumento dell'attuale domanda di energia, poiché esiste in una disponibilità inesauribile di risorse e quando si tratta di produrre energia non genera grandi impatti ambientali rispetto alle fonti convenzionali che utilizzano risorse fossili. L'articolo indica i fattori che influenzano l'efficienza di un pannello solare fotovoltaico in quanto l'efficienza e la potenza fornita da un pannello fotovoltaico sono condizioni che sono influenzate, principalmente dagli aspetti ambientali e dalle tecnologie utilizzate nel suo processo di fabbricazione. Tuttavia, c'è ancora spazio per ulteriori miglioramenti principalmente nelle celle solari, che sono gli elementi più importanti per questo tipo di generazione di energia. L'efficienza delle celle solari è probabilmente l'elemento più decisivo per il funzionamento di un sistema fotovoltaico, pertanto, aumentando l'efficienza mitigando i fattori che influenzano le prestazioni delle celle è diventata l'obiettivo principale negli ultimi anni.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico è l'insieme di apparecchiature elettriche ed elettroniche che producono energia elettrica dalle radiazioni solari attraverso l'effetto fotoelettrico. I sistemi fotovoltaici possono essere, sistemi autonomi e sistemi interconnessi alla rete elettrica. I sistemi autonomi attraverso un pannello solare producono energia, per essere successivamente immagazzinati in batterie per utilizzarla in qualsiasi momento. Negli impianti fotovoltaici interconnessi alla rete, l'energia viene resa disponibile all'utente attraverso la rete elettrica, per questo

Figura 1 – Componenti di un impianto fotovoltaico connesso alla rete (Grid - connected).

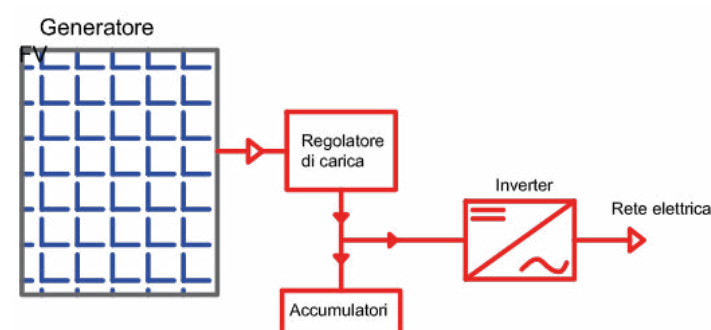
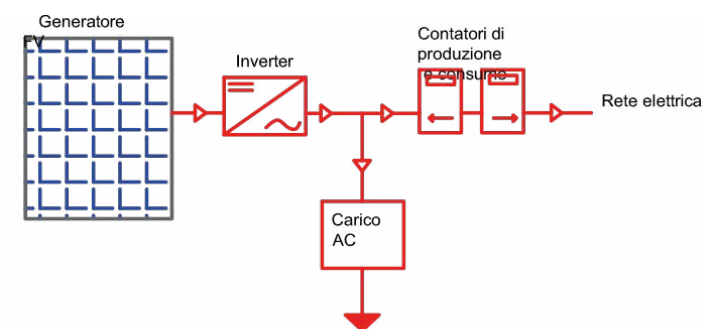


Figura 2 – Componenti di un impianto fotovoltaico autonomo (stand-alone).



sono necessarie apparecchiature aggiuntive, come mostrato in figura 1, rispetto all'apparecchiatura tipica di un impianto fotovoltaico autonomo, figura 2.

FUNZIONAMENTO DI UN PANNELLO FOTOVOLTAICO

Il principio di funzionamento dei pannelli fotovoltaici si basa sull'effetto fotovoltaico o sull'effetto fotoelettrico, catturando fotoni dalla luce solare, che influenzano una certa quantità di energia sulla superficie del pannello, questa interazione provoca il distacco degli elettroni dagli atomi di silicio, rompendo e attraversando la potenziale barriera dello strato semiconduttore. Questo genera una differenza di potenziale per cui, se si collega a un elemento di carico o consumo elettrico tra i terminali del pannello avvia una circolazione in corrente continua.

