



Thermospectral Analytic

Thermospectral Analytic — Rilievi fotogrammetrici e Termografia. Sede legale: via Cimabue, 5 – 71043 Manfredonia (FG). P.IVA 04587490717. Operatore UAS: IT2vuCWQh. Email: thermospectral@gmail.com | Cell. 3931139821

REPORT DIMOSTRATIVO — ESEMPIO DI ISPEZIONE TERMOGRAFICA

Estratto da un rilievo reale su impianto fotovoltaico utility-scale — dati sensibili omessi

Committente: Impianto FV dimostrativo (dati omessi)
Operatore: Matteo Cocomazzi
Sistema: DJI Matrice 4T

Schema Tecnico — Ispezioni Termografiche Fotovoltaico



UAS Utilizzato:

- DJI Matrice 4T
- Termocamera Radiometrica VOX – NETD ≤ 50 mK
- Risoluzione: 640x512
- Lunghezza F. 53 mm | IFOV: 1 mrad

Normativa di Riferimento	IEC 62446-3	Emissività	0,95
Irraggiamento	600 W/m ²	Temp. Riflessa	-20°C
Cond. Ambientali	< 28 km/h (8 m/s)	Velocità Vento	7 km/h
Angolo Ripresa	60° - 85°	Temperatura ambientale	15,7°C
Distanza campionamento	5 x 5 pixel	Altezza di mappatura	35 mt
		Angolo di scatto	-80°

Scheda Moduli

Marca	—
Modello	ITS220ECU5
Potenza nominale	240 W
Grandezza cella	156 x 156 mm

Legenda — Classi di Severità Anomalia

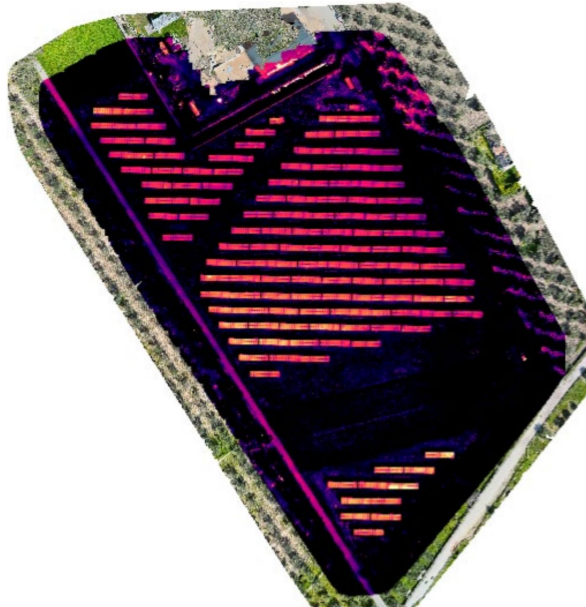
Grado di severità anomalia	Differenza di temperatura
Lieve — si raccomanda monitoraggio	Delta T < 5°C
Media — il difetto sta causando una perdita di produzione	5°C < Delta T < 15°C
Critica — azione richiesta, intervento immediato	Delta T > 15°C

Mappatura del Rilievo — Ortofoto RGB e Termica

Ricostruzione fotogrammetrica dell'intero campo fotovoltaico, in luce visibile e nello spettro termico a infrarossi. La sovrapposizione dei due rilievi consente di localizzare ogni anomalia con precisione sull'intero impianto.



