Dimensionamento di un impianto fotovoltaico stand-alone (isolato)

In questo articolo viene proposto un metodo per dimensionare sistemi fotovoltaici autonomi supponendo la presenza di carichi esclusivamente in corrente alternata.

Damiano Quinci

Oggigiorno ci sono molti programmi software che facilitano il lavoro di calcolo per tutti i tipi di impianti fotovoltaici basta inseriamo i dati e avere in poco tempo l'impianto calcolato. In realtà però "L'importante è sapere da dove vengono le cose". Cioè, è molto positivo che un programma esegua tutto il lavoro, ma vinceremo sempre se sappiamo il perché delle cose. Ci arricchirà concettualmente e sicuramente in più di una occasione saremo in grado di migliorare la proposta fornita da un semplice software di calcolo. Questo è lo scopo del presente articolo, fornire una panoramica di ciò che è un impianto fotovoltaico autonomo, chi sono gli elementi che normalmente fanno parte di esso e come farne il dimensionamento, il tutto in modo generale e allo stesso tempo accompagnato da concetti importanti e uno sviluppo relativamente approfondito del processo di calcolo.
Secondo il suo funzionamento in relazione ad una rete elettrica convenzionale ci sono due tipi fondamentali di sistemi fotovoltaici: da un lato ci sono i cosiddetti sistemi fotovoltaici collegati (o Grid Connected) alla rete, che, come si può dedurre dal nome, richiedono il collegamento ad una rete elettrica per la sua funzione di generazione di energia elettrica. Dall'altra parte ci sono i sistemi fotovoltaici isolati (Stand Alone), che a differenza dei precedenti, non hanno bisogno di una connessione con una rete elettrica, e il suo funzionamento è indipendente o autonomo da detta rete (da qui il suo nome). Gli Stand Alone sono nati prima rispetto a quelli Grid Connected e, sebbene questi ultimi stiano raggiungendo una crescita molto significativa negli ultimi anni quelli isolati sono maggiormente impiegati in quelle zone con poco sviluppo industriale, nelle zone rurali, luoghi remoti e inaccessibili, ecc..

Dimensionamento e progetto

Con la progettazione di un sistema fotovoltaico autonomo si intende un concetto molto ampio che comprenderebbe tutti i compiti e le specifiche che devono essere eseguite e presi in considerazione affinché l'impianto funzioni in modo soddisfacente, con la massima affidabilità e al minor costo possibile. In questo senso, ci sarà una grande moltitudine di fattori che influenzeranno il progetto, come, tra gli altri, il profilo di consumo o consumo dei carichi che vanno a alimentare l'impianto fotovoltaico e la radiazione solare del luogo in cui verrà localizzata l'installazione, principalmente. Il concetto di dimensionamento sarebbe un concetto meno ampio e verrebbe incluso tra i compiti di progettazione. Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico è inteso come il calcolo della dimensione ottimale dell'impianto. Il compito fondamentale per dimensionare un sistema fotovoltaico autonomo consisterà principalmente nella determinazione delle dimensioni ottimali sia del generatore fotovoltaico che della batteria o batterie che costituisce il sistema. Poiché questi due elementi sono i più importanti del sistema fotovoltaico autonomo occorre prestare particolare attenzione al suo dimensionamento. In una fase successiva, e senza perdere importanza, sarà necessario dimensionare gli altri elementi che partecipano anche all'installazione, come l'inverter, il regolatore di carica e il cablaggio.

Metodi di dimensionamento

Esistono vari metodi per dimensionare sistemi fotovoltaici autonomi. Questa diversità spazia da metodi molto complicati che richiedono l'uso di un programma per computer a metodi molto più semplici, che con praticamente un calcolatore manuale consentono di effettuare il dimensionamento.
La filosofia di dimensionamento di un impianto fotovoltaico autonomo è molto diversa da quella di un impianto fotovoltaico connesso alla rete. In quest'ultimo caso, il criterio che viene solitamente utilizzato per la progettazione e il dimensionamento è quello di ottenere le più elevate possibili prestazioni del sistema e che il contributo energetico annuale del sistema sia massimo. Dal momento che è collegato alla rete elettrica, i possibili guasti nel sistema non sono così cruciali come in un sistema fotovoltaico autonomo. Al contrario, il criterio da seguire nel dimensionamento di un sistema fotovoltaico autonomo non è tanto la massima produzione di energia ma la sua affidabilità, nel senso di garanzia del corretto funzionamento del sistema, assicurando che i guasti del sistema siano minimi. In questo caso, il sistema deve essere progettato e dimensionato in modo che la probabilità di guasto sia la più bassa possibile, entro margini stabiliti in base al tipo di sistema.

