



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**CARATTERIZZAZIONE E DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO
FOTOVOLTAICO PER USO RESIDENZIALE**

Relatore: Prof. Daniele Vogrig

Laureando: Florent Kondi

ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023

Data di laurea 13/03/2023

Indice

Introduzione.....	2
1 L'impianto Fotovoltaico, Componenti e Funzionamento	
1.1 L'energia del Sole.....	3
1.1.1 L'effetto fotoelettrico.....	5
1.2 Cella fotovoltaica.....	7
1.2.1 Caratteristica elettrica di una cella fotovoltaica.....	9
1.2.2 Collegamento di celle fotovoltaiche.....	13
1.2.3 Tipi di celle fotovoltaiche.....	17
1.2.3.1 Le celle al silicio monocristallino.....	17
1.2.3.2 Le celle al silicio policristallino.....	18
1.2.3.3 Le celle al silicio amorfo.....	19
1.2.3.4 Altri tipi di pannelli.....	20
1.3 Confronto tra tipi di pannelli.....	22
1.4 L'inverter.....	23
1.5 Sistemi di accumulo.....	27
2 Dimensionamento e Installazione dell'Impianto Fotovoltaico	
2.1 Sopralluogo.....	29
2.2 Dimensionamento dell'impianto partendo dai consumi.....	30
2.3 Scelta delle componenti da installare.....	31
2.3.1 Tipo e quantità di pannelli.....	31
2.3.2 Inverter e batterie di accumulo.....	33
2.4 Installazione dell'impianto fotovoltaico.....	35
2.4.1 Fissaggio dei pannelli.....	35
2.4.2 Quadro elettrico e connessioni.....	37
2.5 Monitoraggio.....	41
Conclusioni.....	44
Bibliografia.....	45

Introduzione

Il sole è la risorsa energetica del futuro. Ormai le risorse energetiche sulla terra sono in via di esaurimento. Il prezzo usando queste risorse lo paghiamo nel presente e lo pagheremo ancora più alto nel futuro, sia per i costi che per i danni irreversibili causati al pianeta. La preoccupazione per i cambiamenti climatici e la grande emissione di CO₂ in atmosfera hanno spinto i governi a sviluppare tanto interesse nei confronti delle energie rinnovabili. Una di queste fonti di energia rinnovabile è il sole che come un'enorme sorgente di energia usufruibile offre un'opportunità unica per cambiare radicalmente il modo di produrre e consumare l'energia.

L'energia solare è stato oggetto di studio e di sfruttamento già da tantissimi anni. La conversione fotovoltaica è un processo ben noto da oltre un secolo. Risale infatti al 1905 la pubblicazione di Einstein del suo studio sull'effetto fotoelettrico, che gli valse il premio Nobel del 1921. L'uso di questa energia per la conversione in energia elettrica tramite gli impianti fotovoltaici residenziali è stato utilizzato solo negli ultimi decenni. Questa tecnologia e l'installazione di questi impianti ha permesso alle persone di diventare più indipendenti e nello stesso tempo risparmiare di più oltre al fatto che questa energia è pulita e porta tanti altri benefici. Specialmente adesso che i prezzi dell'energia sono aumentati e la dipendenza dagli altri si è fatta notare, nelle persone c'è più consapevolezza. Nei giorni odierni proprio per queste ragioni c'è una grande richiesta di installazione di impianti fotovoltaici per uso residenziale, spinti anche da tanti incentivi che offre lo stato a rispetto dei trattati internazionali conseguiti negli anni nella lotta contro i cambiamenti climatici.

Data la maggiore rilevanza che ha e avrà nel futuro la produzione dell'energia elettrica tramite gli impianti fotovoltaici per uso residenziale questa tesi si prefigge il compito di mostrare una panoramica totale delle tecnologie fotovoltaiche di nuova generazione presenti, facendo riferimento a: principi di funzionamento, caratteristiche e prestazioni delle componenti. Lo studio delle caratteristiche ingegneristiche delle componenti si fa con lo scopo di fare un confronto tra le diverse tecnologie per poi facilitare la scelta delle componenti per il dimensionamento e l'installazione dell'impianto. Ci saranno esempi di come dimensionare e installare impianti fotovoltaici in modo ottimale per soddisfare le richieste degli utenti per costi e efficienza e cercare di prevedere le richieste del futuro visto che gli impianti fotovoltaici sono installati per durare negli anni.

L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO, COMPONENTI E FUNZIONAMENTO

1.1 L'energia del Sole

L'energia solare è la fonte primaria di energia sulla Terra. La quantità di energia luminosa che giunge per ogni unità di tempo su ogni unità di superficie esposta direttamente alla radiazione solare prende il nome di costante solare ed il suo valore è approssimativamente di 1370 W/m^2 . Moltiplicando questo valore per la superficie dell'emisfero terrestre esposto al Sole si ottiene una potenza maggiore di 50 milioni di gigawatt (GW). Tuttavia, poiché la luce solare subisce un'attenuazione nell'attraversare l'atmosfera terrestre, alla superficie del nostro pianeta il valore della densità di potenza scende a circa 1000 W/m^2 , raggiunto in condizioni di tempo sereno quando il Sole è allo zenit (ovvero i suoi raggi sono perpendicolari alla superficie). Tenendo poi in conto il fatto che la Terra è uno sferoide in rotazione, l'insolazione media varia a seconda dei punti sulla superficie e, alle latitudini europee, è di circa 200 W/m^2 .

Non tutta la radiazione solare arriva sulla terra: una parte viene riflessa dall'atmosfera, una parte riesce ad attraversarla, e una parte di questa viene assorbita, il resto devia dal percorso e viene diffusa, propagandosi in tutte le direzioni.

