



Termocamere: uno strumento rapido ed affidabile per il collaudo dei pannelli solari.

Il controllo qualità riveste un'importanza fondamentale per i pannelli solari. Infatti, per assicurare una generazione di energia elettrica efficiente, una lunga durata e un ritorno sull'investimento elevato è indispensabile che i pannelli non accusino problemi. A garanzia di un funzionamento corretto e continuo, è richiesto un metodo rapido, semplice ed affidabile per valutare le prestazioni dei pannelli, sia durante il loro processo produttivo che dopo la loro installazione.

L'uso di termocamere per la valutazione dei pannelli solari offre numerosi vantaggi. È possibile vedere chiaramente le eventuali anomalie su delle immagini ad infrarossi nitide e, diversamente dalla maggior parte degli altri metodi, le termocamere possono essere impiegate per esaminare i pannelli solari installati, mentre sono normalmente in funzione. Le termocamere consentono inoltre di analizzare grandi aree in poco tempo.

Nel campo della ricerca e sviluppo (R&D) le termocamere sono già uno strumento affermato per la valutazione delle celle e dei pannelli solari. Per queste misurazioni sofisticate, solitamente vengono usate termocamere ad alte prestazioni con detector raffreddati in condizioni di laboratorio controllate.

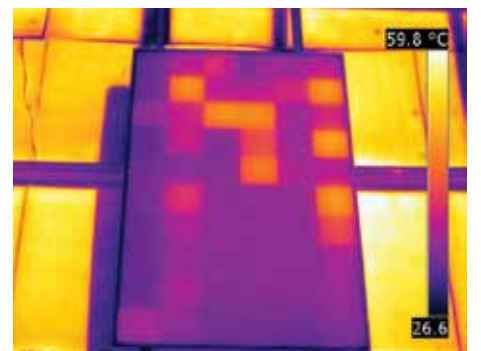
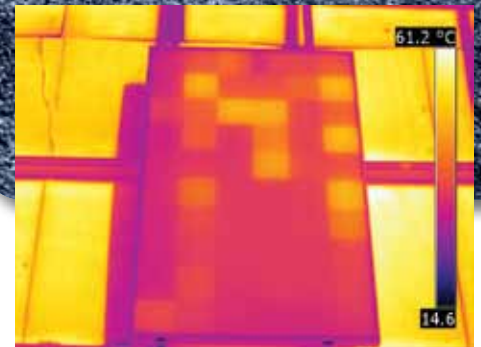
Tuttavia, l'impiego delle termocamere per la valutazione dei pannelli solari non è limitato al campo della ricerca. Infatti, si assiste a una sempre maggiore diffusione delle termocamere non raffreddate per controllare la qualità dei pannelli solari prima che vengano installati e per regolari controlli di manutenzione preventiva dopo l'installazione. La leggerezza e la portabilità di queste termocamere, oltre al loro costo contenuto, ne fanno un prodotto che si presta a molteplici usi.

Una termocamera consente di rilevare potenziali aree problematiche e di porvi rimedio prima

che insorgano problemi o guasti effettivi. Non tutte le termocamere sono però idonee per l'ispezione delle celle solari e affinché le ispezioni siano efficienti e portino a conclusioni corrette, occorre seguire determinate regole e linee guida. Gli esempi illustrati in questo articolo sono basati su moduli fotovoltaici con celle solari cristalline. Le regole e le linee guida sono tuttavia applicabili anche all'ispezione ad infrarossi di moduli a film sottile, in quanto i concetti di base della termografia sono gli stessi.

Procedure per l'ispezione di pannelli solari con termocamere

Durante le fasi di sviluppo e produzione, le celle solari vengono attivate elettricamente o tramite lampade flash. Ciò assicura un contrasto termico sufficiente per misurazioni termografiche accurate. Questo metodo non può però essere applicato per il collaudo dei pannelli solari sul campo, pertanto l'operatore deve assicurarsi



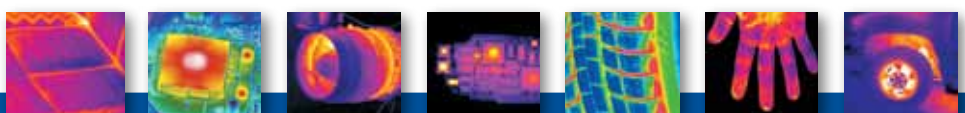
Termogramma con livello e campo in modalità automatica (sopra) e in modalità manuale (sotto).

che il sole emetta energia sufficiente.