Il metodo proposto per il dimensionamento dei sistemi fotovoltaici stand alone

Nonostante la grande moltitudine di metodi di dimensionamento dei sistemi fotovoltaici esistenti, un metodo molto semplice, ma che fornisce risultati molto buoni, se non altro per una prima fase di progettazione è il seguente con la procedura di seguito descritta.
I passaggi da seguire nel dimensionamento proposto sono i seguenti:

- Passaggio 1. Stima del consumo
- Passaggio 2. Calcolo dell'angolo di inclinazione ottimale dei pannelli
- Passaggio 3. Dimensionamento del generatore fotovoltaico
- Passaggio 4. Dimensionamento del sistema di accumulo
- Passaggio 5. Dimensionamento del regolatore
- Passaggio 6. Dimensionamento dell'inverter
- Passaggio 7. Dimensionamento del cablaggio

Stima del il consumo

La richiesta di energia impone molte delle caratteristiche all'impianto, quindi nella pianificazione delle esigenze dovrebbe essere annotato tutto ciò che riguarda i diversi apparecchi elettrici che saranno il carico del sistema. L'energia di cui l'utente avrà bisogno quotidianamente dovrebbe essere calcolata. Per fare questo, occorre determinare la potenza di tutti i dispositivi dell'impianto, individualmente, insieme al tempo medio di utilizzo di ciascuno di essi. In caso di dubbio, è necessario arrotondare, per eccesso, la potenza e il tempo medio di utilizzo. Conosciuti tutti i carichi, le potenze e i tempi di utilizzo l'espressione che ci consente di calcolare l'energia di consumo, distinguendo tra gli apparati di corrente alternata e continua sarà:

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} \cdot t_{di}$$

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di}$$

dove:

E_{AC}: energia consumata in corrente alternata (Wh)
E_{DC}: energia consumata in corrente continua (Wh)
P_i: Potenza nominale (W)
t_{di}: Tempo di utilizzo giornaliero

Per calcolare il consumo totale, si tiene conto dei rendimenti delle apparecchiature esistenti utilizzando la seguente espressione:

$$E_T = E_{DC} / h_{BAT} + E_{AC} / (h_{BAT} \cdot h_{INV})$$

dove:

E_T è l'energia reale richiesta dal sistema (consumo) (Wh)
h_{BAT} è il rendimento della batteria; h_{INV} è il rendimento dell'inverter.
La vera energia richiesta E_T, riflette l'energia che il sistema richiede nel suo complesso in un giorno, ed è un dato importante quando si tratta di dimensionare il generatore fotovoltaico.

Il calcolo dell'angolo di inclinazione ottimale dei moduli

Il flusso di radiazione solare che colpisce la superficie della terra dipende da due fattori:

- Fattori astronomici: sono quelli che dipendono dalla geometria terra-sole. Cioè, sono a seconda della posizione relativa sole-terra e dalle coordinate geografiche del posto considerando, latitudine e longitudine.
- Fattori climatici: il fattore principale è l'altitudine del sole che influenza le temperature e precipitazioni che variano in aree specifiche e altri.

L'influenza della latitudine rispetto alla temperatura è molto grande, quindi l'angolo di incidenza dei raggi solari determina la quantità di calore che riceve una superficie. La radiazione su una superficie è espressa come segue:

Valore medio mensile o annuale dell'irradiazione giornaliera in una superficie orizzontale è espressa in

$$kWh/m^2 \cdot d$$

La norma UNI 10439 nel Comune di Vibo Valentia, Longitudine 38° e Latitudine 16°, con orientamento ottimale 0° (sud) con inclinazione (l'angolo che il modulo forma con l'orizzontale) ottimalepari a 29° abbiamo una radiazione solare annua pari a 1 486,6 kWh/m^2a con una radiazione solare giornaliera pari a 4,1 kWh/m^2 d.
Con orientamento, invece, di 30°, l'inclinazione ottimale sarebbe di 26° con radiazione solare annua pari a 1481,90 kWh/m^2a con radiazione solare giornaliera uguale al caso precedente.