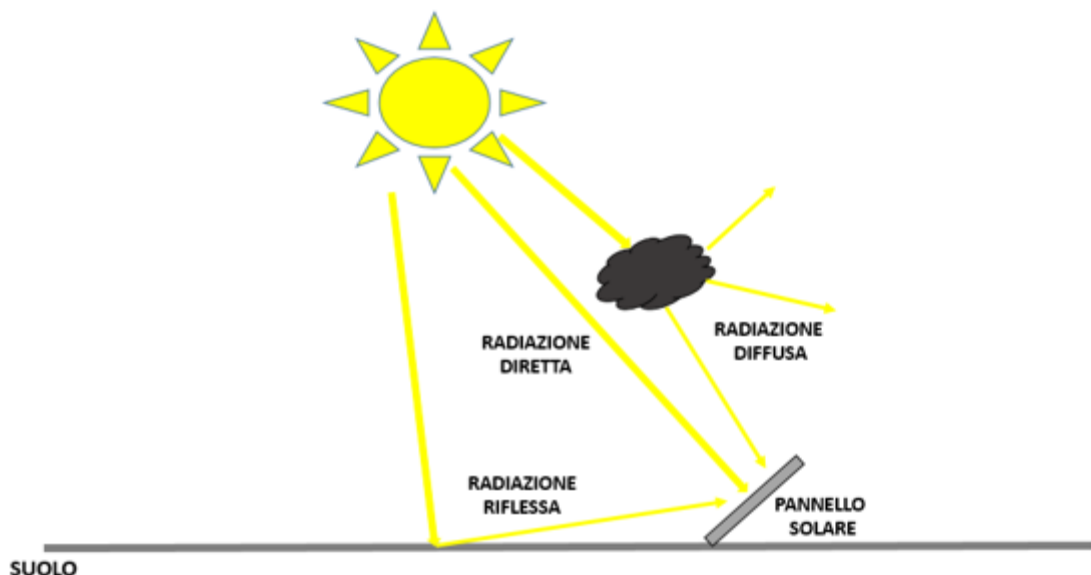


Figura 1.1: La radiazione solare¹.

¹ <http://www.cvsperoni.it/wp-content/uploads/2019/05/RADIAZIONE-RIFLESSA-ISOLA.png>

La parte di radiazione che raggiunge la superficie della terra viene detta diretta.

La parte diretta e diffusa rappresenta la radianza globale. La radiazione globale al suolo su di una superficie orizzontale ha una intensità di circa 1000 W/m^2 .

Se la superficie non è orizzontale ma inclinata si aggiunge anche la radiazione riflessa, e la radiazione globale (R_G) sarà calcolata in questo modo:

$$R_G = R_D + R_{Di} + R_R = 1000 \text{ W/m}^2 \quad (1.1)$$

La radiazione solare non è concentrata su una singola frequenza, ma è distribuita su un ampio spettro di frequenze, in modo non uniforme dove il massimo della radiazione è centrato nella banda della luce visibile, che ha il picco alla lunghezza d'onda di circa 500 nm

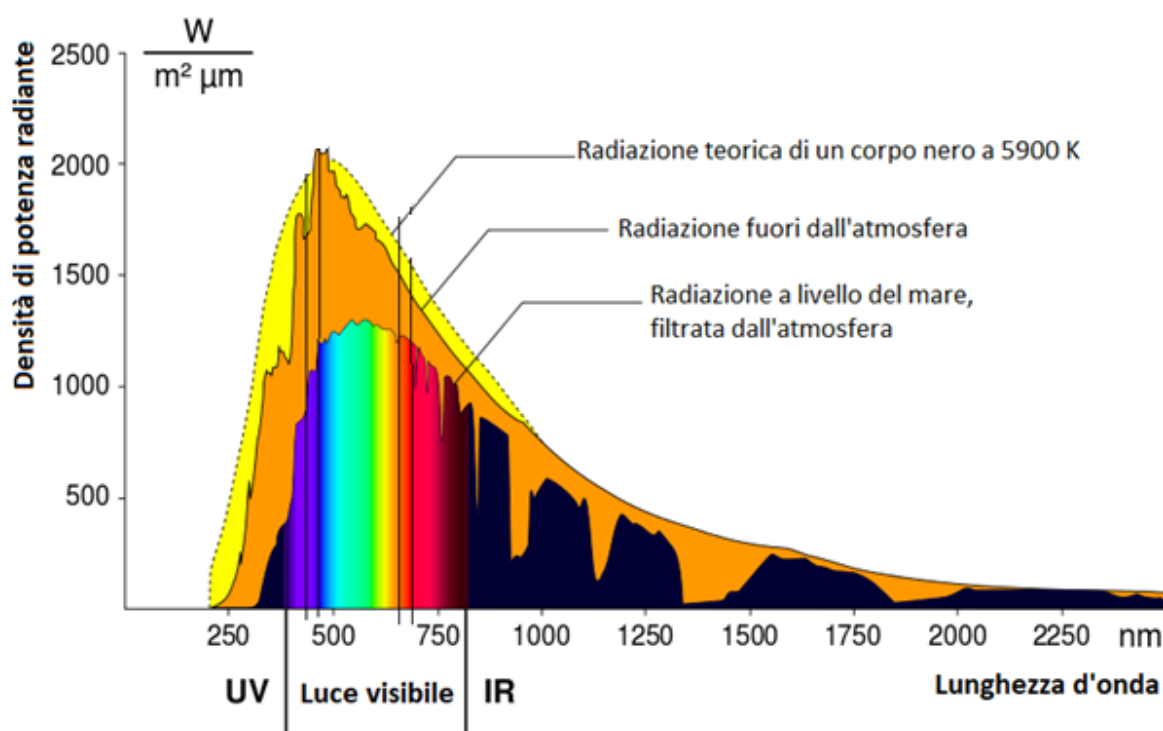


Figura 1.2: Spettro della radiazione solare².

A livello del suolo, si registrano valori d'irraggiamento inferiori alla costante solare, dovuti ai fenomeni di assorbimento, rifrazione e riflessione operati dai gas contenuti nell'atmosfera terrestre, che modificano inoltre anche la composizione spettrale della radiazione.

²https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Solar_spectrum_it.svg/290px-Solar_spectrum_it.svg.png

Per tener conto dei fenomeni di assorbimento spettrale legati all'attraversamento dell'atmosfera da parte della radiazione solare, è stato definito il parametro di massa d'aria AM (Air Mass); esso esprime il rapporto tra la lunghezza dell'effettivo percorso compiuto dai raggi solari nell'atmosfera, e il suo spessore minimo, cioè la lunghezza del percorso nel caso in cui il sole si trovi esattamente allo zenit. In quest'ultimo caso, cioè quando i raggi solari arrivano perpendicolarmente al suolo, il valore di AM è quello unitario AM1, mentre ad AM0 corrisponde un'attenuazione nulla ossia alla misurazione della radiazione solare al di fuori dell'atmosfera. Un valore tipico di massa d'aria è AM1,5; tale valore viene utilizzato per i test di celle e moduli fotovoltaici in STC (Standard Test Conditions).