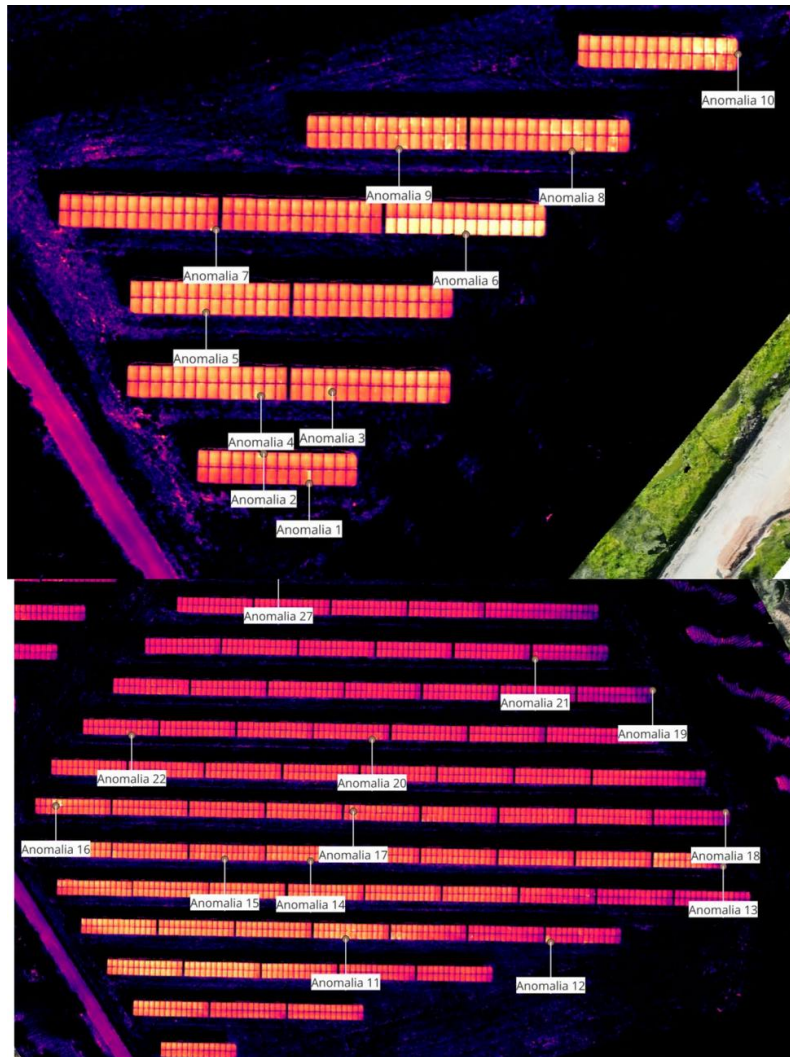
Ortofoto RGB (visibile)



Ortofoto termica (infrarossi)

Mappa delle Anomalie Rilevate

Ogni anomalia identificata viene georeferenziata e numerata sulla mappa termica dell'impianto, così da poter essere ritrovata rapidamente sul campo dalla squadra di manutenzione, senza tempo perso nella ricerca.



Inquadramento Tecnico e Cause dei Difetti

Al fine di facilitare la lettura dei dati, si riporta una breve descrizione delle fenomenologie riscontrate nel rilievo. Data l'anzianità dell'impianto (14 anni), le cause sono principalmente riconducibili a stress termici ciclici e decadimento dei materiali.

HOT SPOT (puntiforme o multi-cella)

Surriscaldamento localizzato di una o più celle che smettono di produrre energia e iniziano a dissiparla sotto forma di calore. Solitamente dovuto a micro-fratture (micro-crack) del silicio o saldature interne deteriorate che, nel tempo, degenerano in cortocircuiti. Nei casi più severi sono stati riscontrati picchi critici fino a oltre 60°C, indice di un guasto severo.

Degrado Busbar & Ribbon (pattern a griglia)

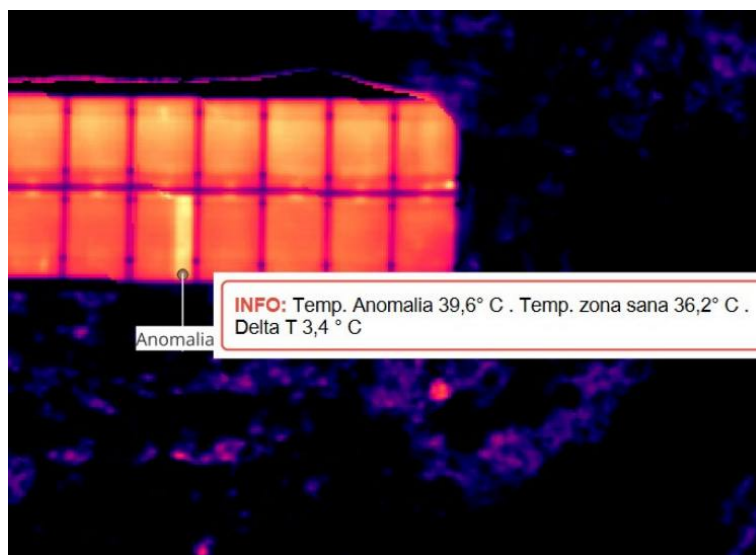
Firma termica lineare che segue le tracce elettriche del modulo. Fenomeno tipico di impianti datati, causato dall'ossidazione delle interconnessioni o dalla parziale delaminazione dell'incapsulante (EVA). Aumenta la resistenza elettrica e riduce la resa del modulo (effetto Joule).

Guasto al diodo di bypass / sottostringa

Surriscaldamento dell'intera sezione di un modulo (solitamente un terzo del pannello). Stress termico prolungato sulla junction box posteriore: se un diodo fallisce, l'intera stringa subisce un calo di tensione.