CELLE FOTOVOLTAICHE

Le celle fotovoltaiche hanno il compito di catturare la radiazione solare e trasformarla in elettricità, generando una corrente continua (CC), anche chiamata diretta (DC). Il numero di pannelli sarà determinato dalla potenza che deve essere fornita e la loro disposizione e modalità di connessione (in serie o in parallelo) dipenderanno dalla tensione di alimentazione nominale e dall'intensità di corrente da generare.

Le celle fotovoltaiche sono dispositivi costituiti da metalli sensibili alla luce che rilas-

ciano elettroni quando i fotoni li colpiscono. Essi convertono l'energia luminosa in energia elettrica. Una cella fotovoltaica è costruita con due tipi di silicio che, se colpiti dall'energia solare, producono una differenza di potenziale tra loro e, se collegati ad un circuito elettrico, scorrerà una corrente.

TIPI DI CELLE SOLARI

I moduli fotovoltaici sono costituiti da celle solari, comunemente realizzati in silicio poiché questo materiale esiste in grande abbondanza sulla terra, ha un basso tasso di contaminazione, ha un'elevata durabilità nel tempo e ha eccezionali proprietà fisico-chimiche. Le celle al silicio possono essere classificate in tre tipi a seconda del loro processo di produzione: celle monocristalline, policristalline e a film sottile o celle solari amorfe.

CELLE MONOCRISTALLINE

Le celle monocristalline sono tagliate in sottili wafer di un cristallo continuo (silicio), ogni cella presenta un colore uniforme, che normalmente va dal blu al nero. Il silicio utilizzato in questo tipo di cella ha un'elevata purezza e una perfetta struttura cristallina. Come risultato del processo di fabbricazione, le celle hanno uno spessore di circa 10-10 cm² e 350 μm, con efficienza di utilizzo diretto tra il 14-17%. L'affidabilità delle celle solari è molto elevata e non necessitano di manutenzione. Sono piuttosto insensibili alle variazioni climatiche e agli agenti atmosferici, tranne, naturalmente, quelli che impediscono l'arrivo della luce. La disposizione delle celle in un mezzo flessibile e trasparente estende il campo di applicazioni per l'energia solare fotovoltaica, come la possibilità di incorporarli in piccoli dispositivi elettronici o convertire grandi aree vetrificate come generatori di energia elettrica.

CELLE POLICRISTALLINE

I fogli policristallini sono fabbricati attraverso

so un processo stampaggio, per questo il silicio viene fuso e quindi versato negli stampi. Una volta che il materiale si è asciugato, viene tagliato in fogli sottili. Il processo di stampaggio è meno costoso da produrre rispetto al silicio monocristallino, ma sono meno efficienti perché il processo lascia imperfezioni sulla superficie del foglio. L'efficienza di conversione raggiunge valori intorno al 19,8% in laboratorio e al 14% in pannelli commerciali. Le caratteristiche del silicio cristallizzato rendono i pannelli in silicio policristallino con uno spessore considerevole. Usando il silicio con altri materiali semiconduttori, è possibile ottenere pannelli più sottili e persino flessibili. In entrambi i processi di fabbricazione di fogli di silicio monocristallino e policristallino, quasi la metà del silicio viene persa come polvere durante il taglio.

CELLE A FILM SOTTILE O AMORFO

Le celle a film sottile sono in silicene o sono prodotte da nuovi materiali, come l'arseniuro di gallio, tellururo di cadmio, solfuro di rame, indio e gallio. Queste celle, chiamate anche amorfe, sono protette da incapsulamento con vetro frontale e uno con protezione posteriore. Questo tipo di tecnologia offre una serie di vantaggi quali: deposizione e assemblaggio più semplice, possibilità di essere depositati su substrati o materiali da costruzione economici, che possono anche essere flessibili, produzione in serie e convenienza per applicazioni di grandi dimensioni. I suoi costi sono inferiori rispetto alle due tecnologie precedenti.