Tre sono le tecnologie principali per acquisire l'energia del Sole:

- Il pannello solare termico utilizza i raggi solari per scaldare un liquido con speciali caratteristiche, contenuto nel suo interno, che cede calore, tramite uno scambiatore di calore, all'acqua contenuta in un serbatoio di accumulo. Le temperature in genere sono inferiori ai 100 °C.
- Il pannello solare a concentrazione sfrutta una serie di specchi parabolici a struttura lineare per concentrare i raggi solari su un tubo ricevitore in cui scorre un fluido termovettore (un fluido in grado di trasportare il calore ricevuto dal Sole ai sistemi di accumulo e scambio) o una serie di specchi piani che concentrano i raggi all'estremità di una torre in cui è posta una caldaia riempita di sali che per il calore fondono. In entrambi i casi "l'apparato ricevente" si riscalda a temperature relativamente elevate (400 °C ~ 600 °C) utili a fini sia puramente termici che termoelettrici.
- Il pannello fotovoltaico come oggetto di studio per questa tesi sfrutta le proprietà di particolari elementi semiconduttori di produrre energia elettrica quando sollecitati dalla radiazione luminosa (effetto fotoelettrico).

1.1.1 L'effetto fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è un fenomeno quantistico che consiste nell'emissione di elettroni da una superficie metallica quando viene colpita da una radiazione elettromagnetica di frequenza non inferiore a un certo valore soglia caratteristico di ogni metallo.

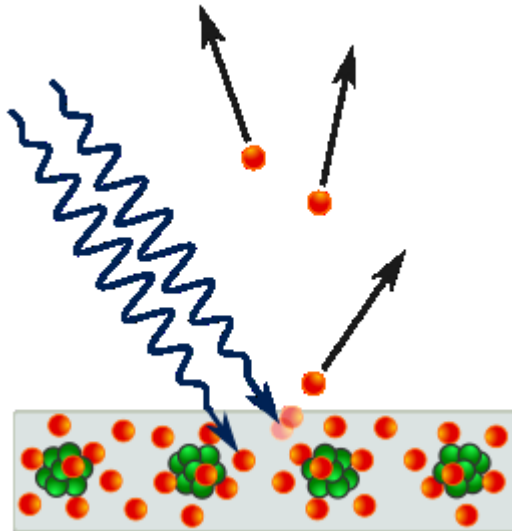


Figura 1.3: Schema che illustra l'emissione di elettroni da una piastra di metallo irradiata da energia elettromagnetica³.

Nella radiazione elettromagnetica, l'energia non è distribuita in modo uniforme sull'intero fronte dell'onda ma è concentrata in singoli quanti (pacchetti discreti) di energia, i fotoni. Un solo fotone per volta, e non l'intera onda nel suo complesso, interagisce singolarmente con un elettrone, al quale cede la sua energia. Affinché ciò si verifichi è necessario che il singolo fotone abbia un'energia sufficiente a rompere il legame elettrico che tiene legato l'elettrone all'atomo. Questa "soglia minima" di energia del fotone si determina in base alla relazione di Planck

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \geq E_{gap} \quad (1.2)$$

Dove:

- E è l'energia del fotone
- h è la costante di Planck, pari a $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s;
- c è la velocità della luce, pari a circa $3 \cdot 10^8$ m/s;
- λ è la lunghezza d'onda, (m);
- E_{gap} è l'energy gap, o salto di banda, (eV).

³https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a6/Photoelectric_effect_in_a_solid_-_diagram.svg/300px-Photoelectric_effect_in_a_solid_-_diagram.svg.png

1.2 Cella fotovoltaica

Le celle fotovoltaiche sono l'elemento base nella produzione di energia elettrica attraverso l'energia solare. Il principio di funzionamento di una cella fotovoltaica si basa sul cosiddetto effetto fotoelettrico. Questo fenomeno consiste nel trasferimento di energia dai fotoni componenti la radiazione solare incidente agli elettroni atomici del materiale solido impiegato. Le celle possono essere costituite da vari materiali; il semiconduttore più utilizzato e performante è il silicio. L'energia ceduta agli elettroni può essere opportunamente sfruttata per generare una tensione elettrica da cui ottenere una corrente elettrica a tensione continua, si parla in questo caso di effetto fotovoltaico.

Nello specifico l'effetto fotovoltaico consente agli elettroni, ricettori di energia, di spostarsi dalla regione atomica in cui orbitano abitualmente, detta banda di valenza, ad una regione periferica, definita banda di conduzione, da cui possono migrare verso altri atomi componenti il materiale.

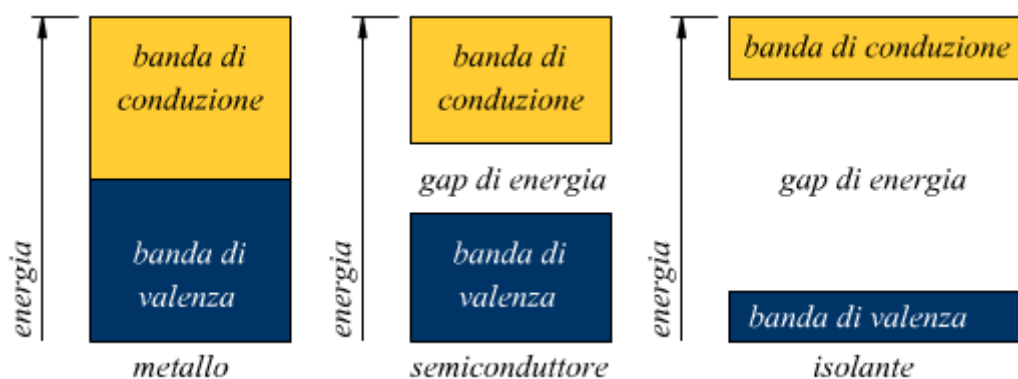


Figura 1.4: Schema semplificato della struttura elettronica a bande per metalli, semiconduttori e isolanti⁴.

⁴ <http://www.edutecnica.it/elettronica/semi/3.png>

Se il materiale è costituito da una giunzione di due materiali drogati in modo opposto (p-n) la migrazione atomica può generare una differenza di potenziale tra i capi opposti della giunzione da cui si può ottenere una tensione elettrica e conseguentemente una corrente elettrica. Il silicio ha un'importante caratteristica: basta un minimo quantitativo di energia affinché gli elettroni di valenza possano essere sfruttati per generare una corrente elettrica.

Per sfruttare il passaggio degli elettroni dalla banda di valenza alla banda di conduzione, si applica il drogaggio, il fenomeno per cui si inseriscono delle impurità all'interno del semiconduttore: boro (carica negativa) e fosforo (carica positiva), che porta il materiale ad avere un eccesso o un difetto di elettroni liberi.

