

Simulazione del rendimento di un pannello fotovoltaico

Duccio Gasparri Matteo Pirazzini

October 2019

1 Introduction

L'inquinamento globale e in particolare l'aumento delle temperature sono una delle tematiche più calde negli ultimi anni perchè colpisce direttamente il nostro pianeta e noi stessi. Proprio per questo motivo sempre più paesi nel mondo stanno puntando molto sulle energie rinnovabili al fine di diminuire le emissioni di CO_2 e per calare la produzione di energia elettrica dovuta ai combustibili fossili quali il petrolio e il carbone che oltre ad essere una risorsa limitata, sono anche altamente inquinanti. Possiamo perciò dire che le energie rinnovabili che sfruttano eventi e fenomeni naturali senza creazione diretta di anidride carbonica sono il futuro della creazione di energia elettrica. Nel nostro progetto ci concentreremo sul fotovoltaico, una tecnologia ormai molto diffusa che sfrutta l'energia solare per generare elettricità. Il progresso degli studi fotovoltaici ha portato a ideare nuove geometrie che seguissero figure non planari al fine di essere maggiormente integrati all'interno delle architetture degli edifici stessi. Lo scopo di questo progetto è appunto quello di capire come la diversa geometria

del pannello influisca sul rendimento del sistema fotovoltaico.

I	corrente in uscita della cella fotovoltaica
V	voltaggio in uscita della cella fotovoltaica
I_{ph}	fotocorrente
I_0, I_{01}, I_{02}	corrente inversa di saturazione del diodo
V_d	voltaggio del diodo
I_d	corrente del diodo
I_0	corrente inversa di saturazione del diodo
a, a_1, a_2	fattore ideale del diodo
k	costante di Boltzmann
T	temperatura della giunzione p-n
q	carica dell'elettrone
K_i	coefficiente della corrente di cortocircuito sulla temperatura
K_v	coefficiente della corrente a circuito aperto sulla temperatura
G	radiazione solare effettiva
G_B	radiazione solare del fascio su una superficie orizzontale (W/m^2)
G_{Bt}	radiazione solare del fascio su una superficie inclinata (W/m^2)
G_R	radiazione diffusa del cielo (W/m^2rad)
θ	angolo di incidenza
θ_r	angolo di rifrazione
$\theta_{e,D}$	angolo della radiazione solare diffusa dal cielo
$\theta_{e,G}$	angolo della radiazione solare riflessa dal terreno
K	coefficiente di estinzione del sistema fotovoltaico (cap 9 pag 514)
K_θ	rapporto tra la radiazione assorbita dalla cella all'angolo di incidenza θ diviso dalla radiazione assorbita dalla cella alla incidenza normale
S	radiazione solare assorbita
M	modificatore della massa d'aria
m	massa d'aria di riferimento al livello del mare
L	latitudine
h	angolo orario
δ	declinazione (angolo fra piano equatoriale e centro del sole)
β	inclinazione del pannello in gradi rispetto al terreno
Φ	angolo dello zenith solare rispetto alla perpendicolare al terreno
z	angolo di Azimuth rispetto al piano orizzontale
Z_S	angolo di inclinazione del pannello fra il sud e la perpendicolare del pannello (verso ovest è positivo)
α	angolo di altitudine solare (complementare di Φ) (capitolo 2 pag 60)
G_{STV}	radiazione solare nominale ($1000W/m^2$)
ΔT	differenza fra la temperatura effettiva e la temperatura nominale
$I_{ph,STC}$	fotocorrente nominale ($25^\circ C$ e $1000W/m^2$)
N_s	numero di celle connesse in serie
N_{ss}	numero di moduli connessi per serie
N_{pp}	numero di moduli connessi in parallelo
V_{oc}	voltaggio di circuito aperto
I_{sc}	corrente di cortocircuito
N	giorno dell'anno 2
L_T	spessore del vetro
min	minuti dal mezzogiorno solare locale
MPP	punto di massima potenza

indice di rifrazione vetro = 1.526 (CAP 2) Scelto N giorno dell'anno calcolo δ declinazione

Eq 1:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (1)$$

dato min minuti (per semplicità di calcolo prendiamo come mezzogiorno solare sempre 12) calcoliamo h angolo orario

