

Migliore tolleranza all'ombra grazie all'interconnessione in parallelo nei moduli PowerXT

TSC™

Whitepaper

L'EFFETTO DELL'OMBREGGIAMENTO SULLA PRODUZIONE DEL MODULO FOTOVOLTAICO

La potenza di uscita di un modulo fotovoltaico dipende fortemente dalla quantità di irraggiamento che riceve. In condizioni operative normali, la potenza aumenta con l'irraggiamento in modo più o meno lineare. Tuttavia, quando l'irraggiamento non è uniforme, come nel caso in cui il modulo sia parzialmente ombreggiato (vedi Fig. 1), la risposta di solito non è più lineare e l'ombreggiamento di piccole aree può portare a una grande perdita di potenza. Il modo in cui un dato modulo risponde all'ombreggiamento dipende fortemente da come le celle del modulo sono state collegate insieme. In questo documento vedremo come l'interconnessione parallela in serie nei moduli PowerXT mitiga la perdita di potenza in molte condizioni di ombreggiamento comunemente incontrate.



Fig.1: ombreggiamento dell'abbaino, foto per gentile concessione di Mass Renewables (in alto); ombreggiamento da parziale innevamento (sotto).

Considerando la risposta all'ombreggiamento di una singola cella solare. Quando una singola cella è ombreggiata, corrente e tensione sono ridotte. Poiché la potenza è il prodotto della corrente e della tensione, la conseguenza è che anche la potenza è ridotta. Se la cella ombreggiata è collegata ad altre celle in serie per formare una stringa (Fig. 2), vi sarà una riduzione sulla corrente di stringa: la corrente che scorre attraverso la stessa in ogni punto.

Pertanto, se una cella è ombreggiata, rappresenterà la cella che fissa il limite della corrente dell'intera stringa che sarà di conseguenza limitata da quella cella. Inoltre, il punto di funzionamento ottimale della stringa può verificarsi a una tensione che corrisponde alla polarizzazione diretta per le celle non ombreggiate e ad una maggiore polarizzazione inversa per la cella ombreggiata. In una situazione del genere, le celle ombreggiate possono surriscaldarsi considerevolmente - questo è indicato come formazione di hotspot - e provocare danni al modulo fotovoltaico.

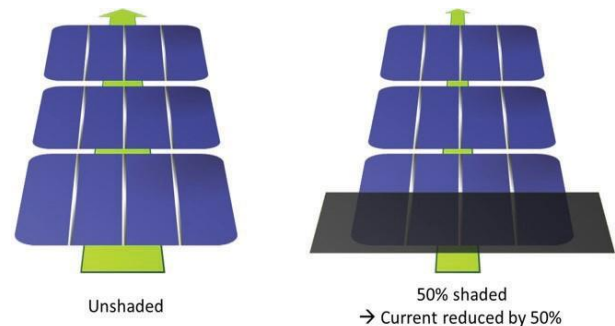


Figura 2: l'ombreggiamento di una singola cella riduce la corrente per l'intera stringa.

I moduli fotovoltaici convenzionali di solito contengono 60 o 72 celle collegate in serie. È chiaramente una situazione indesiderabile che l'ombreggiamento di una sola cella possa limitare la produzione dell'intero modulo e la metterebbe a rischio di danni agli hotspot.

Questo problema è parzialmente risolto nei moduli standard mediante l'uso di diodi di bypass. Nei moduli convenzionali, tre diodi sono solitamente collegati come mostrato nella **Figura 3** per dividere la stringa in tre sottostringhe. In condizioni normali, i diodi sono nello stato "OFF" cioè passano una corrente trascurabile e quindi non sono effettivamente coinvolti nel circuito. Se una sottostringa è ombreggiata a tal punto che il diodo corrispondente diventa attivo, il diodo passerà allo stato "ON". In questo stato, il diodo ha una resistenza notevolmente inferiore rispetto alla sottostringa e quindi la corrente del modulo tenderà a fluire attraverso il diodo, bypassando la sottostringa ombreggiata. Ciò riduce notevolmente il rischio di punti caldi e impedisce alla sottostringa ombreggiata di limitare la corrente dal resto del modulo.