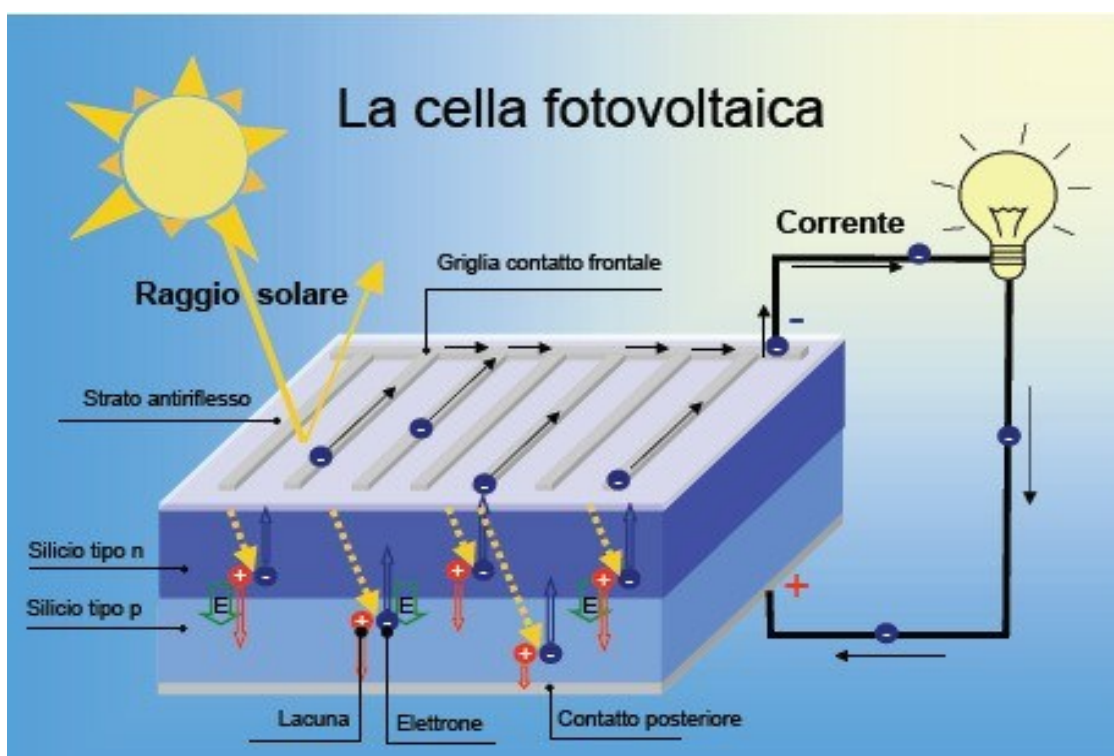


Figura 1.5: Schema di una cella fotovoltaica⁵.

⁵ <https://www.fisica.unisa.it/antonio.dibartolomeo/semiconduttori/lezioni/celle%20fotovoltaiche.pdf>

1.2.1 Caratteristica elettrica di una cella fotovoltaica

Il comportamento elettrico di una cella FV è descrivibile assimilando il comportamento della cella a quello di un diodo e usando un circuito equivalente opportuno con una relazione caratteristica tensione-corrente.

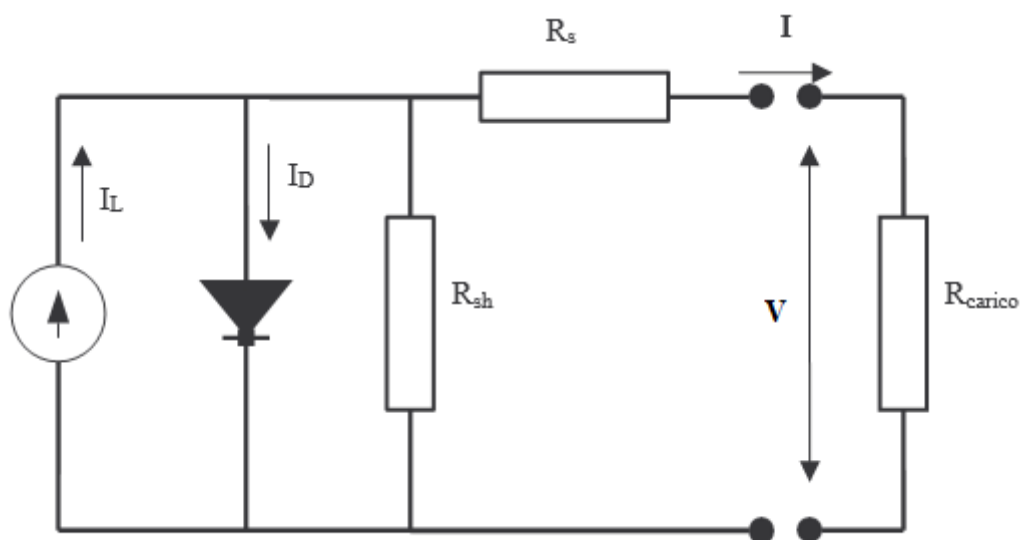


Figura 1.6: Schema del circuito rappresentante una cella fotovoltaica⁶.

Dove :

- I_L corrente di luce; quella che si otterrebbe dalla cella vista come generatore ideale di corrente senza perdite;
- I_D corrente di diodo; è l'effetto rettificante della cella composta da una giunzione P-N
- R_s resistenza di serie, rappresenta l'insieme delle resistenze proprie delle connessioni elettriche presenti;
- R_{sh} resistenza di shunt, rappresenta le perdite dovute alle correnti di dispersione all'interno delle celle FV;
- R_{carico} resistenza del carico.

⁶ <http://www.st-ingegneria.com/analisi-rendimento-moduli-fotovoltaici-e-curva-corrente-tensione-i-v.html>

Dal circuito si può ricavare una relazione caratteristica I-V:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_D - \frac{V+IR_S}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

Che graficamente è rappresentabile con la figura seguente.

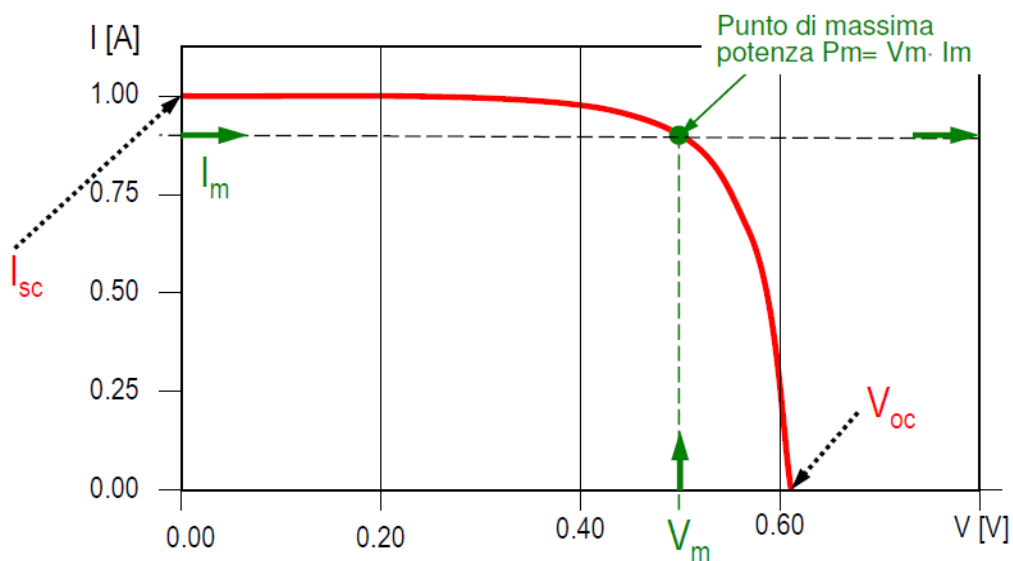


Figura 1.7: Caratteristica I-V di una cella fotovoltaica⁷.