Eq 2:

$$h = \pm 0.25(min) \quad (2)$$

data L latitudine (positiva per i valori a nord dell'equatore e negativa per i valori a sud dell'equatore) calcoliamo gli angoli di zenith solare α e Φ

Eq 3 pag 517 calcolo dell'angolo di zenith:

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \quad (3)$$

(pag 60 per calcolare z)

calcolo z angolo di Azimuth

Eq 4:

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad (4)$$

dati β inclinazione del pannello in gradi rispetto al terreno e Z_S angolo di inclinazione del pannello fra il sud e la perpendicolare del pannello (verso ovest è positivo) calcolo θ angolo di incidenza

Eq 4:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(L)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_S) \\ & + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta) + \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_S) \\ & + \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_S) \end{aligned} \quad (5)$$

(CAP 9)

dato $G_{Bt} = \cos(\theta)$ e $G_B = \cos(\Phi)$ (GUARDA PAG 101) calcolo R_B

Eq 5:

$$R_B = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\Phi)} \quad (6)$$

calcolo m

Eq 6 pag 517:

$$m = \frac{1}{\cos(\Phi)} \quad (7)$$

dati gli alpha parametri della regressione dipendenti dal tipo di pannello calcolo M

Eq 7, gli alpha sono a pag 514 :

$$M = \alpha_0 + \alpha_1 m + \alpha_2 m^2 + \alpha_3 m^3 + \alpha_4 m^4 \quad (8)$$

calcolo l'angolo di rifrazione θ_r

Eq 8:

$$\sin(\theta_r) = \frac{\sin(\theta)}{1.526} \quad (9)$$

dato L_T spessore del pannello e K coefficiente di estizione del sistema foto-voltaico calcolo $\tau\alpha_B$

Eq 9 (pag 516):

$$(\tau\alpha)_B = \exp^{-[KL_T/\cos(\theta_r)]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_r - \theta)}{\sin^2(\theta_r + \theta)} + \frac{\tan^2(\theta_r - \theta)}{\tan^2(\theta_r + \theta)} \right] \right\} \quad (10)$$

calcolo $\tau\alpha_n$

Eq 10 (pag516):

$$(\tau\alpha)_n = e^{-KL_T} \left[1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \right] \quad (11)$$

calcolo $K_{\theta,B}$

Eq 11 (pag516):

$$K_{\theta,B} = \frac{(\tau\alpha)_B}{(\tau\alpha)_n} \quad (12)$$

calcolo calocolo S

Eq 12 (pag514):

$$S = (\tau\alpha)_n M \{G_B R_B K_{\theta,B}\} \quad (13)$$

dato G_R calcolo G_D

Eq 13:

$$G_D = 2G_R \quad (14)$$

calcolo G

Eq 14:

$$G = G_B + G_D \quad (15)$$

dato $I_{ph,STC}$ K_i e ΔT e G_{STC} calcolo I_{ph} fotocorrente

Eq 15:

$$I_{ph} = (I_{ph,STC} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_{STC}} \quad (16)$$

dato N_S numero di celle connesse in serie T temperatura della giunzione p-n K_V ?????????????????????????????????????? calcolo V_T

Eq 16:

$$V_T = \frac{N_S K T}{q} \quad (17)$$

calcolo I_0 corrente di saturazione

Eq 17:

$$I_0 = \frac{I_{ph,STC} + K_i \Delta T}{\exp[(V_{oc,STC} + K_V \Delta T)/aV_T] - 1} \quad (18)$$

dato k costante di Boltzmann, T temperatura assoluta della giunzione, q carica elettrica ($1.602 * 10^{-19}$ J/V), V voltaggio attorno alla cella, a fattore ideale del diodo calcolo I corrente di uscita del pannello

Eq 18 (modello ideale):

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{qV_d}{akT} \right) - 1 \right) \quad (19)$$

Eq 18-bis: (modello boh)

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{aV_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (20)$$

modelli a diodo doppio Eq i:

$$I = I_{ph} + I_{01} \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{a_1 V_{T1}} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{a_2 V_{T2}} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (21)$$

Eq ii:

$$I_{01} = I_{02} = I_0 = \frac{I_{ph,STC} + K_j \Delta T}{\exp[(V_{oc,STC} + K_V \Delta T)/[(a_1 + a_2)/p]V_T] - 1} \quad (22)$$

Eq iii:

$$V_{T1} = V_{T2} = \frac{N_S K T}{q} \quad (23)$$