Per ottenere un contrasto termico sufficiente quando si ispezionano le celle solari sul campo, è necessario un irraggiamento solare di almeno 500 W/m^2 . Per ottenere i risultati migliori, si consiglia un valore di 700 W/m^2 . L'irraggiamento solare descrive la potenza radiante istantanea su una superficie in unità di kW/m^2 , misurabile con un piranometro (per l'irraggiamento solare totale) o un pireliometro (per l'irraggiamento solare diretto). Ciò dipende fortemente dalla località e dalle condizioni atmosferiche locali. Anche temperature esterne basse possono aumentare il contrasto termico.

Qual è il tipo di termocamera richiesto?

Le termocamere portatili per ispezioni di



manutenzione preventiva in genere sono provviste di un detector microbolometrico non raffreddato sensibile nella frequenza tra 8 e 14 μm . Tuttavia, in questo intervallo il vetro non è trasparente. Quando le celle solari vengono ispezionate dalla parte anteriore, una termocamera vede la distribuzione del calore sulla superficie del vetro ma vede solo indirettamente quella nelle celle sottostanti. Quindi, le differenze di temperatura che possono essere misurate e viste sulla superficie in vetro dei pannelli solari sono ridotte. Perché siano visibili, la termocamera utilizzata per queste ispezioni necessita di una sensibilità termica di $\leq 0,08$ K. Per visualizzare chiaramente le piccole differenze di temperatura nell'immagine ad infrarossi, la termocamera dovrebbe anche consentire una regolazione manuale del livello e del campo.

I moduli fotovoltaici in genere vengono montati su telai in alluminio altamente riflettenti, che sull'immagine ad infrarossi appaiono come area fredda, perché riflettono la radiazione termica emessa dal cielo. In pratica, ciò significa che la termocamera registrerà la temperatura del telaio come ben al di sotto di 0°C . Poiché l'equalizzazione degli istogrammi della termocamera si adatta automaticamente alle temperature massime e minime misurate, numerose piccole anomalie termiche non saranno immediatamente visibili. Per ottenere un'immagine ad infrarossi ad alto contrasto, sarebbe necessaria una correzione manuale continua del livello e del campo. La soluzione viene offerta dalla cosiddetta funzionalità DDE (Digital Detail Enhancement). La DDE ottimizza automaticamente il contrasto

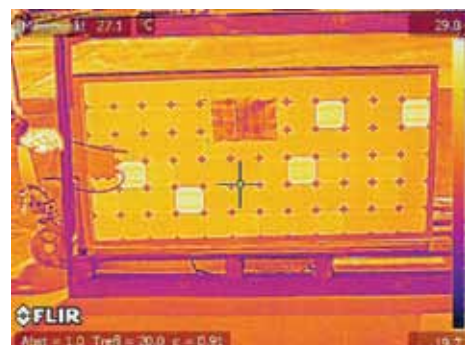
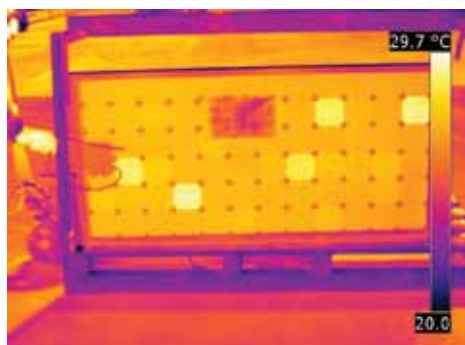


Immagine termografica senza DDE (sinistra) e con DDE (destra).

dell'immagine in scene con campo altamente dinamico e non è più necessario regolare manualmente l'immagine ad infrarossi. Una termocamera dotata della funzionalità DDE è pertanto uno strumento perfetto per il controllo dei pannelli solari.