La curva definisce due valori di interesse tecnico:

- **I_{sc}** corrente di corto circuito (*SC = short circuit*) (assenza di carichi) e tensione nulla;
- **V_{oc}** tensione di circuito aperto (*OC = open circuit*) (assenza di corrente).

I punti sulla curva definiscono il comportamento della cella al variare del carico applicato a valle della stessa, determinando punto per punto il valore della potenza istantanea erogata:

⁷ https://www.strumentazioneelettronica.it/images/stories/tecnologie/1003_curva_I-V_celle_solari.jpg

$$P = V \times I \quad (1.4)$$

La curva caratteristica è legata alle condizioni operative considerate e primariamente al valore dell'irraggiamento. Il suo variare in funzione di questo valore è descritto dal grafico di figura 1.8, dove si nota che l'effetto è quello di innalzare la corrente I_{SC} lasciando sostanzialmente inalterata la tensione V_{OC} , con un incremento della potenza erogata.

Questo vuol dire che con un incremento del valore dell'irraggiamento abbiamo un incremento della potenza istantanea erogata e con l'abbassamento del valore dell'irraggiamento abbiamo una abbassamento della potenza istantanea erogata.

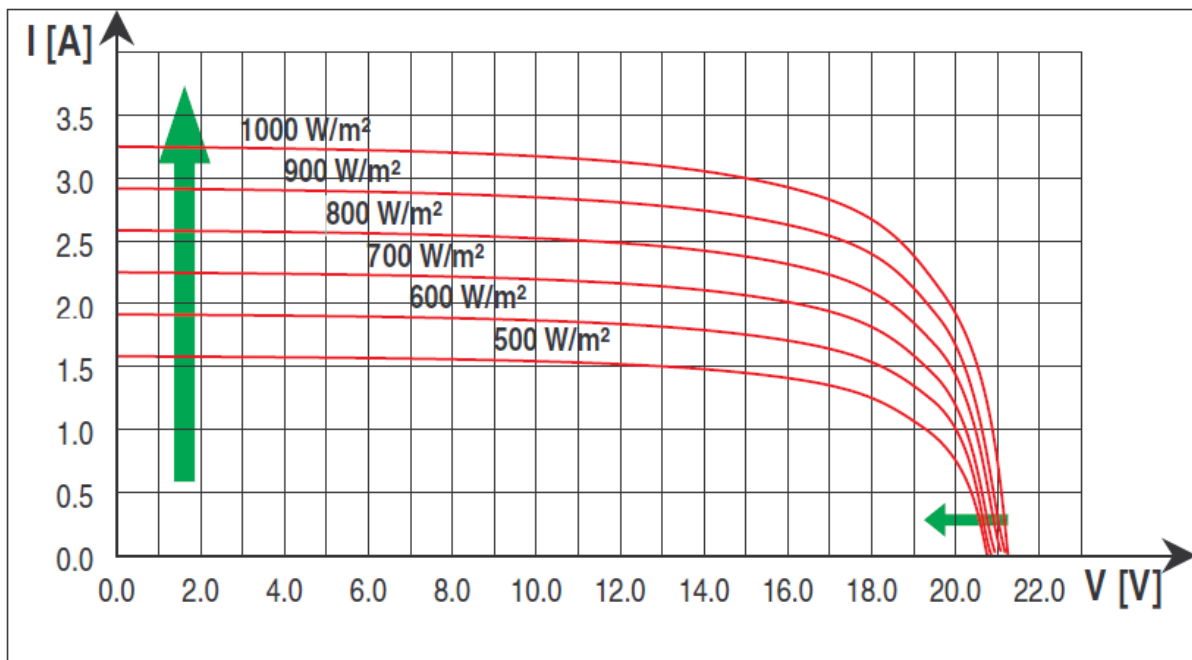


Figura 1.8: L'effetto del valore dell'irraggiamento sulla curva caratteristica I-V della cella⁸.

L'effetto della temperatura descritto in figura 1.9, è invece penalizzante al suo crescere e abbassa la tensione V_{OC} alzando leggermente la corrente I_{SC} , ma con l'effetto complessivo di abbassare leggermente la potenza disponibile.

⁸ <http://www.cvsperoni.it/wp-content/uploads/2019/05/FOTO-1.png>

Per questi motivi quando si parla di prestazioni di una cella (e di conseguenza di un modulo costituito da celle) ci si deve riferire ad una condizione ambientale precisa e standardizzata. Si definisce allora l'insieme delle condizioni standard o STC (Standard Test Condition) che prevedono:

- una temperatura della cella di almeno 25 °C;
- un irraggiamento pari a 1000 W/m² incidente normalmente sulla superficie della cella o pannello
- una distribuzione dello spettro solare pari a quello ottenibile con la condizione di Air Mass (AM) pari a 1,5. Il valore di AM è il rapporto tra l'effettivo percorso dei raggi solari e il minimo possibile, in altre parole possiamo dire che il valore medio di 1,5 è quello che corrisponde mediamente alla situazione che si ha ad una latitudine di 45°.