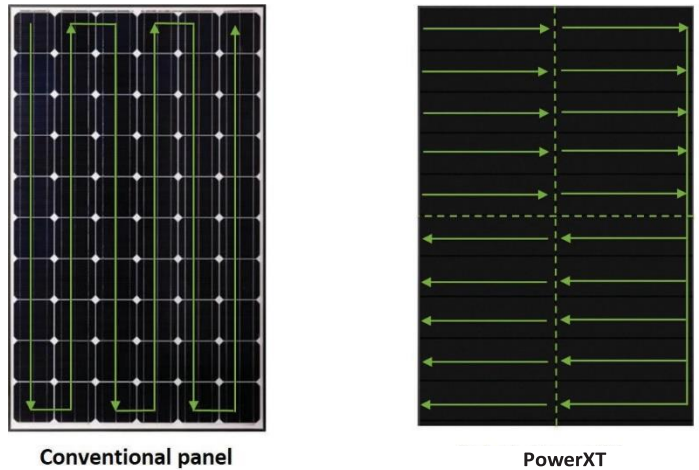
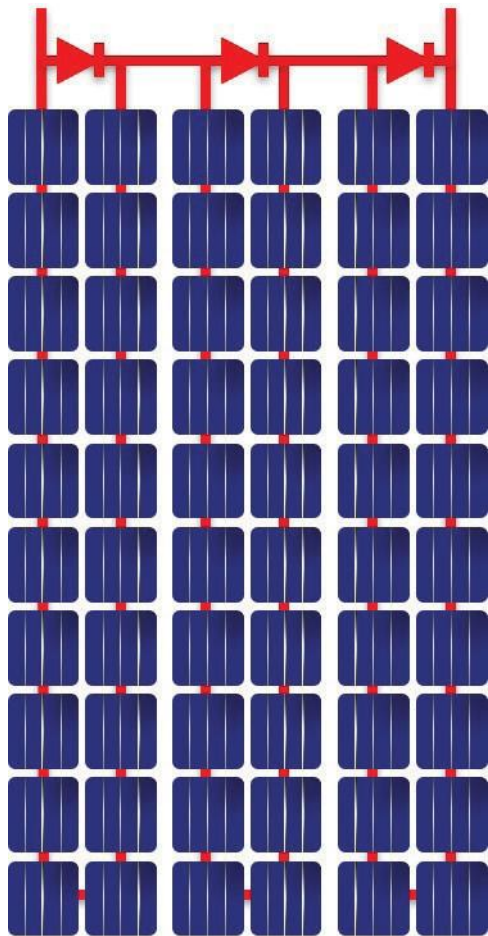


Figura 4: Percorsi di corrente (freccie verdi) per un modulo convenzionale collegato in serie e un modulo PowerXT collegato in serie e parallelo.

	Modulo convenzionale	PowerXT
# segmenti del modulo	3	4
# percorsi per flusso di corrente	1	5 (in ogni quadrante)

Tabella 1: Numero di segmenti del modulo e di percorsi per il flusso di corrente per moduli convenzionali e moduli PowerXT.

Figura 3: Interconnessione celle in un modulo convenzionale collegato in serie.

Sebbene il montaggio dei moduli in tre sottostringhe sia una discreta soluzione, c'è chiaramente spazio per miglioramenti. Nella sezione successiva, descriveremo il collegamento serie-parallelo dei moduli PowerXT e come può mitigare in modo significativo le perdite di potenza in condizioni di ombreggiamenti solitamente riscontrati.

CONNESSIONE PARALLELA E IN SERIE DI POWERXT

I moduli PowerXT utilizzano lo shingling, una tecnologia del modulo in cui celle intere vengono tagliate in strisce e ricollegate in modo da ottenere una maggiore efficienza. I moduli PowerXT sono assemblati da unità di celle collegate in serie chiamate celle PowerXT. La **Figura 4** mostra un modulo composto da 20 celle/blocchi PowerXT disposte in quattro quadranti di cinque sub-celle ciascuna. Come le sottostringhe in un modulo convenzionale, i quadranti sono collegati in serie e dotati di diodi di bypass, consentendo loro di essere bypassati se necessario.