Caratteristiche utili

Un'altra caratteristica utile di una termocamera è il contrassegno delle immagini ad infrarossi con i dati GPS. Ciò aiuta a individuare facilmente i moduli difettosi in aree di grandi dimensioni, ad esempio nelle fattorie solari, permettendo inoltre di interpretare meglio le immagini ad infrarossi, ad esempio nei report di analisi.

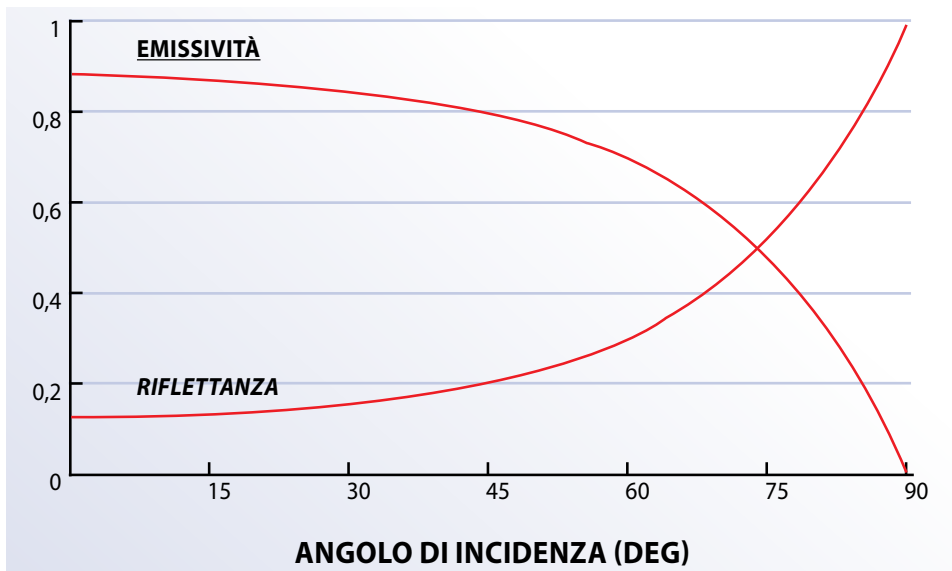
Un'altra importante caratteristica che dovrebbe avere una termocamera è la fotocamera digitale incorporata per poter salvare l'immagine nel visibile (foto digitale) assieme alla corrispondente immagine ad infrarossi. Estremamente utile è anche la funzione cosiddetta Thermal Fusion che fonde le immagini nel visibile e quelle

ad infrarossi per consentire un'analisi migliore. Infine, la possibilità di poter inserire e salvare dei commenti vocali e annotazioni di testo insieme all'immagine ad infrarossi consente di effettuare delle analisi e dei report più dettagliati e approfonditi.

Posizionamento della termocamera: prendere in considerazione i riflessi e l'emissività

Anche se il vetro ha un'emissività di 0,85-0,90 nella frequenza fra 8 e 14 μm , non è facile effettuare misurazioni termiche su superfici di tale materiale. I riflessi del vetro sono speculari, il che significa che nell'immagine ad infrarossi prodotta è possibile vedere chiaramente gli oggetti circostanti con temperature diverse. Nel peggiore dei casi, questo comporta interpretazioni errate (falsi "punti caldi") ed errori di misurazione.

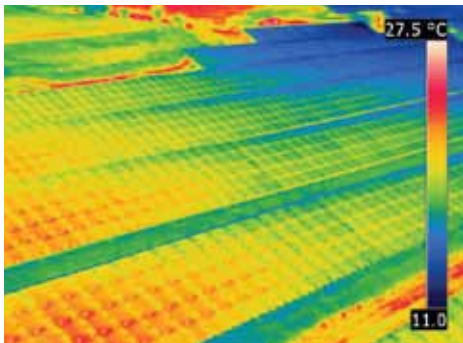
Per evitare il riflesso della termocamera e dell'operatore sul vetro, non bisogna posizionarla perpendicolarmente al modulo da ispezionare. Tuttavia, l'emissività è massima quando la termocamera è perpendicolare e diminuisce



Emissività del vetro in funzione dell'angolo



Angolo di osservazione consigliato (verde) e da evitare (rosso) durante le ispezioni ad infrarossi.