EFFICIENZA DELLA CONVERSIONE FOTOVOLTAICA

Il livello di energia fornito da un pannello fotovoltaico dipende da quanto segue:

- Tipo e area del pannello
- Livello di radiazione e insolazione
- Lunghezza d'onda della luce solare

Una cella fotovoltaica al silicio monocristallino da 100 cm² comune di superficie, può produrre circa 1,5 Watt di energia, a 0,5 volt (DC) e 3 A di corrente in condizioni ottimali (luce solare in piena estate ad una radiazione di 1 000 W / m²). La potenza erogata dalla cella è quasi direttamente proporzionale al livello di radiazione solare. Il livello di potenza in uscita per pannello è chiamato potenza di picco, che corrisponde alla potenza massima che può essere fornita dall'insieme di celle nelle seguenti condizioni di prova standard (STC: Standard test conditions, Condizioni di prova standard):

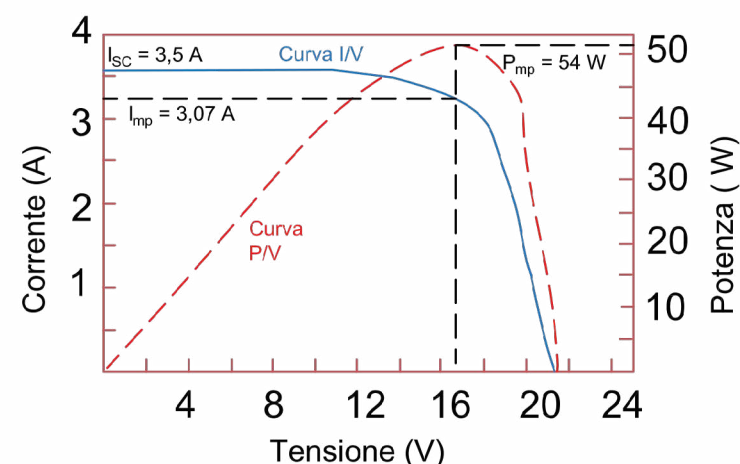
- Radiazione 1 000 W / m²
- Temperatura della cella di 25 °C (non corrisponde alla temperatura ambiente).
- Massa d'aria (AM, Air Mass, = 1,5, per l'Europa).

In queste condizioni è possibile misurare i seguenti parametri:

- Corrente di corto circuito (I_{sc}): corrisponde alla corrente massima in ampere generata da ciascun pannello, quando si collega un carico a resistenza zero ai suoi terminali di uscita. Il suo valore dipende dalla superficie del pannello e dalla radiazione solare.
- Tensione a circuito aperto (V_{oc}): corrisponde alla tensione massima generata da un pannello solare e misurata ai terminali di uscita in assenza di carico collegato, ovvero circuito aperto.

Il comportamento elettrico dei pannelli è dato dalle curve della corrente /tensione (curva I/V) o della potenza /tensione (curva P/V). La curva di potenza è data dal prodotto tra la corrente e la tensione in ciascun punto della curva I/V. La figura 3 mostra le caratteristiche curve I/V e P/V di un tipico pannello disponibile in commercio. Nelle condizioni di prova standard sopra menzionate, ciascun modello di pannello ha una caratteristica curva I/V o P/V. La corrente nominale

Figura 3 – Curva I/V e F/V per un tipico modulo fotovoltaico a 1000 W / m² e 25 ° C.



(I_{mp}) e la tensione nominale (V_{mp}) del pannello sono raggiunte nel punto di massima potenza, mp, Maximum power. Finché il pannello funziona al di fuori del punto di massima potenza, la potenza di uscita sarà significativamente inferiore.