Avere quattro segmenti di modulo invece di tre offre a PowerXT un vantaggio rispetto ai moduli con interconnessioni convenzionali per molti casi di ombreggiamento comuni. Il motivo è semplice: quando un piccolo oggetto oscura un modulo convenzionale, in modo tale da perdere l'alimentazione da un'intera sottostringa, ci si può aspettare che il modulo diminuisca di un terzo, o del 33% la potenza. Se lo stesso ombreggiamento causa la perdita di potenza da un intero quadrante di un modulo PowerXT, la potenza del modulo diminuirà solo di un quarto, o del 25%.

Un altro importante livello di protezione contro le perdite di ombreggiamento è fornito dal collegamento in parallelo delle cinque celle/blocchi all'interno di ciascun quadrante. Se un oggetto ombreggiante dovesse ridurre il flusso di corrente per una delle cinque celle/blocchi in un quadrante, la presenza di altri quattro percorsi di corrente aiuta a mitigare la perdita di potenza complessiva.

MISURAZIONI IN LABORATORIO PERDITA DI POTENZA DA OMBREGGIAMENTO

Nella prova descritta di seguito, le risposte di un modulo convenzionale e di un modulo PowerXT vengono confrontate in casi di ombreggiamento comunemente riscontrati tramite prova di laboratorio. L'ombreggiamento dei moduli è stato ottenuto facendo aderire pezzi di materiale opaco direttamente al vetro sul lato anteriore dei moduli. I pezzi sono stati dimensionati in base alle dimensioni delle celle nel modulo convenzionale per creare i seguenti scenari di ombreggiamento:

- I. Metà della riga superiore di celle ombreggiata
- II. Area ombreggiata definita da un triangolo con bordi che abbraccia tre celle lungo i lati lungo e corto
- III. L'intera colonna di celle a sinistra è ombreggiata
- IV. La riga superiore della stringa intera di celle ombreggiata

Gli stessi pezzi sono stati utilizzati anche per i moduli Power XT. La potenza di uscita è stata misurata utilizzando un flash test. I risultati, espressi come perdita di potenza rispetto alla potenza non ombreggiata, sono mostrati nella **figura 5**.

Nello scenario I. i risultati suggeriscono che l'ombreggiamento non è abbastanza grave da bypassare

interire stringhe del modulo in uno dei moduli. Tuttavia, i percorsi di corrente multipla nel modulo PowerXT gli consentono di mantenere il 94% della sua potenza, rispetto al 60% per il modulo convenzionale. Nello scenario II. il modulo PowerXT perde il 26% mentre il modulo convenzionale perde il 60% della sua potenza. Negli scenari III. e IV., viene utilizzata una striscia da sei pollici per ombreggiare l'intera lunghezza del modulo lungo il lato lungo e corto, rispettivamente. In III. le perdite sono significative per entrambi i moduli e il PowerXT perde un po' più di potenza (54% contro 36%). Tuttavia, l'ombreggiamento laterale lato corto IV. comporta solo una perdita del 14% per il PowerXT mentre l'uscita del modulo convenzionale è ridotta praticamente a zero.

I risultati di cui sopra riguardano il comportamento all'ombra di un singolo modulo. Gli approcci comuni per mitigare le perdite da ombreggiamento a livello di sistema includono l'utilizzo di connessioni parallele in serie tra moduli o l'associazione di moduli con ottimizzatori o micro-inverter. Questi approcci possono essere eventualmente utilizzati anche con i moduli PowerXT allo stesso modo dei moduli convenzionali. Si può considerare che i vantaggi a livello di modulo dello schema di interconnessione PowerXT si aggiungano ai vantaggi ottenuti tramite l'uso di ottimizzatori e micro-inverter.