Per non trarre conclusioni errate quando si ispezionano i pannelli solari, occorre tenere la termocamera con l'angolazione corretta.

con l'aumentare dell'angolo. Un angolo di osservazione di 5-60° è un buon compromesso (dove 0° corrisponde alla perpendicolare).

Osservazioni da lontano

Non sempre è facile ottenere un angolo di osservazione idoneo durante l'impostazione della misurazione. Nella maggior parte dei casi, la soluzione può essere l'uso di un cavalletto. Nelle condizioni più difficili, potrebbe essere necessario usare piattaforme di lavoro mobili oppure sorvolare le celle solari con un elicottero. In questi casi, la maggiore distanza dal soggetto può essere un vantaggio, dato che è possibile vedere un'area maggiore in un'unica passata. Per garantire un'alta qualità delle immagini ad infrarossi, per queste distanze maggiori è consigliabile utilizzare una termocamera con una risoluzione delle immagini di almeno 320 x 240 pixel, preferibilmente di 640 x 480 pixel.

La termocamera dovrebbe avere inoltre obiettivi intercambiabili in modo da consentire all'operatore di montare un teleobiettivo per le osservazioni da lontano, come nel caso in cui si lavori da un elicottero. È tuttavia consigliabile

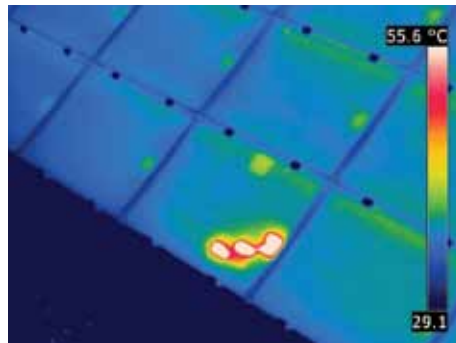


Immagine ad infrarossi effettuata con una termocamera FLIR P660 sorvolando una fattoria solare. (Termogramma per gentile concessione di Evi Müllers, IMM)

utilizzare un teleobiettivo solo con termocamere con una risoluzione delle immagini elevata. Nelle misurazioni da lontano con un teleobiettivo, le termocamere a bassa risoluzione non sono in grado di cogliere i piccoli dettagli che segnalano la presenza di difetti nei pannelli solari.

Guardare da una prospettiva diversa

Nella maggior parte dei casi, i moduli fotovoltaici installati possono essere ispezionati anche con una termocamera posizionata dietro i moduli. Questo metodo riduce al minimo le interferenze dei riflessi del sole e delle nuvole. Inoltre, le temperature ottenute da dietro possono essere più elevate, poiché la cella viene misurata direttamente e non tramite la superficie in vetro.

Condizioni ambientali e di misurazione

Quando si effettuano ispezioni ad infrarossi, il cielo dovrebbe essere limpido dato che le nuvole riducono l'irraggiamento solare e producono inoltre interferenze con i riflessi. Si possono tuttavia ottenere immagini informative anche con un cielo coperto, a condizione che la termocamera utilizzata sia sufficientemente sensibile. È consigliabile operare in assenza

di vento, dato che qualsiasi corrente d'aria sulla superficie del modulo solare causerà un raffreddamento convettivo, riducendo di conseguenza il gradiente termico. Più la temperatura dell'aria è fredda, più il contrasto termico potenziale sarà elevato. Opzionalmente, si possono eseguire le ispezioni termografiche nelle prime ore del mattino.

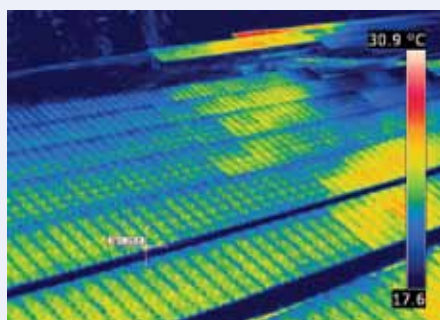
Un altro modo per aumentare il contrasto termico consiste nello scollegare le celle da un carico, per impedire il passaggio di corrente, e lasciare quindi che il riscaldamento venga prodotto esclusivamente dall'irraggiamento solare. Si procede quindi al collegamento di un carico e all'osservazione delle celle nella fase di riscaldamento.