Soiling e ombreggiamenti

Anomalie termiche superficiali con Delta T contenuti, dovute a sporco stratificato, guano o vegetazione. Se non rimossi, possono degenerare in hot spot permanenti a causa del surriscaldamento localizzato delle celle oscurate.



Scheda Anomalia — Esempio #001

Localizzazione:

Coordinate:

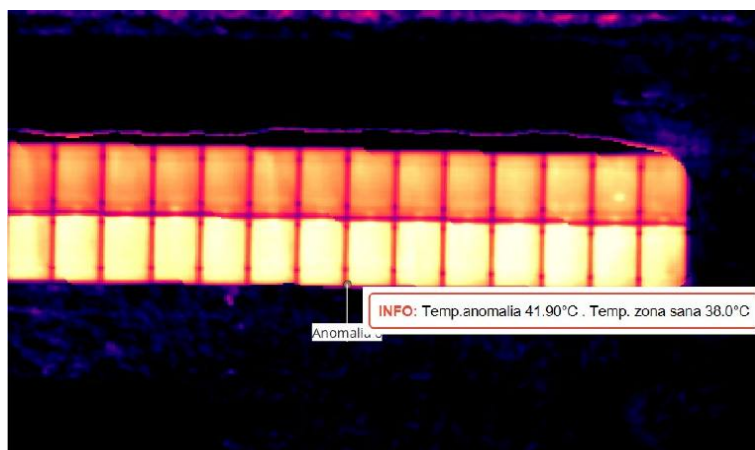
Parametro analizzato	Valore rilevato
Temperatura anomalia	39,6°C
Temp. area riferimento	36,2°C
Delta T	3,4°C
Tipologia difetto	Diodo di bypass in corto
Classe di severità	Intervenire

Descrizione del difetto:

Disomogeneità termica sistematica su 1/3 del modulo (sottostringa). La geometria rettangolare netta, in assenza di fattori esterni (ombre/sporco), prova il cortocircuito permanente del diodo di bypass. Il modulo smette di generare energia e diventa un carico passivo che dissipa la corrente di stringa in calore.

Valutazione del rischio e prescrizioni:

Il Delta T contenuto (3,4°C) non attenua la gravità del guasto: la firma termica è prova di avaria elettrica indipendentemente dal calore istantaneo rilevato. Impatto: perdita definitiva del 33% della superficie captante. Azione: verifica della tensione a vuoto; in caso di conferma, il modulo va sostituito.



Scheda Anomalia — Esempio #006

Localizzazione:

Coordinate:

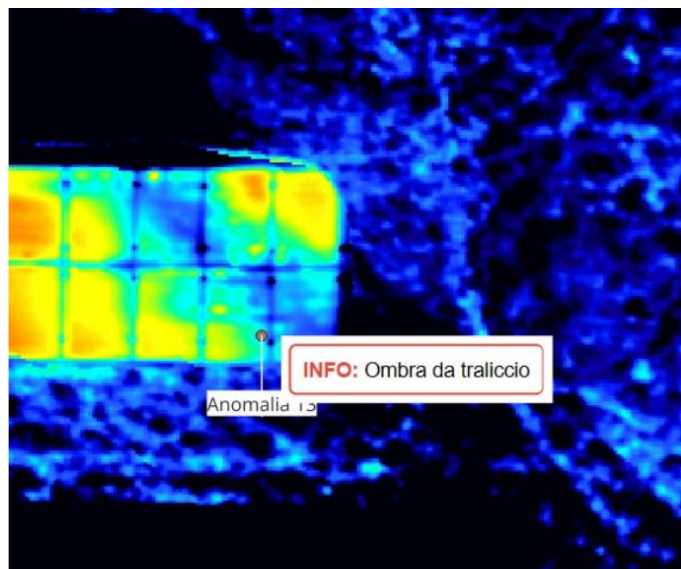
Parametro analizzato	Valore rilevato
Temperatura anomalia	41,9°C
Temp. area riferimento	38,0°C
Delta T	3,9°C
Tipologia difetto	Stringa aperta / moduli scollegati
Classe di severità	Intervenire — perdita di produzione

Descrizione del difetto:

Il rilievo radiometrico mostra l'intero modulo (o una serie di moduli) a una temperatura superiore rispetto a quelli circostanti. Poiché il surriscaldamento è uniforme su tutta la superficie del pannello, la diagnosi corretta è "Stringa Aperta" (Open Circuit): la corrente prodotta non defluisce verso l'inverter, e l'energia solare assorbita viene dissipata integralmente sotto forma di calore.