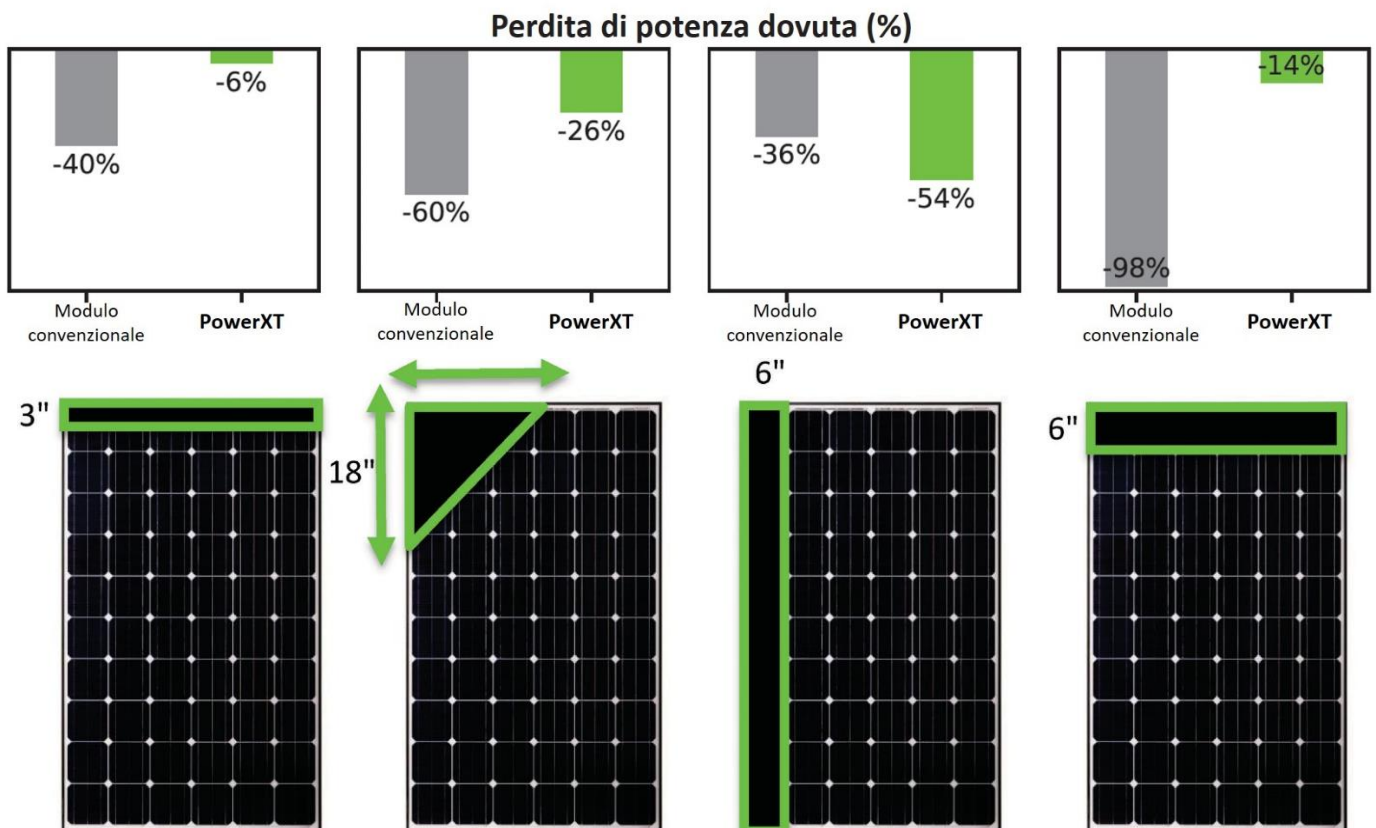


Figura 5: Perdita di potenza misurata per quattro scenari di ombreggiamento

CONFRONTO ALL'APERTO CON MODULI CONVENZIONALI IN CONDIZIONI OMBREGGiate

Per valutare le prestazioni dei moduli PowerXT in condizioni reali, sono stati eseguiti test all'aperto presso una struttura di test di terze parti in California. I moduli PowerXT sono stati testati con due marchi concorrenti che utilizzano uno schema di interconnessione di celle in serie. Per ogni tipo di modulo, un impianto a 8 moduli a stringa singola è stato installato su un unico tetto simulato rivolto a sud con un'inclinazione di 20°. Ogni impianto era collegato ad un inverter a stringa identico. I test sono stati eseguiti per un periodo di 70 giorni a fine estate/inizio autunno.