Dimensionamento del generatore fotovoltaico

Una volta conosciuta la richiesta di energia del carico, è possibile dimensionare il generatore fotovoltaico. Il numero totale di moduli fotovoltaici che devono essere installati può essere calcolato dalla seguente espressione:

$$N_T = E_T / (P_p \cdot G_{mß} \cdot P_G)$$

dove:
E_T = Energia effettiva richiesta (Wh)
P_p = Picco di potenza del modulo (W / kW / m^2)
G_{mb} = Radiazione globale su una superficie inclinata di un angolo ß (kWh/m^2)
P_G = Fattore di perdite globali (di solito varia tra 0,65 e 0,9)

Conoscendo il numero totale di pannelli che formano il generatore fotovoltaico e la tensione nominale della batteria, che coincide con la tensione nominale dell'impianto, è possibile determinare se è necessario raggruppare i moduli in serie e in parallelo. Il numero di moduli che dovranno essere collegati in serie, viene calcolato come segue:

$$N_S = V_{BAT} / V_m$$

dove:
N_s = Numero di moduli in serie per ramo
V_{Bat} = Tensione nominale della batteria (V)

V_m = Tensione nominale dei moduli (V)

E il numero di rami in parallelo da collegare per fornire la potenza necessaria, è dato da:

$$N_p = N_T / N_S$$

dove:
N_p = Numero di moduli da collegare nei rami in parallelo.

I valori di N_T, N_s e N_p vengono arrotondati per eccesso, tranne se sono molto vicini ai valori predefiniti, in modo da garantire la fornitura di energia richiesta dall'impianto. L'angolo di inclinazione dei pannelli ß viene calcolato con il metodo del mese critico detto in precedenza.
Dopo questi calcoli il generatore fotovoltaico verrà dimensionato sia nel numero di moduli che nell'inclinazione dello stesso.

Il dimensionamento del sistema di accumulo (batteria)

Per definire la dimensione dell'accumulatore, devono essere presi in considerazione i seguenti parametri:
Massima capacità di scarica: è il livello massimo di scarica che è consentito alla batteria prima della disconnessione del regolatore, per proteggere la durata della stessa. Nelle batterie stazionarie al piombo-acido un valore adeguato di questo parametro è 0,7.
Giorni di autonomia: è il numero di giorni consecutivi che, in assenza di luce solare, il sistema di accumulo è in grado di soddisfare il consumo, senza superare la capacità massima di scarica della batteria. I giorni di possibile autonomia dipendono, tra gli altri fattori, dal tipo di installazione e dalle condizioni climatiche del luogo. La capacità delle batterie è la quantità di energia che deve essere in grado di immagazzinare, per garantire giorni di autonomia. Le espressioni utilizzate per trovare la capacità della stessa, sia in Wh (Watt ora) che in Ah (Ampere ora) sono:

$$C_n\,(Wh) = E_T \cdot N/C_s\,; \qquad C_n\,(Ah) = C_n\,(Wh)\,/V_{Bat}$$

dove:
C_n = Capacità nominale della batteria (Wh o Ah)
E_T = Energia effettiva richiesta (Wh)
C_s = Massima capacità di scarica della batteria
V_{Bat} = Tensione nominale della batteria (V)

È importante notare che brevi periodi di autonomia prolungano la durata delle batterie e conferiscono maggiore affidabilità al sistema. La batteria verrà scelta in modo che si avvicini al valore di capacità nominale calcolato C_n. Allo stesso modo, si tenderà a scegliere la batteria arrotondando il valore C_n in eccesso per ottenere un margine di sicurezza migliore.

Dimensionamento del regolatore

Il regolatore è l'elemento che controlla la carica e la scarica della batteria, consentendo il processo di ricarica dal generatore fotovoltaico e il processo di scarica attraverso gli elementi del consumo elettrico del sistema globale. Quando si dimensiona il regolatore, l'obiettivo principale è ottenere la corrente massima che circolerà attraverso l'impianto. Pertanto, dobbiamo calcolare la corrente prodotta dal generatore, la corrente che consuma il carico e il massimo di queste due correnti sarà quello che il regolatore deve supportare durante il funzionamento. La corrente di intervento a cui il regolatore deve agire sarà fissata nel dispositivo stesso, ma deve supportare il massimo possibile che l'impianto può produrre.
L'intensità della corrente prodotta dal generatore è la somma delle intensità prodotte dai moduli che funzionano a pieno rendimento:

$$I_G = I_R \bullet N_R\,; \qquad I_R = P_P \bullet h_m / V_m$$

dove:
I_G = Corrente prodotta dal generatore (A)
I_R = Corrente prodotta da ciascun ramo in parallelo del generatore (A)
N_R = Numero di rami in parallelo del generatore
P_p = Potenza di picco del modulo fotovoltaico (W)
h_m = Rendimento del modulo
V_m = Tensione nominale dei moduli (V)