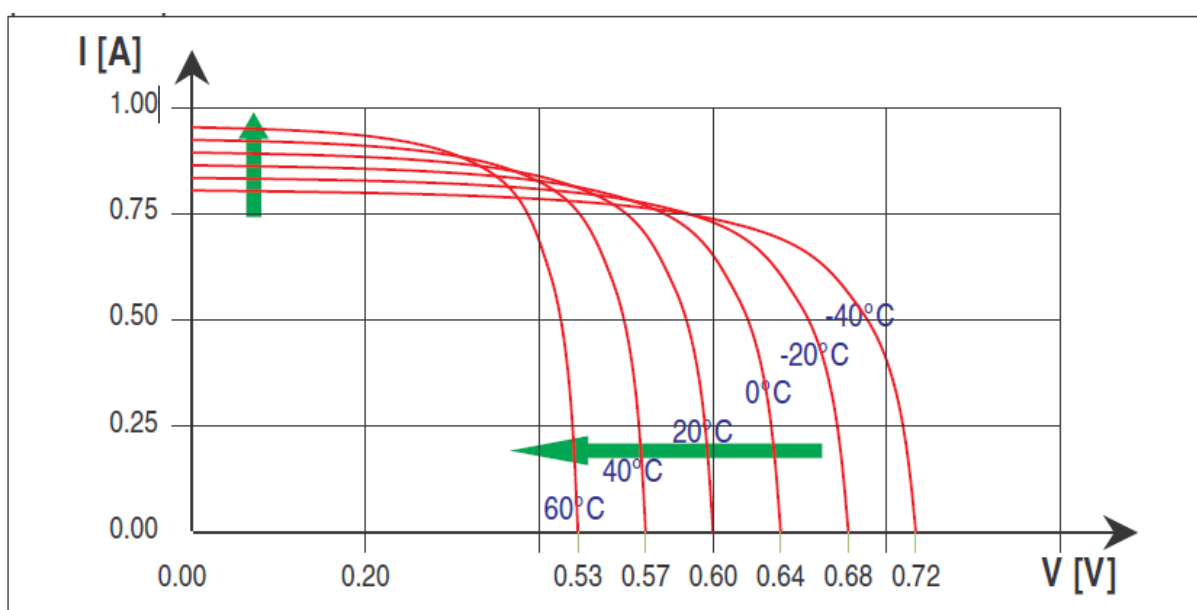


Figura 1.9: L'effetto della temperatura sulla curva caratteristica I-V della cella⁹.

⁹ <http://www.cvsperoni.it/wp-content/uploads/2019/05/FOTO-2.png>

1.2.2 Collegamento di celle fotovoltaiche

La cella fotovoltaica da sola non permette di avere un quantitativo di potenza tale da essere impiegata singolarmente, si realizzano quindi dei collegamenti in serie di più celle al fine di ottenere una potenza complessiva maggiore. Un modulo è costituito da più celle collegate elettricamente tra loro (in numero variabile) mentre un pannello FV è il prodotto di un assemblaggio meccanico di uno o più moduli FV in una unica struttura adatta ad essere esposta direttamente alle azioni atmosferiche. Spesso si usa il termine modulo per indicare il pannello (commettendo una lieve imprecisione) e per semplicità nel resto della trattazione si continua ad ignorare la lieve distinzione tra i due. Prima di spiegare come si crea il generatore fotovoltaico vediamo come viene allocata dentro al pannello una cella fotovoltaica e come è fatto il pannello fotovoltaico, figura 1.10.

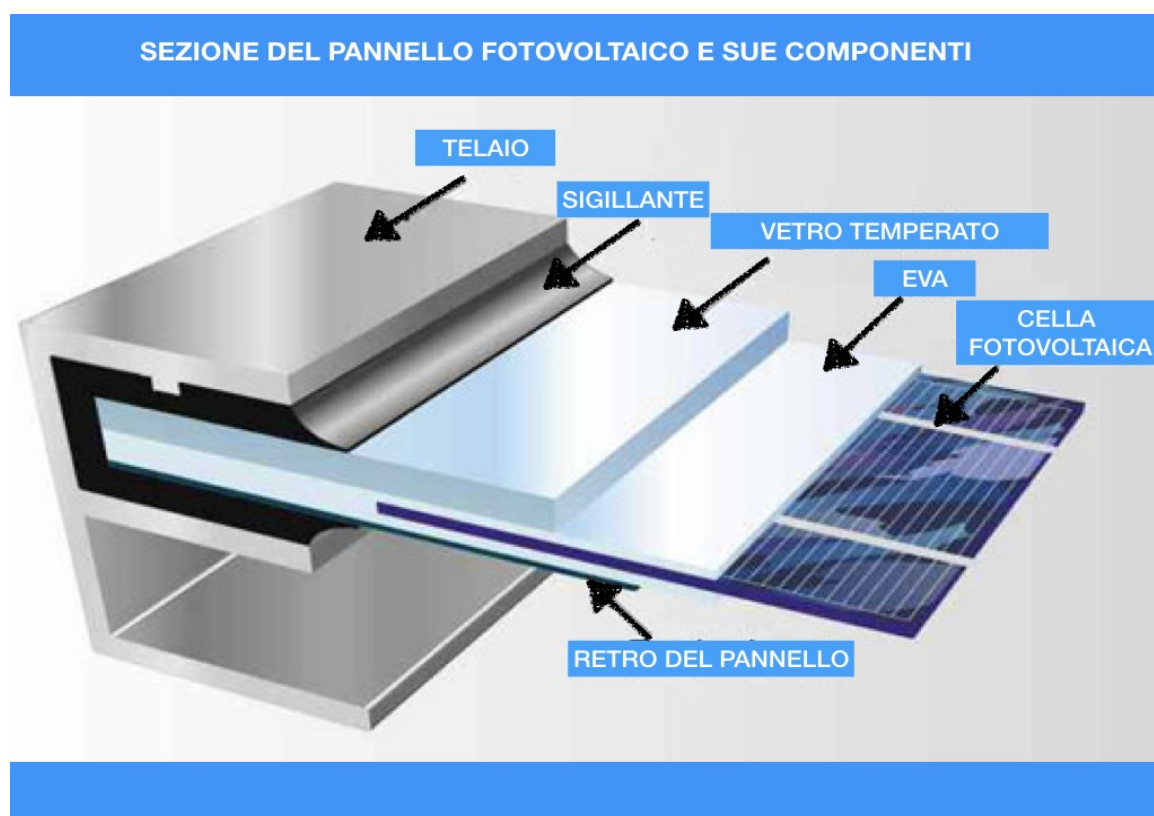


Figura 1.10: Stratigrafia di una cella fotovoltaica¹⁰.

¹⁰https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQQmTNKBcAL-bNhCGKsfHuHFyZEbqwQ479E4u7WP_vcdI0ERhEueHaO5XR3sHYPQbdBQ1s&usqp=CAU

La stratigrafia di una cella fotovoltaica nei pannelli standard è quella descritta in figura 1.10:

- protezione di vetro temprato sulla faccia superiore del pannello. La qualità della componente è data dalla elevata trasparenza;
- strato di EVA (Vinil Acetato di Etilene) trasparente per l'incapsulamento delle celle per evitare il contatto diretto vetro-cella;
- uno strato di vetro metallo o plastica per il supporto posteriore del pannello;
- una cornice di alluminio che racchiude il tutto (telaio).

