



Concetti preliminari

Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente l'energia solare in energia elettrica.

Esso è composto essenzialmente da:

- moduli o pannelli fotovoltaici;
- inverter, che trasforma la corrente continua generata dai moduli in corrente alternata ;
- quadri elettrici e cavi di collegamento.

I moduli sono costituiti da celle in materiale semiconduttore, il più utilizzato dei quali è il silicio cristallino. Essi rappresentano la parte attiva del sistema perché convertono la radiazione solare in energia elettrica.

Gli impianti fotovoltaici possono essere connessi alla rete elettrica di distribuzione (grid-connected) o direttamente a utenze isolate (stand-alone), tipicamente per assicurare la disponibilità di energia elettrica in zone isolate.

Gli impianti fotovoltaici, così come gli impianti solari termici utilizzano il sole come fonte energetica, catturandone la radiazione attraverso superfici captanti: mentre i moduli fotovoltaici trasformano direttamente la radiazione solare in energia elettrica, i pannelli

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici

solari termici utilizzano l'energia termica del sole per riscaldare l'acqua da utilizzare per uso igienico sanitario o per il riscaldamento degli ambienti.

I vantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in:

- assenza di qualsiasi tipo di emissione inquinante;
- risparmio di combustibili fossili;
- affidabilità degli impianti poiché non esistono parti in movimento;
- costi di esercizio e manutenzione ridotti al minimo;
- modularità del sistema (per aumentare la potenza dell'impianto è sufficiente aumentare il numero dei moduli).

E' da tener presente che l'impianto fotovoltaico è caratterizzato da un elevato costo iniziale (dovuto essenzialmente all'elevato costo dei moduli) e da una produzione discontinua a causa della variabilità della fonte energetica (il sole).

La produzione elettrica annua di un impianto fotovoltaico dipende da diversi fattori:

- radiazione solare incidente sul sito d'installazione;
- orientamento ed inclinazione della superficie dei moduli;
- assenza/presenza di ombreggiamenti;
- prestazioni tecniche dei componenti dell'impianto (moduli, inverter ed altre apparecchiature).

Prendendo come riferimento un impianto da 1 kW di potenza nominale, con orientamento ed inclinazione ottimali ed assenza di ombreggiamento, non dotato di dispositivo di "inseguimento" del sole, in Italia è possibile stimare le seguenti producibilità annue massime:

- regioni settentrionali 1.000 – 1.100 kWh/anno;
- regioni centrali 1.200 – 1.300 kWh/anno;
- regioni meridionali 1.400 – 1.500 kWh/anno.

Si tenga conto che per impianti fotovoltaici tradizionali ed a moduli di silicio cristallino, è possibile produrre in circa 10mq di pannelli 1kW di potenza nominali, intendendo per potenza nominale (o di picco) la potenza elettrica dell'impianto determinata dalla somma delle singole potenze nominali (o massime, o di picco, o di targa) di ciascun modulo fotovoltaico facente parte del medesimo impianto, misurate alle condizioni standard (temperatura pari a 25 °C e radiazione pari a 1.000 W/m²).

Lo schema di connessione dell'impianto alla rete è definito dal gestore di rete a cui l'impianto deve essere connesso; è necessario pertanto fare riferimento alle norme tecniche rese disponibili dal gestore di rete locale.

La progettazione dell'impianto

Il progetto di un sistema fotovoltaico raccoglie l'insieme delle elaborazioni tecniche necessarie per passare dalla sua ideazione alla sua realizzazione esecutiva. In esso confluiscono i dati e le informazioni che devono servire da premessa alle fasi di dimensionamento e selezione dei componenti, di messa in opera, gestione e manutenzione dell'impianto.

Si noti che la progettazione di un impianto fotovoltaico si distingue per molti fattori dalle classiche progettazioni impiantistiche, innanzitutto a causa della variabilità della fonte principale, cioè l'energia solare, la quale non può in nessun modo essere prevista con precisione e senza applicare margini di tolleranza, ma anche per il fatto che i moduli fotovoltaici svolgono oltre alla primaria funzione di "generazione", anche quella di "componenti edilizi architettonici", per cui sono tenuti a soddisfare un duplice ordine di esigenze, di tipo energetico e di tipo architettonico.

Inoltre, occorre ricordare come gli impianti fotovoltaici abbiano anche la funzione integrativa rispetto ad altri sistemi di approvvigionamento energetico, cosicché la definizione delle loro specifiche funzionali e prestazionali non risulta mai univoca, dipendendo dall'interazione di differenti fattori economici e tecnici.