In circostanze normali, tuttavia, il sistema deve essere ispezionato in condizioni operative standard, ovvero sotto carico. A seconda del tipo di cella e della natura del guasto o del problema, ulteriori informazioni possono essere fornite da misurazioni in assenza di carico o in condizioni di cortocircuito.

Errori di misurazione

Gli errori di misurazione sono dovuti essenzialmente al cattivo posizionamento della termocamera e a condizioni ambientali e di misurazione non ottimali. I tipici errori di misurazione sono causati da:

- angolo di osservazione troppo ristretto
- cambiamento nell'irraggiamento solare nel corso del tempo (per variazioni, ad esempio, della copertura del cielo)
- riflessi (ad es., sole, nuvole, edifici circostanti più alti, impostazioni di misurazione)
- ombreggiamento parziale (ad es., a causa degli edifici circostanti o di altre strutture).



In questa immagine ad infrarossi sono evidenti grandi aree con temperature elevate. In mancanza di ulteriori informazioni, non è chiaro se si tratti di anomalie termiche o di ombre/riflessi.

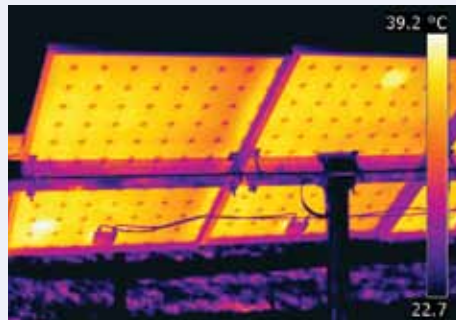
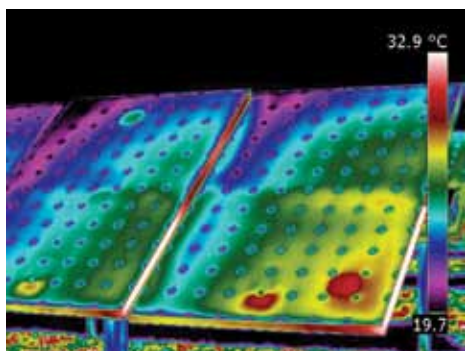
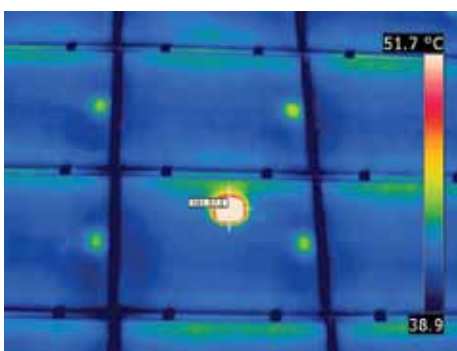


Immagine ad infrarossi della parte posteriore di un modulo solare, ottenuta con la termocamera ad infrarossi FLIR P660. A destra è riportata la corrispondente immagine nel visibile.

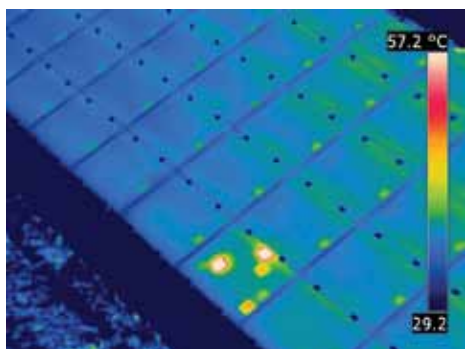




Questi punti rossi indicano i moduli costantemente più caldi degli altri, il che denota la presenza di connessioni difettose.



Questo punto caldo all'interno di una cella solare indica la presenza di danni fisici.



Questa immagine ad infrarossi mostra un esempio di un cosiddetto motivo patchwork, che indica che questo pannello ha un diodo di bypass difettoso.