Una caratteristica importante da tenere in considerazione per i pannelli fotovoltaici è che la tensione di uscita non dipende dalle sue dimensioni, poiché a causa delle variazioni dei livelli di radiazione incidente tende a mantenere una tensione di uscita costante. Invece, la corrente è quasi direttamente proporzionale alla radiazione solare e alle dimensioni del pannello. Un modo pratico per aumentare la potenza di uscita del pannello è installare i sistemi di localizzazione solare, al fine di mantenere il pannello il più perpendicolare possibile al sole o di concentrare la luce solare usando lenti o specchi. L'impiego di concentratori devono rientrare in determinati limiti, poiché un notevole aumento della temperatura provoca una riduzione della tensione di uscita e quindi una riduzione della potenza, ma non della corrente, che rimane relativamente stabile. L'efficienza di conversione dell'energia è legata alla percentuale di potenza convertita in energia elettrica dal totale della luce solare assorbita da un pannello, quando una cella solare è collegata ad un circuito elettrici.

co. La conversione di energia e il fattore di riempimento, FF (Fill Factor), sono due metodi per determinare l'efficienza del pannello fotovoltaico. In entrambi i casi è essenziale conoscere il punto di massima potenza (P_{mp}), che corrisponde alla massima potenza che il pannello può erogare. Questo si ottiene quando la tensione (V_{max}) e la corrente (I_{mp}) raggiungono contemporaneamente i loro valori massimi.

Tale valore viene determinato secondo l'equazione [1].

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad [1]$$

dove:

- P_{mp} = Punto di massima potenza;
- V_{mp} = Tensione di massima potenza;
- I_{mp} = Corrente di massima potenza.

L'efficienza, η , di un pannello fotovoltaico corrisponde alla percentuale di energia elettrica generata in relazione alla quantità di energia luminosa ricevuta dal sole, quando il pannello è collegato ad un circuito elettrico. Si determina con l'equazione seguente:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{W \cdot S}$$

dove:

- W = Livello di radiazione sulla superficie del pannello (W/m²), in condizioni standard;
- S = Superficie del pannello fotovoltaico (m²).

EFFICIENZA DEL FATTORE DI RIEMPIMENTO

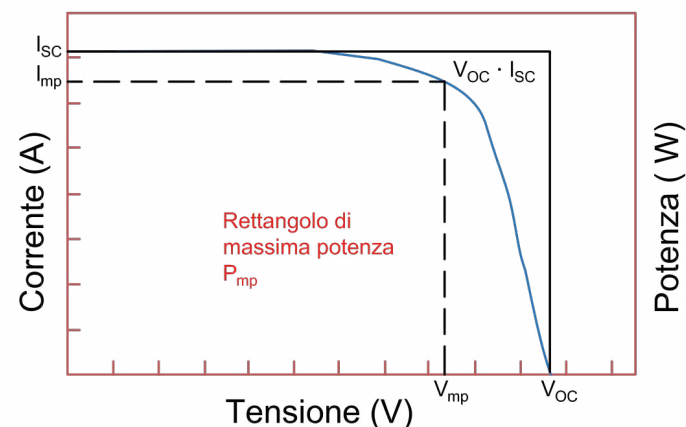
Definisce l'efficienza di un pannello solare, in relazione al punto di massima potenza, diviso per il prodotto tra la tensione a circuito aperto, V_{oc} , e la corrente di corto circuito I_{sc} . Come mostrato nell'equazione

$$\eta = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [2]$$

dove:

- V_{oc} = Tensione a circuito aperto;

Figura 4 - Fattore di riempimento FF (Fill Factor).



I_{sc} = Corrente di corto circuito.

I fattori che influenzano il funzionamento dei pannelli fotovoltaici, al fine di mitigarne gli effetti e ottenere significativi miglioramenti in termini di efficienza per questo tipo di impianto, sono classificati come interni o esterni a seconda della loro natura, funzionamento o ambiente, rispettivamente. Le variazioni climatiche, l'elevata temperatura delle celle solari e l'esposizione all'ambiente, ad esempio, possono influenzare notevolmente le prestazioni dei pannelli solari.

