

## Gli effetti delle impurità superficiali nei pannelli fotovoltaici

L. Dorobantu, M.O. Popescu, Cl. Popescu, A. Craciunescu

Electrical Engineering Faculty  
POLITEHNICA University of Bucharest  
313 Independentei, 060042 Bucharest, Romania, Tel/Fax : +040 213181003  
[loredana.dorobantu@upb.ro](mailto:loredana.dorobantu@upb.ro); [mo\\_popescu@rectorat.pub.ro](mailto:mo_popescu@rectorat.pub.ro); [claudia.popescu@upb.ro](mailto:claudia.popescu@upb.ro)

**Estratto.** Questo documento evidenzia come le impurità superficiali, che si presentano sulla superficie dei pannelli fotovoltaici, siano un problema diffuso. Le impurità, rappresentate da polvere e sporcizia che compaiono inevitabilmente, portano ad un deterioramento nel tempo o alla diminuzione dell'efficienza dei pannelli che contengono le celle colpite con il risultato di perdite nel sistema. Alcuni depositi creano zone d'ombra, causando significativi surriscaldamenti che sono sperimentalmente evidenziati ....

### Parole chiave

Energia rinnovabile, efficienza celle solari, gli effetti delle impurità, termografia.

### 1. Introduzione

I depositi lasciati dagli uccelli, l'inquinamento e la polvere causata dal traffico o dalle attività agricole, si accumulano rapidamente e fanno ridurre l'efficienza delle celle fotovoltaiche del 20% nei periodi più secchi. Altri fattori come l'orientamento del pannello o il materiale della superficie del pannello contribuisce al deposito delle impurità. Le regole per mantenere in buono stato i pannelli fotovoltaici sono semplici: è importante mantenere la loro superficie pulita in modo permanente.

I depositi lasciati dagli uccelli o le foglie cadute devono essere rimosse frequentemente, in quanto le celle coperte subiscono un surriscaldamento dovuto all'energia prodotta dalle celle circostanti. Questa situazione porta a un guasto permanente o di lunga durata.

Il fatto che i pannelli non devono essere ombreggiati deve essere presa in considerazione, in quanto l'ombreggiamento di una porzione di pannello può comportare una diminuzione di resa del 50%. [1]

Per illustrare le dichiarazioni di cui sopra, sono state fatte delle misurazioni con una termocamera TI20 Fluke e contemporaneamente utilizzando Comsol Multiphysics software, al fine di osservare il comportamento della cella coperta durante il suo funzionamento.

Lo scopo principale di questo lavoro è delineare le perdite che si verificano nelle celle fotovoltaiche a causa dei depositi ed ombreggiature come risultato del loro riscaldamento.

### 2. Gli effetti del deposito nelle superfici delle celle fotovoltaiche - Determinazione sperimentale

Gli esperimenti sono stati effettuati su pannelli policristallini Schott Solar - AES-275-DG-situati all'interno della Facoltà di ingegneria Elettrica, Politecnica Università di Bucarest.

Utilizzando la termo-visione della telecamera è stato notato che qualsiasi deposito o difetto nella superficie del pannello porta ad un riscaldamento della zona interessata rispetto al resto del pannello (Fig.1).

Pertanto, sono state prese alcune celle solari per lo studio che contenevano depositi lasciati dagli uccelli, che possono causare difetti temporanei per la loro semplice presenza sulla superficie della cella fotosensibile e difetti permanenti sulla struttura della zona interessata. Le immagini sotto, figura 1 e 2 illustrano, la differenza di temperatura esistente tra le zone coperte e le aree pulite.

Nella immagine catturata con la ThermoVision telecamera si può chiaramente osservare che l'impurità superficiale ha un l'aumento della temperatura fino a 10 ° C, vale a dire dalla temperatura normale del pannello (27,8 ° C) senza depositi, alla temperatura di 37,5 ° C, registrato sulla area sporca. La variazione di temperatura sulla superficie del pannello è rappresentata dall'istogramma di temperatura visualizzato dalla telecamera (Fig. 3). Dove può essere facilmente notato che l'ultimo valore registrato della temperatura è di 37.5 ° C che coincide dove il deposito è più denso.