Più Pannelli Solari collegati in serie, a seconda del bisogno di tensione necessaria formano una Stringa.

Più Stringhe in parallelo costituiscono il Generatore Solare o Fotovoltaico.

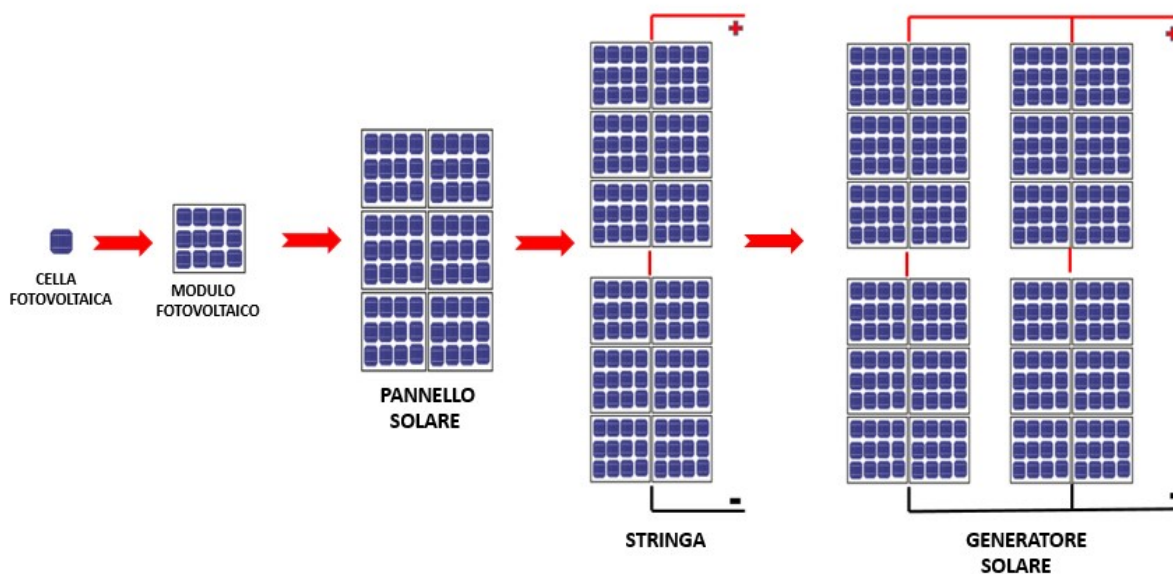


Figura 1.11: Dalla cella al generatore fotovoltaico¹¹.

¹¹ <http://www.cvsperoni.it/wp-content/uploads/2017/05/CELLE-SOLARI-GENERATORE-768x392.png>

Il passaggio dalla singola cella al modulo nel suo complesso crea una serie di problematiche che non possono essere trascurate.

Uno dei fenomeni più frequenti è quello delle perdite per mismatch; questo accade quando all'interno di un modulo una cella si trova a operare in condizioni tali da produrre una potenza inferiore (ad esempio se questa riceve un irraggiamento minore delle altre a causa di un ombreggiamento). In questa situazione, essendo le celle connesse in serie, quella presa in esame si comporta come un diodo che si oppone alla corrente prodotta dalle altre celle, provocando spesso un surriscaldamento che rischia di danneggiare il modulo (fenomeno della creazione di "hot-spot"). Per ovviare a tale problematica i moduli sono dotati di diodi di by-pass che permettono di cortocircuitare la cella ombreggiata o danneggiata.

Diodi di Bypass: sono installati nella scatola di giunzione dietro al pannello solare e servono a salvaguardare un pannello da possibili effetti surriscaldamenti dovuti agli ombreggiamenti di alcune celle oltre che a garantire una migliore produttività del sistema. Tali diodi sono collegati in parallelo rispetto al pannello e quando ci sono delle celle ombreggiate funzionano in alternativa alle celle stesse, ossia se i diodi sono attivi le celle sono bypassate e viceversa se le celle stanno erogando i diodi non sono attivi.

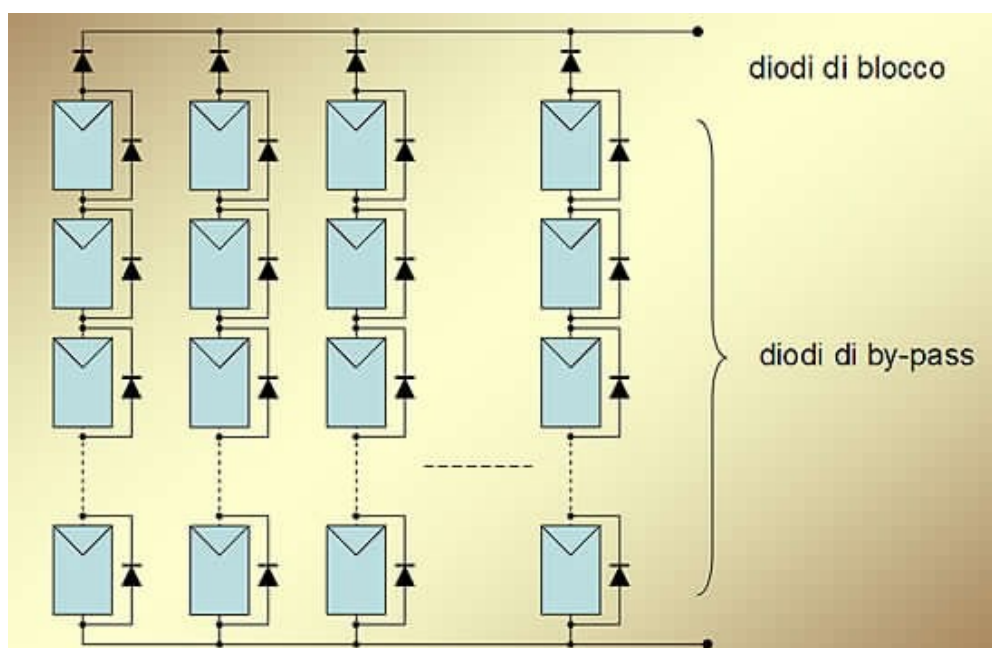


Figura 1.12: Diodi di bypass e diodi di blocco¹².

¹² <http://www.consulente-energia.com/io9572.jpg>

Pertanto essi quando si attivano (in presenza di ombreggiamenti) hanno una doppia funzione:

- consentono il bypass delle celle ombreggiate per evitare che le stesse fungendo da carico si surriscaldino
- se ci sono più pannelli in serie evitano che le celle ombreggiate blocchino interamente la stringa

NOTA: la funzione di bypassare le celle ombreggiate che non producono è tanto più importante quanto più è lunga la stringa di pannelli solari ossia all'aumentare del numero di pannelli collegati in serie; pertanto se in una data applicazione 12V o 24V si utilizza un unico modulo fotovoltaico la presenza del diodo è totalmente irrilevante: infatti se il diodo si attiva bypassando le celle ombreggiate, la tensione del pannello tipicamente si dimezza per cui non è più sufficiente a caricare la batteria... per cui il vantaggio di bypassare le celle ombreggiate, di fatto si perde.