FATTORI PROPRI DEL PANNELLO

I fattori propri sono le condizioni che il pannello solare ha nella sua struttura interna che possono influenzare il suo funzionamento, ad esempio la temperatura di funzionamento del pannello e gli effetti di riflessione e lo sporco.

La temperatura di esercizio del pannello fotovoltaico gioca un ruolo fondamentale nel processo di conversione dell'energia. Sia le prestazioni elettriche che la potenza di uscita del modulo dipendono linearmente dalla temperatura di esercizio del pannello. In media, i pannelli solari assorbono l'80% della radiazione solare ricevuta. Tuttavia, una parte di questa irradiazione viene

convertita in elettricità e il resto in calore. All'aumentare della temperatura, anche la corrente tende ad aumentare, ma la tensione diminuisce notevolmente, causando una diminuzione della potenza. D'altra parte, quando la temperatura diminuisce, la tensione tende ad aumentare, ma la corrente diminuisce, aumentando il livello di potenza erogato da una frazione. Si stima che la potenza nominale sia ridotta di circa lo 0,5% per ogni grado superiore a 25 °C. Questo può essere visto nella figura 5.

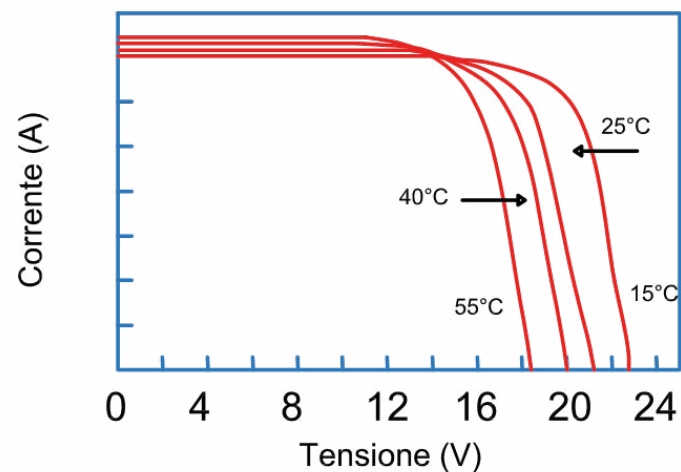
Le perdite di riflessione ottica all'interfaccia (vetro o polimero), dovute alla differenza degli indici di rifrazione, possono raggiungere l'8 o il 9% nello spettro visibile della radiazione solare.

Questo effetto è indesiderabile e viene colmato con opportune modifiche superficiali delle celle solari al fine di ridurre la riflessione sull'interfaccia del materiale, per esempio inserendo un rivestimento di silice con proprietà antiriflesso e antispurco in modo da aumentare la trasmittanza media ed avere quindi un aumento della potenza dell'impianto FV rispetto ad una matrice non rivestita.

FATTORI ESTERNI AL PANNELLO

Nei fattori esterni al pannello solare si pos-

Figura 5 - Effetti della temperatura sulla generazione di energia in un pannello solare.



sono trovare aspetti come le variazioni climatiche, l'angolo di inclinazione e l'ombreggiamento, che possono influenzare notevolmente le prestazioni del pannello solare. Le variazioni climatiche degli impianti fotovoltaici si riferiscono in particolare alla radiazione solare e alle condizioni di temperatura ambiente. Infatti per produrre il movimento degli elettroni e generare flusso di corrente, è necessario che il livello di radiazione che colpisce il pannello (fotoni) abbia una quantità di energia tra determinati limiti. Poiché la luce incidente ha diverse lunghezze d'onda, circa il 50% della radiazione ricevuta non rientra nell'intervallo accettato dai pannelli solari disponibili in commercio e viene perso, o per troppa o per troppo poca energia. D'altra parte, la corrente è direttamente proporzionale alla radiazione incidente e accettata dal pannello, quindi un basso livello di energia radiante farà sì che anche la corrente generata sia bassa, la figura 6 mostra le curve I/V per diversi livelli di radiazione.