Questo primo caso, dove abbiamo trovato un denso deposito (molto consistente), può essere comparato ad un guasto permanente del pannello in quanto la rimozione

senza un intervento umano è molto difficile quindi il riscaldamento locale può verificarsi, finché questo strato aggiuntivo non viene rimosso.

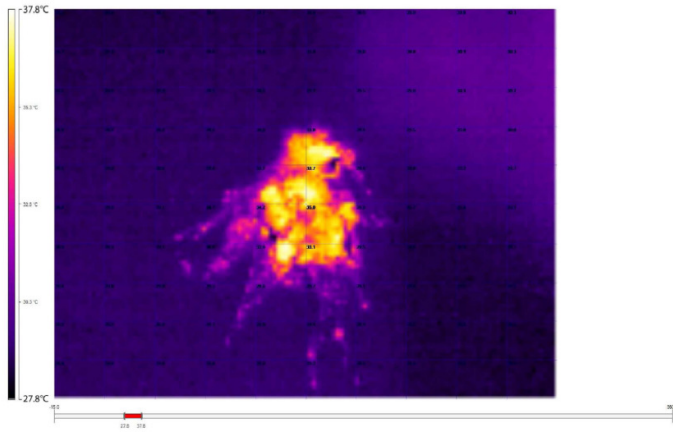


Fig.1 Immagine di un deposito sulla superficie del pannello catturata con la termocamera.



Fig.2 Immagine reale del deposito sulla superficie del pannello.

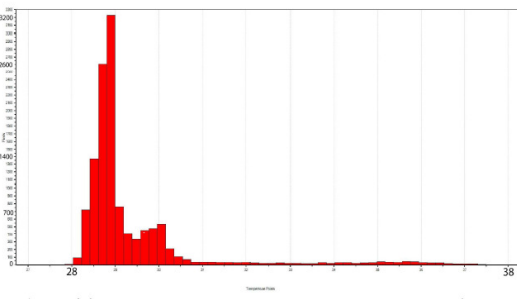


Fig.3 Istogramma temperatura.

Le misure effettuate, mostrano che le perdite del pannello causate da riscaldamento, sono facilmente percepibili grazie alla termo-visione, a riprova del fatto che qualsiasi copertura di una cella porta inevitabilmente al suo riscaldamento, e pertanto al verificarsi di perdite di efficienza che si riflettono sulla produttività dell'impianto di energia elettrica.

Per un migliore confronto, in (Fig.4) si vede l'immagine della termocamera del pannello con la superficie pulita.

In tutte le foto scattate con la termocamera appaiono i numeri della rete equivalenti nel istogramma di temperatura.

La differenza più evidente è tra le estremità della scala dell'istogramma (Fig. 6). In questo caso la differenza tra i due valori non supera i 2° C. grazie all'orientamento del pannello. Di conseguenza nella parte inferiore del pannello si presenta una temperatura leggermente superiore (circa 0.5 °C) grazie alla influenza della superficie di montaggio del pannello.

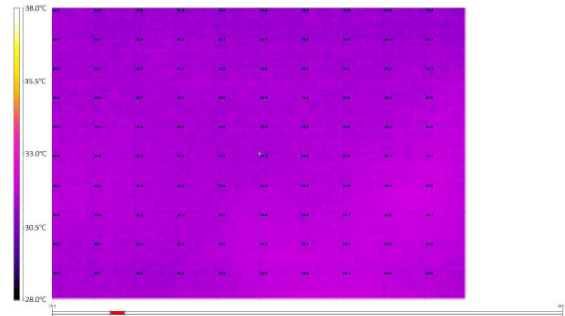


Fig.4 Immagine del primo pannello pulito catturata con la termocamera.



Fig.5 Immagine reale del primo pannello pulito

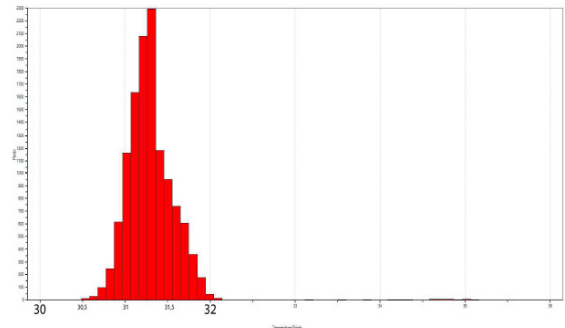


Fig.6 Istogramma temperatura.