Valutazione del rischio e prescrizioni:

Causa tipica: connettore MC4 mal crimpato o scollegato, fusibile bruciato nel quadro di campo, o interruzione nel cablaggio CC. Azione: intervento immediato, controllo della continuità della stringa e verifica dei serraggi nei quadri di parallelo.



Scheda Anomalia — Esempio #013

Localizzazione:

Coordinate:

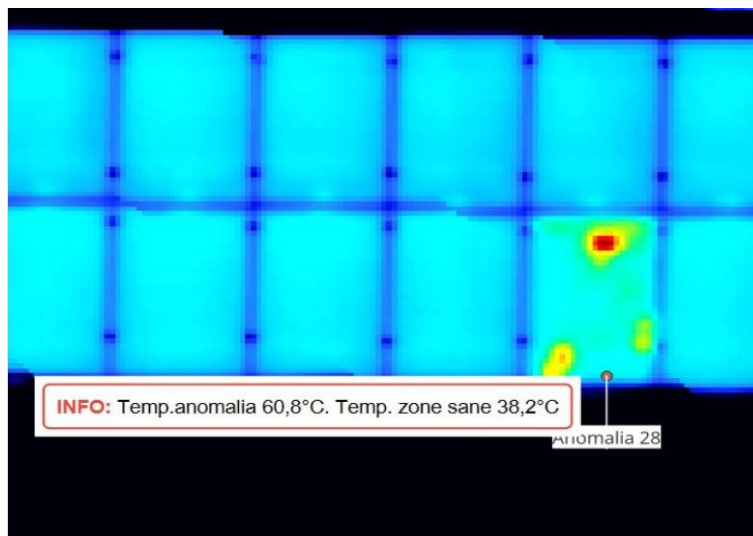
Parametro analizzato	Valore rilevato
Temperatura anomalia	23,1°C
Temp. area riferimento	33,1°C
Delta T	10,0°C
Tipologia difetto	Ombreggiamento
Classe di severità	Nessun intervento

Descrizione del difetto:

Identificata visivamente come proiezione d'ombra. Le zone di anomalia hanno una forma irregolare e sfumata, che segue il profilo di un ostacolo esterno (es. traliccio). Diagnosi: hot spot da ombreggiamento (mismatching) — le celle in ombra diventano resistive e vengono attraversate dalla corrente prodotta dalle celle al sole, surriscaldandosi.

Valutazione del rischio e prescrizioni:

Severità media/operativa: non è un difetto del modulo, ma un problema di installazione/sito. Non richiede intervento immediato, ma l'ombra costante può danneggiare permanentemente quelle celle nel lungo periodo. Utile per distinguere falsi allarmi da guasti reali.



Scheda Anomalia — Esempio #028

Localizzazione:

Coordinate:

Parametro analizzato	Valore rilevato
Temperatura anomalia	60,8°C
Temp. area riferimento	38,2°C
Delta T	22,6°C
Tipologia difetto	Hot spot puntiforme critico
Classe di severità	Sostituzione immediata

Descrizione del difetto:

Anomalia di criticità massima riscontrata nel rilievo: surriscaldamento puntiforme e localizzato su una cella, con temperatura estremamente elevata. Il calore è confinato in un'area quasi circolare molto limitata, con gradazione cromatica che vira bruscamente verso il bianco/rosso intenso — zona di massima dissipazione energetica.

Valutazione del rischio e prescrizioni:

Una temperatura di oltre 60°C è pericolosa: l'effetto Joule surriscalda l'EVA e il backsheet, che rischiano di bruciarsi, fondersi o delaminarsi. **Rischio sicurezza:** le bruciature del backsheet ("burn-through") possono esporre i contatti sotto tensione all'umidità e all'aria, innescando archi elettrici. **Azione:** sostituzione obbligatoria ed immediata del modulo.

Tabella Riassuntiva Anomalie

Tabella completa del rilievo, che raccoglie tutte le 30 anomalie identificate con temperatura massima, Delta T, tipologia di difetto e classe di severità assegnata secondo lo standard IEC 62446-3.