L'intensità consumata dal carico è determinata tenendo conto di tutti i consumi allo stesso tempo:

$$I_c = P_{DC} /V_{bat} + P_{AC} / 230$$

dove:
I_C = Corrente che consuma il carico (A)
P_{DC} = Potenza del carico in DC (W)
V_{bat} = Tensione nominale della batteria (V)
P_{AC} = Potenza dei carichi in AC (W)

Di queste due correnti, il valore massimo di entrambi sarà quello che il regolatore deve supportare e sarà quello che verrà utilizzato per la sua scelta.

$$I_R = \max\,(I_G, I_C)$$

Dimensionamento dell'inverter

Le caratteristiche operative che definiscono un inverter o convertitore DC-AC sono:
- Potenza nominale (kW)
- Tensione di ingresso nominale (V)

- Tensione di uscita nominale (V)
- Frequenza operativa (Hz)
- Rendimento (%)

La tensione di ingresso nell'inverter di un impianto fotovoltaico non sarà sempre costante, quindi l'inverter deve essere in grado di trasformare diverse tensioni continue all'interno di un determinato intervallo. Tale intervallo è solitamente del 15%. Il valore della tensione nominale è un dato di riferimento all'interno dell'intervallo di azione che serve per identificare il tipo di convertitore. Quando si dimensiona l'inverter, viene presa in considerazione la potenza richiesta dal carico in AC, in modo che venga scelto un inverter la cui potenza nominale sia leggermente superiore al massimo richiesto dal carico. Tuttavia, si dovrebbe evitare di sovradimensionare l'inverter per cercare di farlo funzionare nell'area in cui ha le migliori rendimenti.
È possibile riassumere la potenza dell'inverter con questa espressione:

$$P_{inv} \text{ » } PAC$$

Dimensionamento dei cavi

Il dimensionamento dei cavi è uno dei compiti in cui deve essere prestata particolare attenzione, poiché ogni volta che c'è un consumo ci saranno perdite dovute a cadute di tensione nei cavi.
Queste perdite ohmiche devono soddisfare le condizioni più restrittive delle seguenti due condizioni:

1. Verificare gli standard normativi in bassa tensione
2. La perdita di energia deve essere inferiore a una quantità prestabilita.

Il suo valore può essere calcolato con le seguenti espressioni:

$$P_{PC} = R_C I_2; \quad R_C = r\, l/S$$

dove:
P_{PC} = Perdite di potenza nei conduttori (W)
I = Corrente che attraversa i conduttori (A)
R_C = Resistenza ohmica dei conduttori (W)
r = Resistività del conduttore (W · mm^2 / m)
L = Lunghezza dei conduttori (m)
S = Sezione trasversale del conduttore (mm^2)

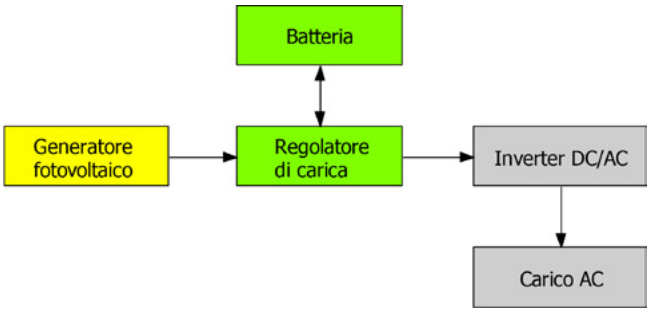
Supponiamo di dover dimensionare un impianto fotovoltaico isolato con le seguenti caratteristiche:

Profilo di consumo Costante annuale
Ubicazione: Vibo Valentia
Efficienza della batteria: 95%
Efficienza dell'inverter: 90%
Capacità massima di scarica: 60%
Numero di giorni di autonomia: 6
Tensione nominale della batteria 24 V
Latidudine 38 °
Radiazione globale mensile media su superficie orizzontale per ogni mese dell'anno:
Stima del consumo, Potenza dei carichi in alternata 1728 W, 3 345 Wh/g