L'angolo di inclinazione del pannello influisce sulla radiazione solare che raggiunge la superficie della cella. Quando il pannello viene posizionato perpendicolarmente in direzione del sole, riceve la massima radiazione per un certo periodo di tempo, essendo

questo considerato l'angolo di inclinazione ottimale.

Questo angolo è influenzato da fattori quali la latitudine, le caratteristiche della radiazione solare e il periodo di utilizzo. Gli inseguitori solari si presentano come un progresso tecnologico che cerca di diminuire totalmente le perdite dovute all'inclinazione fissa che il pannello solare presenta, in quanto l'inseguitore ha la capacità di orientamento verso il sole, che permette al pannello di essere sempre orientato perpendicolarmente al sole e quindi di ricevere la massima radiazione solare durante l'intera giornata, in maniera tale che le sue prestazioni aumentino.

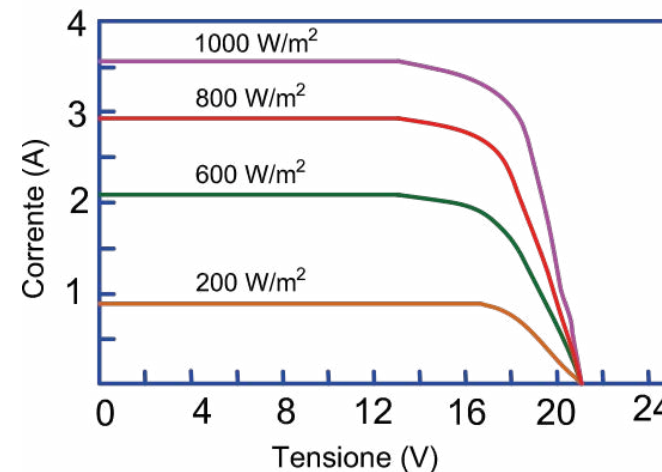
L'effetto di ombreggiamento è causato quando la luce che colpisce la superficie del pannello viene ostruita causando disallineamenti di tensione e corrente nel sistema. Ciò è dovuto principalmente alle formazioni d'ombra prodotte da elementi vicini ai pannelli, come alberi, strutture o agenti esterni che impediscono alla luce del sole di raggiungere uniformemente la superficie del pannello. L'effetto ombreggiamento causando perdite nella raccolta dell'energia riduce la produzione di energia e l'efficienza di conversione energetica dell'impianto fotovoltaico, il che porta a fluttuazioni della potenza erogata e causa danni ai componenti dell'impianto FV come l'inverter o le batterie.

PERDITE ENERGETICHE

Come sappiamo, in qualsiasi sistema di produzione di energia, l'energia finale è molto meno di quella generata. I fattori che causano una diminuzione delle prestazioni lungo l'impianto fotovoltaico sono le seguenti:

- Perdite dovute al mancato raggiungimento della potenza nominale. La potenza nominale che i moduli fotovoltaici sono in grado di fornire non è un valore esatto ma funzionano in una gamma di

Figura 6 - Effetti del livello di radiazioni sulla corrente.



potenze. Se tutti lavorano nella banda inferiore, la potenza nominale non sarà sufficiente e, quindi, il sistema genererà una potenza inferiore al previsto.

- Perdita di connessione. Ciò si verifica quando i moduli sono collegati in serie o in parallelo. Nella connessione in serie, la corrente è limitata ai moduli che hanno una potenza nominale leggermente inferiore rispetto al resto, poiché la corrente che genera sarà inferiore agli altri. Nel collegamento parallelo, succede qualcosa di simile ma con i valori di tensione. In ogni caso, queste perdite possono essere ridotte con l'uso dei diodi "bypass".
- Perdite dovute a polvere e sporco. La deposizione di polvere e sporco sulla superficie di un modulo fotovoltaico riduce la corrente e la tensione erogate dal generatore, causando perdite e perdite di collegamento dovute alla formazione di punti caldi.
- Perdite angolari e spettrali. Nel caso in cui la radiazione solare colpisca la superficie fotovoltaica con un angolo diverso da 0°, si verificano perdite angolari. Lo stesso accade se aumenta il grado di sporco. Per quanto riguarda le perdite spettrali, è necessario sottolineare che la corrente generata è diversa a seconda della lunghezza d'onda della radiazione incidente.
- Perdita dovuta a cadute ohmiche nel cablaggio. Perdite di energia causate dalla caduta di tensione dovuta alla circolazione della corrente attraverso un conduttore. Ciò può essere evitato selezionando il materiale appropriato e la sezione del conduttore.
- Perdite di temperatura. Questo fattore dipende dalla radiazione, dalla temperatura ambiente, dal vento, dalla posizione dei moduli, ecc. Generalmente, i moduli fotovoltaici mostrano una perdita di potenza del 4% a causa dell'aumento della temperatura di 10 °C.
- Perdite derivanti dal rendimento degli in-