Molto spesso, le superfici di montaggio dei pannelli fotovoltaici tendono a raggiungere temperature più

elevate, per cui vi è inevitabilmente un leggero aumento della temperatura nelle celle vicine.

In figura 7 è viene presentato il caso di un meno consistente deposito rispetto al primo caso (Fig.1), che crea un parziale difetto a sua volta, e che non influisce molto, secondo l'istogramma in fig. 9.

Le differenze di temperatura tra l'area influenzata dal deposito e quella pulita non supera i 5° C. Tuttavia, anche se le perdite causate dal riscaldamento sono minori, sono presenti. Questo viene dimostrato dalla semplice presenza di punti più caldi sulla superficie del pannello.

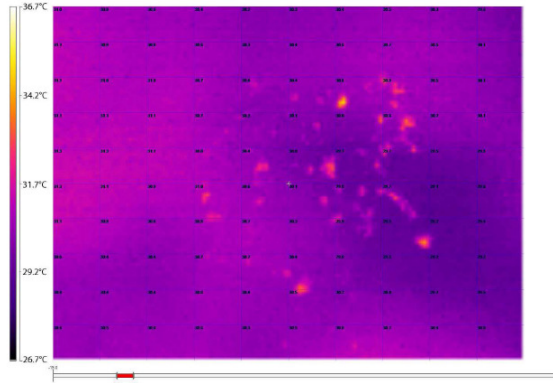


Fig.7 Immagine di un deposito meno consistente sulla superficie del pannello catturata con la termocamera.



Fig.8 Immagine reale di un deposito meno consistente sulla superficie del pannello fotovoltaico.

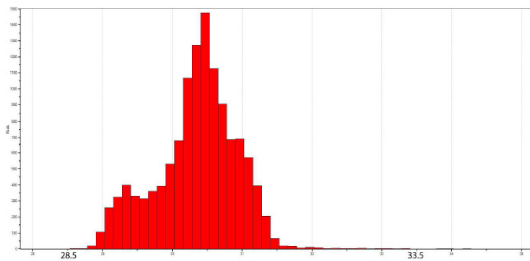


Fig.9 Istogramma temperatura.

Questioni legate alla differenza di temperatura sono determinate non solo dalla presenza di strati

supplementari che non consentono una illuminazione locale della cella. Differenze di temperature appaiono sulla superficie pulita dei pannelli che comunque non supera i 2° C, ma sono causa di alcuni fattori di eterogeneità nella struttura del pannello o della posizione che i pannelli hanno nel sistema.

Nella figura 10, abbiamo una foto di un'altra cella fotovoltaica presa con la termo camera. Come in fig. 4, in questo pannello non c'è molta differenza di temperatura tra i diversi punti.

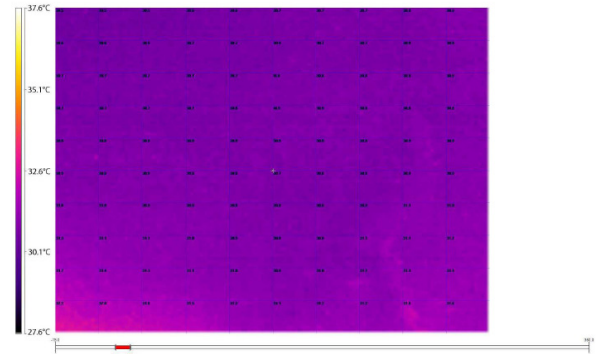


Fig.10 Immagine della superficie del secondo pannello pulito catturata con la termocamera

Seguendo attentamente i dati forniti nell' istogramma (Fig. 6, Fig. 11), si registrano delle piccole variazioni della media della temperatura del pannello che si attesta intorno ai 31°C.

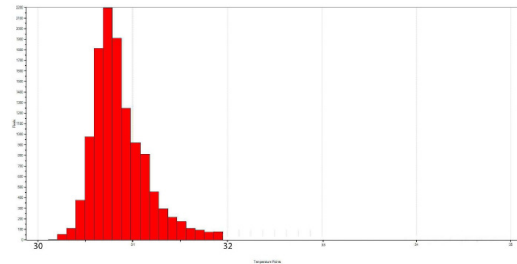


Fig.11 Istogramma temperatura del secondo pannello.