Le differenti fasi su cui devono essere articolate le operazioni di pianificazione per la realizzazione di un impianto fotovoltaico sono appresso riportate:

- calcolo del fabbisogno dell'utenza da servire;
- determinazione della risorsa solare annua;
- dimensionamento e verifica del generatore;
- dimensionamento dei sistemi di accumulo;
- dimensionamento degli inverter;
- progetto degli altri elementi costituenti l'impianto e delle interazioni con altri impianti

Stima del fabbisogno dell'utenza

L'impianto fotovoltaico va sempre dimensionato in funzione della tipologia di utenza e dei suoi consumi.

A tal fine, diviene necessario determinare con precisione la natura e consistenza dei fabbisogni da soddisfare con l'impianto fotovoltaico, oltre alla loro distribuzione giornaliera ed anche annua.

Infatti, risulta particolarmente utile capire se può essere sfruttato un certo parallelismo tra necessità di consumo e disponibilità di radiazione solare; in caso affermativo l'efficienza del sistema migliora notevolmente, limitando le perdite di stoccaggio e di distribuzione.

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici

Sinteticamente, il consumo dell'utenza può essere espresso nella seguente forma:

$$E = \sum_i P_i \cdot \tau_i$$

,essendo P_i e τ_i rispettivamente la potenza elettrica espressa in W e il tempo di funzionamento annuo dell'i-esimo apparecchio.

Generalmente i dati che più interessano nella progettazione dell'impianto fotovoltaico riguardano l'entità del carico complessivo nei giorni medi mensili (kWh/giorno) e su base annua (kWh/anno).

Stima dell'energia producibile

L'energia annua producibile E_{pv} dell'impianto fotovoltaico viene fornita dalla seguente espressione analitica:

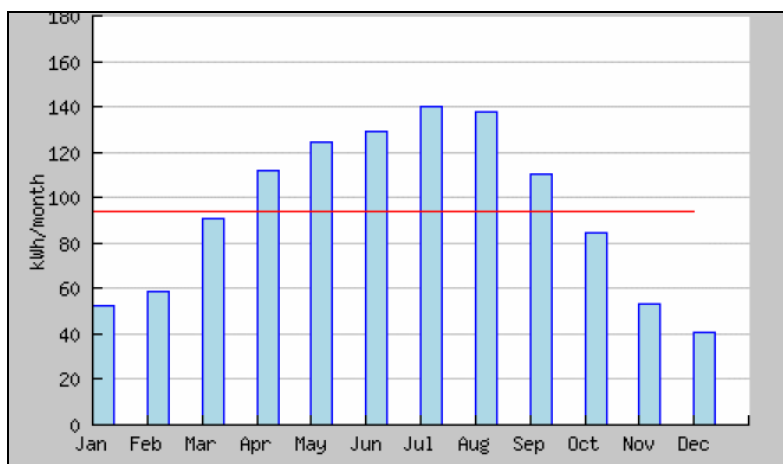
$$E_{pv} = \eta_{pv} \cdot A_{pv} \cdot H$$

essendo:

- η_{pv} l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico;
- A_{pv} l'area occupata dall'insieme dei moduli che compongono il generatore, espressa in m^2 ;
- H l'irradiazione solare annua incidente sulla superficie dei moduli, espressa in kWh/m^2 .

La medesima relazione può essere scritta per un periodo temporale diverso dall'anno, ad esempio per il singolo giorno, esprimendo E_{pv} in kWh/giorno e H in $kWh/(m^2 \times \text{giorno})$.

La disponibilità di energia solare subisce notevoli variazioni giornaliere, mensili ed annuali; a tale scopo è necessario ricorrere a dati climatici relativi alla località in cui è situato l'impianto.



(variabilità annua dell'irraggiamento solare)

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici

Inoltre, la quantità dell'energia prodotta varia con gli angoli di inclinazione e di orientamento delle superfici captanti dei singoli moduli, oltre che da eventuali fenomeni di ombreggiamento artificiale.

Si noti che, a sua volta, l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico η_{pv} dipende dall'efficienza della componentistica non fotovoltaica del sistema (cablaggi, inverter, ecc), dei fenomeni di surriscaldamento dei pannelli, dalla riflessione parziale della radiazione incidente, dall'efficienza di conversione, dalla formazione di depositi di polveri sui pannelli ed, infine, dall'efficienza del singolo modulo η_{mod} .