ID	Temp. Max	Delta T	Tipologia difetto	Severità
#001	39,6°C	3,4°C	Diodo di bypass in corto	Sostituzione
#002	42,4°C	4,4°C	Hot spot puntiforme	Monitoraggio periodico
#003	41,2°C	3,0°C	Barre/nastro degrado	Lieve monitoraggio
#004	41,4°C	3,0°C	Multi punti caldi	Monitoraggio periodico
#005	40,5°C	2,3°C	Punto caldo	Monitoraggio periodico
#006	41,9°C	3,9°C	Stringa aperta / moduli scollegati	Intervento immediato — perdita produzione
#007	42,4°C	6,1°C	Punto caldo	Monitoraggio intensivo
#008	42,3°C	4,6°C	Degrado combinato busbar/ribbon	Monitoraggio — verifica rendimento
#009	41,7°C	3,3°C	Degrado combinato busbar/ribbon	Monitoraggio — perdita produzione
#010	43,3°C	4,6°C	Degrado combinato busbar/ribbon	Monitoraggio — perdita produzione
#011	41,2°C	2,8°C	Degrado combinato busbar/ribbon	Monitoraggio — perdita produzione
#012	39,1°C	5,0°C	Degrado seriale multi-modulo	Monitoraggio — verifica rendimento
#013	23,1°C	10,0°C	Ombreggiamento	Nessun intervento
#014/015	39,2°C	1,5°C	Lieve degrado busbar/ribbon	Monitoraggio — nessun intervento
#016	62,8°C	24,2°C	Hot spot multi-cella critico	Intervento immediato
#017	40,3°C	2,9°C	Multi punti caldi	Lieve monitoraggio
#018	47,2°C	14,8°C	Punto caldo severo	Priorità media — sostituzione consigliata
#019	42,2°C	12,3°C	Punto caldo severo	Priorità media — sostituzione consigliata
#020	38,4°C	4,9°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#021	35,0°C	3,3°C	Diodo di bypass in corto	Sostituzione
#022	38,4°C	4,3°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#023	36,9°C	2,2°C	Lieve degrado busbar/ribbon	Monitoraggio — programmare intervento
#024	37,5°C	3,3°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#025	38,8°C	3,1°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#026	36,6°C	3,1°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#027	36,6°C	3,1°C	Downgrade busbar/nastro	Monitoraggio — programmare intervento
#028	60,6°C	22,6°C	Hot spot critico	Sostituzione immediata
#029	60,3°C	25,8°C	Hot spot critico	Sostituzione immediata
#030	42,4°C	6,2°C	Punto caldo severo	Sostituzione programmata

Moduli totali analizzati	3.696
Percentuale difettosità riscontrata	0,81%
Temperatura massima rilevata	62,8°C
Potenza nominale compromessa (stima)	~9,6 kW
Moduli totali coinvolti	40 / 55
Stima perdita produzione annua	25.000 – 30.000 kWh (1,9% - 2,3%)

Analisi Finale e Conclusioni Tecniche

L'ispezione termografica eseguita sull'intero campo fotovoltaico ha permesso di mappare lo stato di salute dei moduli dopo 14 anni di esercizio. Dall'analisi dei dati emergono tre livelli di criticità distinti:

Sicurezza e integrità (livello rosso)

Alcune anomalie presentano temperature superficiali critiche (superiori a 60°C) con Delta T oltre i 22°C. Questa condizione indica un cortocircuito interno della cella che, se trascurato, può portare alla perforazione del backsheet (burn-through) e all'innescio di incendi — un rischio concreto per la sicurezza dell'intero sito.

Perdita di efficienza energetica (livello arancio/giallo)

I guasti rilevati ai diodi di bypass e gli hot spot severi causano una riduzione misurabile della produzione di stringa. Alcuni moduli, pur non essendo critici per la sicurezza, agiscono come carico passivo riducendo il rendimento complessivo.

Degrado fisiologico da invecchiamento

La diffusione di pattern termici lineari (effetto busbar/ribbon) su una quota significativa dei moduli analizzati è coerente con l'anzianità dell'impianto. L'ossidazione delle interconnessioni e il naturale deterioramento dei materiali incapsulanti (EVA) aumentano la resistenza elettrica interna del sistema.

Raccomandazioni e Piano d'Azione

- Intervento d'urgenza (entro 48h):** scollegamento e sostituzione dei moduli in classe critica, per eliminare ogni rischio di incendio.
- Manutenzione correttiva:** sostituzione programmata dei moduli in classe arancio/gialla, per ripristinare la corretta producibilità delle stringhe interessate.
- Verifica diagnostica mirata:** sui moduli con guasto al diodo di bypass o stringa aperta, controllo visivo e serraggio delle connessioni in junction box. Sui moduli con degrado busbar/ribbon, il difetto è interno al laminato e non intervenibile dall'esterno: si raccomanda il monitoraggio dell'evoluzione del Delta T nel tempo.
- Strategia di lungo periodo:** data l'età dell'impianto e la diffusione del degrado, si suggerisce uno studio di fattibilità per un eventuale revamping parziale delle sezioni più ammalorate.

Thermospectral Analytic — Ispezioni termografiche radiometriche da drone su impianti FV, conformi IEC 62446-3. Per una verifica sul vostro impianto: thermospectral@gmail.com — Cell. 3931139821.