Mese	Radiazione Diretta [kWh/m^2]	Radiazione Diffusa [kWh/m^2]	Radiazione Riflessa [kWh/m^2]	Totale giornaliero [kWh/m^2]	Totale mensile [kWh/m^2]
Gennaio	0,759	1,536	0,000	2,296	71,163
Febbraio	1,332	1,901	0,000	3,233	90,522
Marzo	2,104	1,953	0,000	4,057	125,758
Aprile	2,756	1,927	0,001	4,683	140,492
Maggio	3,373	1,849	0,001	5,222	161,896
Giugno	3,296	1,979	0,001	5,276	158,274
Luglio	3,533	2,057	0,001	5,59	173,296
Agosto	3,131	2,135	0,001	5,267	163,262
Settembre	2,403	2,161	0,001	4,564	136,933
Ottobre	1,663	2,031	0,000	3,694	114,51
Novembre	1,059	1,822	0,000	2,881	86,442
Dicembre	0,583	1,484	0,000	2,067	64,075

Caratteristiche dei moduli da utilizzare:
Potenza 106 W, I_{sc} = 6,54 A, V_{oc} = 21,6 V, I_{max} = 6,1 A, V_{max} = 17,4 V.

Questo può essere riassunto nel seguente schema:



Inclinazione dei moduli 29 °

Dimensionamento del generatore fotovoltaico
Per calcolare il numero di moduli da installare, supponiamo che il modulo sia utilizzato con una potenza di 110 W. Applicando l'espressione:

3 334/110 5,59 0,75 = 3 334/461,175 = 7,22 In linea di principio, verrebbero utilizzati 7 moduli.

Per quanto riguarda il loro numero in serie e in parallelo, sarebbe:

$N_S = V_{Bat} / V_m$ = 24/17,4 = 1,4 » 2 moduli in serie

$N_P = N_T / N_S$ = 7/2 = 3,5 » 4 moduli in parallelo

Struttura 2 x 4 moduli

Dimensionamento della batteria
Ricordiamo che i due parametri importanti per il dimensionamento della batteria sono la massima capacità di scarica e il numero di giorni di autonomia. In questo caso questi valori sono:

P_d = 0,6 e N = 6

Pertanto la capacità nominale della batteria sarà:

Cn (Wh) = ET · N/P_d = 3334 · 6/0,6 = 33340 Wh

Cn (Ah) = Cn (Wh)/V_{bat} = 33340/24 = 1389 Ah

Dimensionamento del regolatore
L'intensità della corrente prodotta dal generatore è la somma delle intensità prodotte dai moduli che funzionano a pieno rendimento:

$I_G = I_R \cdot N_R$; $I_R = P_p \cdot hm/Vm$ = 110 · 0,75/6,1 = 13,5 A

$I_G = I_R \cdot N_R$ = 13,5 · 14 = 189 A

L'intensità consumata dal carico è determinata tenendo conto di tutti i consumi allo stesso tempo:

$I_C = P_{DC}/ V_{bat} + P_{AC}/ 230$ = 0 + 795/230 = 3,46 A

Conclusioni

L'energia solare è una fonte di energia rinnovabile che crescerà nel corso degli anni, sostituendo l'energia che utilizza combustibili fossili e derivati del petrolio.

- La determinazione dell'angolo di inclinazione ottimale dipenderà dalla posizione geografica in cui si trova l'impianto fotovoltaico, cercando anche che l'adattamento ai cambiamenti climatici sia il più appropriato in inverno, in estate o per tutto l'anno.
- Con la realizzazione di pannelli fotovoltaici certamente l'impatto ambientale sarà ridotto, conservando le risorse naturali che sono di grande utilità per il risparmio energetico del Paese e che influenzeranno il miglioramento della qualità della vita degli abitanti.
- I sistemi fotovoltaici autonomi hanno un'ampia flessibilità e applicazione da collegare alla rete elettrica convenzionale, per soddisfare la domanda del sistema con energia rinnovabile che è economica.

Il metodo presentato di dimensionamento di sistemi fotovoltaici autonomi, semplice, facile da capire non richiede calcoli particolari per eseguirli. I risultati che si ottengono sono molto simili a quelli che si otterrebbero con metodi più complicati, quindi il metodo è valido per una prima approssimazione nel calcolo del dimensionamento di un impianto fotovoltaico autonomo.