Cosa è possibile vedere nell'immagine ad infrarossi

Se alcune parti del pannello solare sono più calde di altre, le aree calde risulteranno chiaramente visibili nell'immagine ad infrarossi. A seconda della forma e della posizione, questi punti caldi

possono indicare numerosi problemi di diversa natura. Se un intero modulo è più caldo del solito, ciò potrebbe segnalare la presenza di problemi di interconnessione. Se singole celle o file di celle risultano essere punti caldi o danno origine ad un motivo patchwork più caldo, la causa di solito risiede in diodi di bypass difettosi, in cortocircuiti interni o in un abbinamento sbagliato di celle.

Ombre e incrinature nelle celle si presentano come punti caldi o come macchie poligonali nell'immagine ad infrarossi. L'aumento della temperatura di una cella o di parte di essa indica che la cella è difettosa o che vi sono delle ombre. Occorre confrontare le diverse immagini ad infrarossi ottenute in assenza di carico e in condizioni di cortocircuito. Informazioni preziose si ricavano anche ad un confronto delle immagini ad infrarossi relative al lato anteriore e posteriore

del modulo. Ovviamente, per identificare correttamente il problema occorre procedere anche a un'ispezione visiva e a test elettrici dei moduli con anomalie.

Conclusioni

L'ispezione ad infrarossi degli impianti fotovoltaici consente di individuare rapidamente potenziali difetti a livello di cella e di modulo e possibili problemi di interconnessione elettrica. Le ispezioni vengono svolte in condizioni operative normali e non richiedono lo spegnimento dell'impianto.

Per ottenere delle immagini ad infrarossi corrette e con informazioni utili, occorre osservare determinate condizioni e procedure di misurazione:

- è necessario utilizzare una termocamera adatta, dotata degli accessori giusti;
- l'irraggiamento solare deve essere sufficiente (almeno 500 W/m², preferibile oltre 700 W/m²);
- l'angolo di osservazione deve rientrare in margini sicuri (tra 5° e 60°);
- occorre evitare ombre e riflessi.

Le termocamere sono utilizzate principalmente per individuare i difetti. La classificazione e la valutazione delle anomalie rilevate richiedono una solida comprensione della tecnologia solare, la conoscenza dell'impianto da ispezionare e ulteriori misurazioni elettriche. È ovviamente imprescindibile disporre di una documentazione appropriata, contenente tutte le informazioni sulle condizioni di ispezione, misurazioni aggiuntive e altri dati importanti.

Le ispezioni con una termocamera - a partire dal controllo qualità nella fase di installazione, seguito da regolari controlli - facilitano un monitoraggio semplice ma completo delle condizioni dell'impianto. Ciò contribuirà a conservare la funzionalità dei pannelli solari e a prolungarne la durata. L'uso di termocamere per le ispezioni dei pannelli solari migliorerà pertanto drasticamente il ritorno sull'investimento della società.

Tipo di errore:	Esempio:	Appare nell'immagine ad infrarossi come:
Difetto di produzione	Impurità e sacche di gas	Un punto caldo o freddo
	Incrinature nelle celle	Riscaldamento della cella, di forma principalmente allungata
Danno	Incrinature	Riscaldamento della cella, di forma principalmente allungata
	Incrinature nelle celle	Parte di una cella appare più calda
Ombreggiatura temporanea	Inquinamento	Punti caldi
	Deiezioni di uccelli	
	Umidità	
Diodo di bypass difettoso (causa cortocircuiti e riduce la protezione di un circuito)	N.D.	Motivo patchwork
Interconnessioni difettose	Modulo o serie di moduli non connessi	Un modulo o una serie di moduli sono costantemente più caldi

Tabella 1: Elenco degli errori tipici dei moduli (Fonte: ZAE Bayern e.V. "Überprüfung der Qualität von Photovoltaik-Modulen mittels Infrarot-Aufnahmen" ["Test di qualità sui moduli fotovoltaici mediante l'uso della termografia"], 2007)

Per ulteriori informazioni, visitare il nostro sito www.flir.com o contattare:

FLIR Commercial Systems B.V.
 Charles Petitweg 21
 4847 NW Breda - Paesi Bassi
 Telefono : +31 (0) 765 79 41 94
 Fax : +31 (0) 765 79 41 99
 E-mail : flir@flir.com
www.flir.com