Per un migliore confronto, abbiamo inserito nella tabella di seguito (Tabella I) tutti i dati di interesse per tutti e quattro i casi in discussione.

Table I

Deposit Type	Panel medium temperature [°C]	Panel highest temperature [°C]	Tmax and Tmin difference [°C]
1 <sup>st</sup> Clean panel (Fig.4)	31.25	32.10	1.60
2 <sup>nd</sup> Clean panel (Fig.11)	30.75	31.90	1.70
Low deposit panel (Fig.7)	30.50	33.40	4.90
Panel with consistent deposit (Fig.1)	29.00	37.50	9.50

Seguendo i principi base del funzionamento delle celle fotovoltaiche, si può affermare che la cella più scarsamente illuminata determina la corrente attraverso tutte le altre celle collegate in serie. E' un effetto simile ad un restringimento di un tubo di acqua, la quale fluisce con una portata inferiore rispetto alla sezione successiva. [3]

Fig.12. La conduzione del calore all'interno della cella coperta (Sezione) - modello realizzato in Comsol Multiphysics

### 3. Simulazione del deposito nella superficie di pannelli fotovoltaici in Comsol Multiphysics

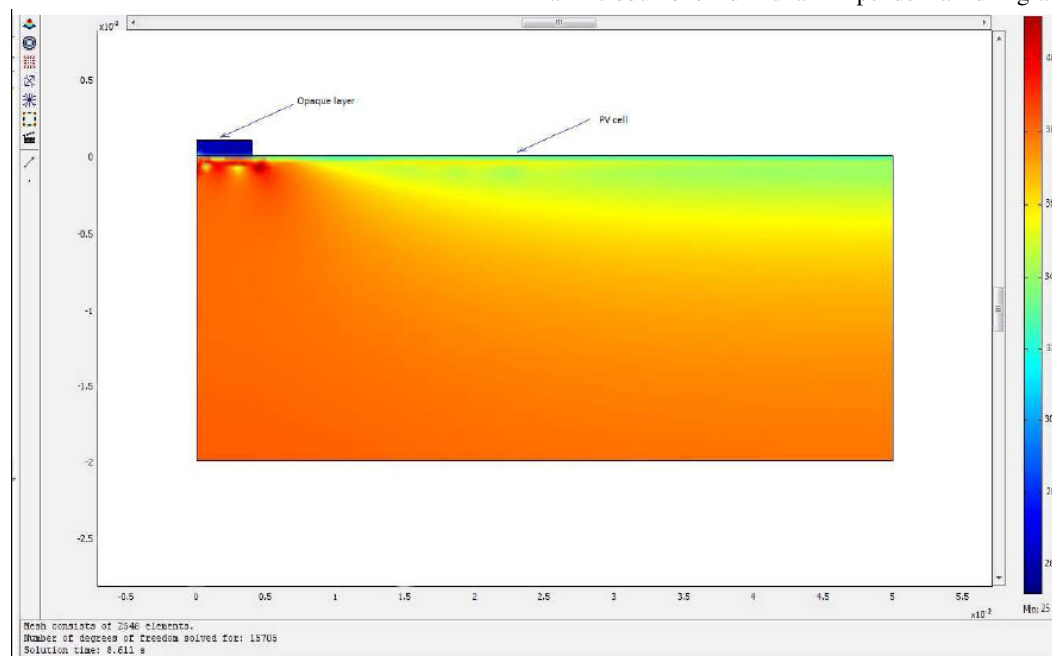
Per avere un quadro chiaro sugli effetti negativi dei depositi sulle superfici fotovoltaiche è stata realizzata una simulazione in una cella fotovoltaica con l'ausilio del software Multiphysics dell'ambiente COMSOL.

Una parte della superficie della cella è stata coperta da uno strato opaco, creando così un difetto artificiale superficiale. Il modello realizzato era bidimensionale (2D), al fine di monitorare l'evoluzione della temperatura del pannello nella sezione trasversale. La simulazione è stata eseguita utilizzando una cella fotovoltaica di silicio che ha una rete di 2546 nodi e 15705 gradi di libertà. [7]

Per risolvere il problema, sono stati utilizzati modelli esistenti in Comsol Multiphysics: Conduttivo medio ed elettrostatica.