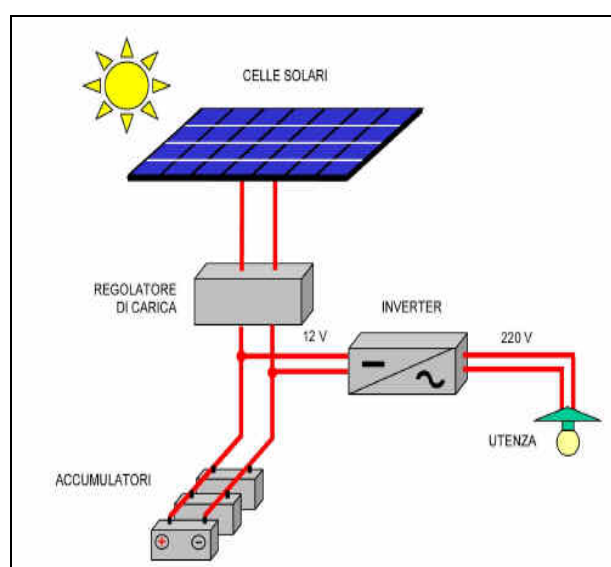
Allo stato attuale, con le tecnologie dei moduli al silicio cristallino, si può supporre che l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico η_{pv} vari tra 0.09 e 0.11; per cui è lecito scrivere:

$$E_{pv} = 0.10 \cdot A_{pv} \cdot H$$

Ciò significa che, nel caso di stime preliminari e non dettagliate, si può considerare che l'intero sistema produca una quantità di energia elettrica pari al 10% della radiazione solare intercettata dai suoi moduli.

Dimensionamento di un impianto fotovoltaico "stand alone"

Nel caso di **impianti fotovoltaici isolati stand alone** (in cui l'utenza fa dipendere il proprio fabbisogno completamente o parzialmente dall'impianto stesso), il corretto dimensionamento è particolarmente importante, in quanto da esso dipende in maniera significativa il fabbisogno elettrico delle utenze servite. In tal caso, la determinazione della taglia del sistema fotovoltaico viene effettuata analizzando il profilo del carico e la specifiche di soleggiamento del sito in cui andranno collocati i pannelli.



(esempio schematico di impianto fotovoltaico "stand alone")

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici

Per tale tipologia di impianto conviene eseguire il dimensionamento in relazione a situazioni sfavorevoli di irraggiamento (ad esempio in inverno prevedendo un certo numero di giorni di nuvolosità); il generatore viene utilmente dimensionato in modo che l'energia prodotta giornalmente e quella consumata al più si equivalgano, ed il sistema di accumulo viene progettato in modo tale da garantire la fornitura di energia per un certo numero di giorni, nell'ipotesi sfavorevole che i moduli per tale intervallo temporale non riescano a produrre l'energia necessaria a compensare il consumo:

$$E_{pv} \geq E_c$$

essendo:

- E_{pv} l'energia giornaliera media mensile prodotta dal generatore, espressa in kWh/giorno;
- E_c l'energia corrispondente richiesta dal carico, anch'essa espressa in kWh/giorno;

A sua volta, l'energia corrispondente richiesta dal carico può esprimersi in funzione dell'energia elettrica realmente consumata dall'utenza giornalmente e dei rendimenti dell'impianto di accumulo:

$$E_c = \frac{E_u}{\eta_b \cdot \eta_c \cdot \eta_{rc}} \quad (E_c > E_u)$$

essendo:

- η_b il rendimento di carica e scarica della batteria (circa 0.90);
- η_c il rendimento dei circuiti (circa 0.90);
- η_{rc} il rendimento del regolatore di carica (circa 0.85).

Per cui risulta approssimativamente:

$$E_c = 1.45 \cdot E_u$$

,cioè il fabbisogno di energia elettrica da prevedere deve essere maggiorato di circa il 45% rispetto al consumo da parte dell'utenza.

Ragionando con l'irradiazione solare giornaliera media mensile incidente sul piano dei moduli fotovoltaici nel mese caratterizzato dalla minor disponibilità di soleggiamento (H_{min}), ed uguagliando l'energia prodotta con quella richiesta, si ottiene che:

$$0.10 \cdot A_{pv} \cdot H_{min} = 1.45 \cdot E_u$$

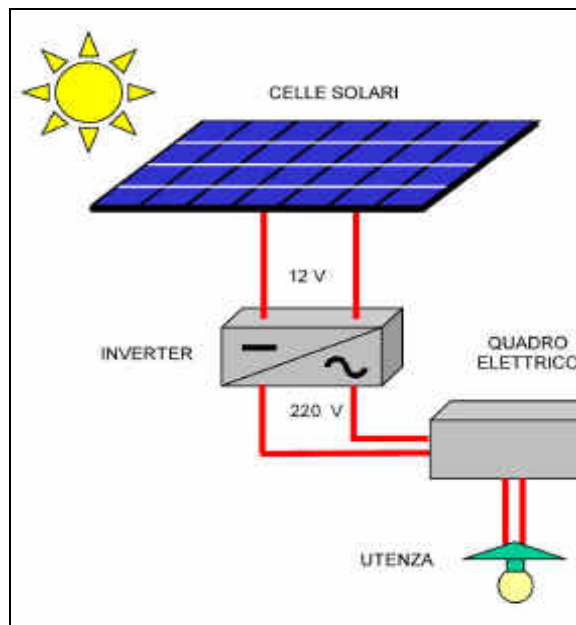
, dalla cui formula è facile ottenere l'area dei pannelli fotovoltaici minima:

$$A_{pv_min} = \frac{14.5 \cdot E_u}{H_{min}}$$

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici

Dimensionamento di un impianto fotovoltaico ad utilizzo diretto

Nel caso di impianti ad utilizzo diretto con il generatore fotovoltaico che alimenta direttamente il carico, il dimensionamento dell'impianto avviene o in funzione della potenza che è possibile installare o in funzione dell'energia che si desidera ottenere, accettando la dipendenza dalle condizioni climatiche del sito oggetto dell'installazione.



(esempio schematico di impianto fotovoltaico a utilizzo diretto)

Valgono a tal proposito le stesse formule esposte per la tipologia di impianto stand alone, ma in questo caso non essendoci parti di accumulo ma solo circuiti risulta:

$$E_c = 1.10 \cdot E_u$$

Per cui, uguagliando l'energia prodotta con quella richiesta, si ottiene che:

$$0.10 \cdot A_{pv} \cdot H_{\min} = 1.10 \cdot E_u$$

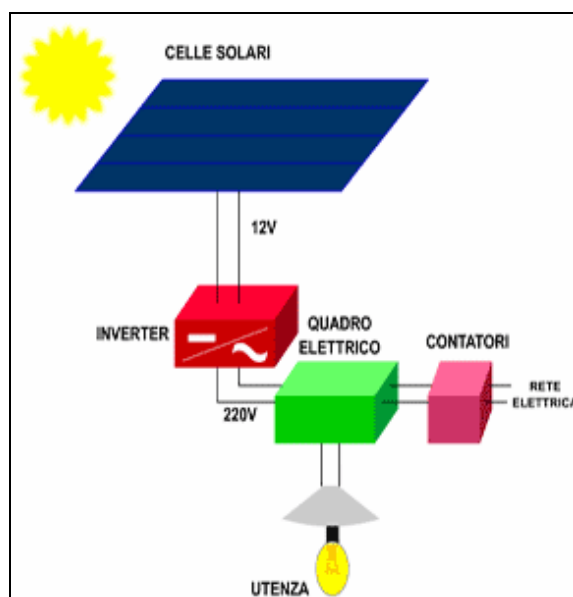
, dalla cui formula è facile ottenere l'area dei pannelli fotovoltaici minima:

$$A_{pv_min} = \frac{11 \cdot E_u}{H_{\min}}$$

Dimensionamento di un impianto fotovoltaico connesso alla rete

Nel caso di connessione alla rete del Gestore, l'impianto fotovoltaico non rappresenta più l'unica fonte di approvvigionamento di energia per l'utenza, bensì un sistema integrativo ed una fonte di guadagno

Guida alla progettazione degli impianti fotovoltaici



(esempio schematico di impianto fotovoltaico "grid connected")

La "taglia" dell'impianto, in tal caso, può essere definita liberamente sulla base di considerazioni economiche, energetiche ed ambientali, nonché in funzione delle tariffe incentivanti e conto energia.

Il sistema "grid connected" rappresenta la soluzione indubbiamente migliore per il fotovoltaico, in quanto viene caratterizzata da costi inferiori per l'assenza di sistemi di accumulo e dalla massima flessibilità di impiego.

L'energia prodotta può essere utilizzata direttamente in loco oppure, se in eccesso rispetto al fabbisogno del momento, immessa in rete; quando il sistema fotovoltaico non supplisce interamente alle necessità o è inattivo (ore notturne), l'utenza preleva normalmente elettricità dalla rete.

Dunque, si nota come i criteri di dimensionamento dell'impianto sono molto meno rigidi, essendo condizionati più che dalla potenza nominale necessaria, dalla disponibilità economica o dalla disponibilità di superficie di installazione dei pannelli e moduli fotovoltaici.

Se la priorità del progetto è rappresentata dal "quanta" energia si vuol produrre, allora l'incognita del problema è rappresentata dalla superficie necessaria per produrla:

$$A_{pv_min} = \frac{11 \cdot E_u}{H_{min}}$$

Se, al contrario, prevalgono considerazioni economiche, si determina la taglia dell'impianto valutando dai costi unitari a (€/kW) la potenza nominale che può essere prodotta con l'investimento economico prefissato.