Un oggetto simile ad un abbaino è stato posizionato sopra i moduli in modo tale da creare circa 30 cm di ombra sulla fila superiore di moduli a mezzogiorno solare il primo giorno della prova (Figura 6).

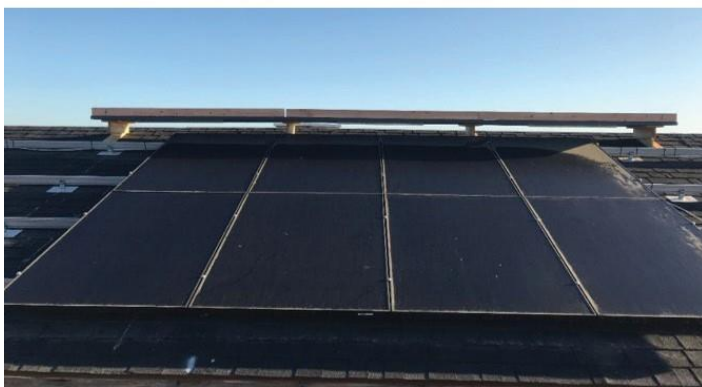


Figura 6: uno dei tre sistemi installati nel sito di test. In alto: vista frontale, verso mezzogiorno. In basso: vista da terra, mattina presto. L'abbaino a sbalzo è stato installato (visibile nella parte superiore di ogni immagine) per ombreggiare parzialmente la fila superiore di moduli.

Ovviamente, tutti e tre i sistemi hanno generato meno di quanto avrebbero prodotto se fossero stati operativi senza ombreggiamento.

Tuttavia, i moduli PowerXT, con celle/blocchi assemblate in uno schema di collegamento serie-parallelo, hanno ottenuto prestazioni significativamente migliori rispetto ai concorrenti. La **Figura 7** mostra il rendimento energetico totale specifico per ogni impianto. Alla fine del periodo di prova di 70 giorni, l'impianto PowerXT aveva generato il 37% di energia in più rispetto al concorrente 1 e il 45% in più di energia rispetto al concorrente 2.

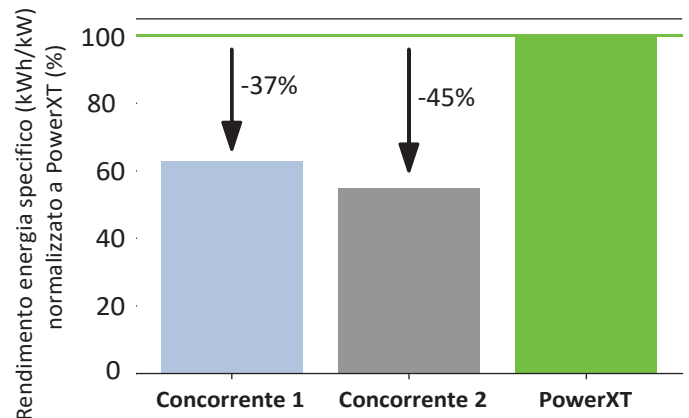


Figura 7: Energia totale generata da ciascun impianto dopo il periodo di prova di 70 giorni. I risultati sono espressi in kWh/kW, normalizzati alla resa energetica di PowerXT.

In linea di principio, questi risultati potrebbero essere previsti con strumenti software di previsione delle prestazioni. Tuttavia, al momento, TSC non è a conoscenza di strumenti in grado di misurare perfettamente i vantaggi di tolleranza all'ombra dei moduli PowerXT misurati sperimentalmente sopra.

Riepilogo

Come mostrato in questo documento, la connessione parallela serie PowerXT mitiga efficacemente le perdite da ombreggiamento in molte condizioni comunemente riscontrate. Queste condizioni sono state prodotte in un ambiente controllato per quantificare chiaramente gli effetti. Nelle effettive condizioni di campo, in cui è presente l'ombreggiamento, le perdite da ombreggiamento, rispetto ad altri fattori di perdita del sistema e il loro effetto risultante sulla potenza del sistema, possono variare a seconda di vari fattori come l'ubicazione del sistema, la configurazione e le condizioni di ombreggiamento. I risultati qui esposti non intendono rappresentare o garantire i livelli di prestazione effettivi ma medie.