In Fig. 12, l'evoluzione della temperatura di una cella avente un difetto artificialmente imposto viene raffigurata in sezione trasversale.

Lo strato opaco dal modello simulato corrisponde al deposito sulla cella fotovoltaica, causando zone di riscaldamento intorno ad essa. Così la parte in ombra della cella determina una caduta di potenza e può variare a seconda di come il deposito si trova sulle celle fotovoltaiche. La perdita di potenza aumenta notevolmente se il deposito colpisce molte cellule raggruppate in parallelo, l'effetto corrisponde all'introduzione di una impedenza di grandi



specialmente se sono posizionati in luoghi dove la rimozione di questi depositi è impossibile.

Oltre alla pulizia automatica dei moduli con sistemi specializzati, coprirli con strati che possono respingere le particelle di sporco sembra essere la più efficiente fino ad ora.

I valori di temperatura sono molto vicini a quelli misurati con la termo camera dopo la simulazione. I valori più alti si raggiungono accanto al deposito e sono quelli che alla fine influenzano l'intera cella, come evidenziato dalla simulazione. Questi valori elevati di impedenza costituiscono le perdite per l'intero pannello.

#### 4. Soluzioni

Per ridurre al minimo le perdite dovute al deposito sulla superficie dei pannelli, una soluzione efficiente è la tecnologia dell'auto pulizia. In questa direzione sono state fatte molte ricerche con il fine di trovare un modo per pulire lo sporco accumulato sulla superficie in particolare le particelle di polvere e sabbia, che sono sempre presenti nelle zone aride. Un sottilissimo strato di polvere può diminuire la conversione di potenza del 40 %.

La tecnologia autopulente consiste in una applicazione di un trasparente elettricamente sensibile sulla superficie del pannello. Dei sensori monitorizzano il livello di polvere sulla superficie dei pannelli. Una carica elettrica invia una onda a cascata sulla superficie del materiale, sollevando la polvere trasportandola fuori dai bordi dei pannelli. In due minuti, il processo rimuove circa il 90% della polvere depositata sui pannelli. [6]

#### 5. Conclusioni

Le simulazioni effettuate in COMSOL mostrano il fatto che quando una cella è coperta da un deposito, la sua temperatura interna aumenta e quindi porta alla comparsa di perdite. Il riscaldamento delle celle di 10 °C è stata osservata in misure sperimentali, gli effetti dell'area coperta. Così lo studio sul comportamento delle celle fotovoltaiche oggetto di impurità mostrano che queste situazioni devono essere evitate il più possibile in quanto essere perdite nel sistema. A volte le perdite possono rappresentare la metà o anche di più della energia che deve essere prodotta da un sistema in condizioni normali.

Il modo nel quale i pannelli fotovoltaici, che sono influenzati dal problema dei depositi, si aggrava

### Riconoscimenti

Questo documento è supportato dal Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOPHRD), Finanziato dal Fondo sociale Europeo e dal Governo Rumeno sotto il numero di contratto POSDRU/88/1.5/S/61178.

### Riferimenti

- [1] R.A. Messenger, J.Ventre, " Photovoltaic Systems Engineering", CRC Press, Florida 2004.
- [2] G.Acciani, O.Falcone, S.Vergura, "Defects in poly-Silicon and amorphous Silicon solar cells", ICREPQ'10, Granada, Spain.
- [3] R. Sullivan, "Shadow effects on a series-parallel array of solar cells", Greenbelt, Maryland, NASA article.
- [4] F. Sick, Th. Erge, "Book for architects and engineers", UK 2003.
- [5] G.Acciani, G.B. Simione, S.Vergura, "Thermographic Analysis of Photovoltaic Panels", ICREPQ'10, Granada , Spain.
- [6] M.K. Mazunder, "Development of a Transparent Self-Cleaning Dust Shield for Solar Panel, Particulate Science and Technology Journal", 25 (1), pp. 5-21.
- [7] [http://www.isfh.de/institut\\_solarforschung](http://www.isfh.de/institut_solarforschung)
- [8] <http://www.pvenlargement.com>
- [9] <http://www.pveducation.org/pvcddrom>
- [10] D.Sera, Y. Baghzouz, "On the Impact of Partial Shading on PV Output Power", RES'08, Corfu, Greece.