verter. Per ridurre queste perdite, è consigliabile scegliere un inverter che abbia una potenza adeguata a seconda della potenza del generatore fotovoltaico, nonché prestazioni elevate in condizioni operative nominali.

- Perdite di rendimento per l'inseguimento del punto di massima potenza (Maximum Power Point Tracking, MPPT). Questo rendimento descrive la precisione dell'inverter a lavorare in quel punto, secondo le curve caratteristiche del generatore. L'efficienza energetica dell'MPPT (η_{MPPT}) è definita come il rapporto tra il valore istantaneo della potenza erogata, in un periodo di tempo definito, e il valore della potenza istantanea erogata all'MPP, cioè;

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{MPP}}, \text{ dove } P_{DC} \text{ è la potenza misurata}$$

e a dotata dall'inverter, è la potenza stabilita nel punto di massima potenza (MP-P). Tuttavia, va notato che il rendimento MPPT può essere diviso in altre due rendimenti: rendimento statico e dinamico. Il rendimento statico descrive la precisione con cui l'inverter è in grado di funzionare nel punto di massima potenza corrispondente alla curva caratteristica statica del generatore FV. Il rendimento dinamico valuta il passaggio dell'inverter al nuovo punto di massima potenza, tenendo conto delle variazioni dell'intensità di irraggiamento.

- Perdite per ombreggiamento del generatore fotovoltaico. La presenza di ombre provoca un minore assorbimento solare, il che significa meno corrente. Può causare perdite di connessione.

CONCLUSIONI

L'articolo ha analizzato i fattori che influenzano l'efficienza dei pannelli solari sia all'interno che all'esterno del pannello. Questi fattori fanno sì che la potenza di uscita del pannello e quindi l'efficienza ne risentano

gravemente. Inoltre si è detto quali sono i fattori che non permettono il rendimento ottimale dei pannelli solari.

Tra i fattori interni che influenzano il pannello solare, (tecniche di fabbricazione, aumento della temperatura del pannello, effetti di riflessione e sporcizia e l'angolo di inclinazione), quello che più influisce in termini di efficienza e durata è l'aumento della temperatura nel pannello, che provoca una saturazione di corrente impedendo una resa ottimale della potenza e generando danni alla cella.

Gli effetti del livello di radiazione, della temperatura ambiente (variazioni climatiche), dell'inclinazione del pannello e dell'ombreggiamento sono fattori esterni che influenzano il corretto funzionamento del pannello solare. La variazione della radiazione è l'effetto più evidente nella riduzione della produzione di energia di un pannello. Questo perché variando l'intensità della radiazione il

pannello varierà anche il suo punto di massima potenza, quindi il pannello non erogherà la sua massima potenza e presenterà una bassa efficienza.

Il metodo più semplice per migliorare le prestazioni di un impianto fotovoltaico è l'inseguimento del punto di massima potenza (MPPT). Ciò è dovuto alla grande varietà di possibilità di implementare diversi metodi e alla loro facile implementazione nell'impianto FV.



Lascia il tuo commento a questo link:

<https://www.editorialedelfino.it/il-rendimento-dei-moduli-fotovoltaici.html>