Diodi di Blocco: per il problema del collegamento in parallelo di pannelli di potenza e/o tensione diversa, o anche per evitare che nel collegamento in parallelo i moduli fotovoltaici peggio esposti risucchino parzialmente la carica di quelli meglio esposti serve inserire dei diodi detti di blocco (o antinversione) collegati in SERIE alle celle del modulo fotovoltaico e in particolare sul positivo o sul negativo di ciascun pannello. Tali diodi hanno la funzione di "valvola di non ritorno" ossia consentono al pannello solare solo la erogazione di corrente impedendo l'eventuale ingresso di energia (forzata da altri pannelli). Con tali diodi se si mettono in parallelo pannelli con tensioni diverse si evita che quello con tensioni maggiori riversi parte della carica sul pannello con tensione minore garantendo in qualche modo una indipendenza tra i vari moduli connessi in parallelo.

Un diodo di blocco con analogo funzione antinversione è sempre presente nei inverter per evitare che durante la notte la batteria si scarichi sul pannello che quando non è irraggiato funzionerebbe come carico.

NOTA: chiaramente il diodo di blocco presente nel inverter serve solo ad evitare la scarica notturna della batteria, mentre per il problema sopra esposto del collegamento in parallelo di più moduli fotovoltaici serve aggiungere un diodo per ogni pannello.

1.2.3 Tipi di celle fotovoltaiche

1.2.3.1 Le celle al silicio monocristallino

Le celle monocristalline sono costituite da un unico cristallo, orientato nella stessa direzione. Questa caratteristica consente di sfruttare al meglio l'energia solare che la cella riesce a captare. La colorazione di queste celle è tipicamente nera.

Il sistema adottato per produrre le celle monocristalline è il sistema Czochralski. Si tratta di un processo in cui un seme di cristallo viene inserito in un fuso di silicio, all'interno del quale il seme ruota verticalmente in senso antiorario e, immergendosi molto lentamente, fa sì che il fuso stesso possa cristallizzarsi in maniera ordinata sul seme che si sta immergendo.

Alla fine del processo tutti i cristalli sono orientati in maniera omogenea tanto da materializzare un unico macro cristallo e dando vita a un lingotto di silicio, nel momento in cui esso si raffredda e viene a crearsi il cilindro di materiale fuso, condensato e solidificato sul seme.

Si sta parlando della struttura base; infatti, questo cristallo può essere successivamente drogato positivamente o negativamente con Boro o con Fosforo.

Il lingotto ricavato va tagliato in fette (wafer) molto sottili dello spessore di qualche centinaio di micrometro, vale a dire un millesimo di millimetro, valore fondamentale da considerare, in quanto, minore è lo spessore, maggiore è l'efficienza della cella.

Realizzati i wafer, positivi o negativi, essi verranno adagiati sul piano, dando vita alla cella fotovoltaica.



Figura 1.13: Cella fotovoltaica in silicio monocristallino¹³.

¹³ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/90/Solar_cell.png/220px-Solar_cell.png

1.2.3.2 Le celle al silicio policristallino

Le celle policristalline sono ricavate dagli scarti dell'industria elettronica; sono formate da più cristalli e la loro colorazione tipica è quella del blu cangiante.

In questo caso, il raffreddamento avviene in un bagno termostatico, in maniera unidirezionale da un estremo all'altro, attraverso un gradiente termico. Il processo avviene lentamente, ma in modo più veloce rispetto al metodo delle celle monocristalline.

La rapidità nella realizzazione presenta vantaggi energetici ed economici: il lingotto realizzato ha un costo di produzione più basso, tuttavia l'orientamento del cristallo è più disordinato e non permette di sfruttare al massimo l'energia solare incidente.

L'ultimo processo prevede il deposito di filamenti metallici per raccogliere gli elettroni sulla parte caricata negativamente, dal quale poi si creeranno i vari moduli.

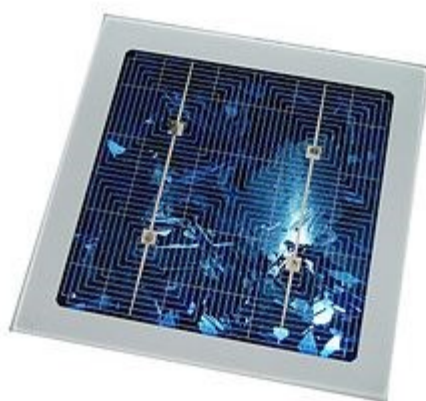


Figura 1.14: Cella fotovoltaica in silicio policristallino¹⁴.

¹⁴https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/4inch_poly_solar_cell.jpg/310px-4inch_poly_solar_cell.jpg

1.2.3.3 Le celle al silicio amorfo

Le celle fotovoltaiche amorfe presentano una struttura più caotica del silicio che, in questa configurazione, non ha più forma cristallina. La struttura del silicio amorfo può essere sfruttata per la realizzazione del film sottile, cioè per la realizzazione di elementi con dimensione molto sottile, adattati a superfici che non sono perfettamente piane.

Sono impiegati in ambito di integrazione architettonica, di arredo urbano o di elementi strutturali di edifici.

Il processo di creazione di cella amorfa è molto semplice: su un substrato rigido (vetro o metallo) vengono depositati con tecnologie adeguate (*sputtering* o evaporazione) più strati di materiale, due di questi strati (i più esterni) diventano elettrodi di conduzione, mentre lo strato interno diventa giunzione della cella fotovoltaica.

In tale processo, le tecnologie principalmente utilizzate sono la tecnologia *triple junction* e la tecnologia cadmio-telluride/cadmio-sulfide (CTS).



Figura 1.15: Pannello a film sottile¹⁵.

¹⁵ <https://www.pannellifotovoltaiciprezzi.org/wp-content/uploads/2016/03/pannello-sottile-fotovoltaico.jpg>

1.2.3.4 Altri tipi di pannelli

1) I pannelli fotovoltaici colorati

Oltre alle celle fotovoltaiche tradizionali di colore blu scuro, da qualche anno esistono in commercio celle solari e naturalmente, pannelli solari realizzati con esse, anche di altri colori: verde, viola, rosso scuro, grigio, marrone, etc. I pannelli di vetro semitrasparenti colorati sono molto adatti all'impiego integrato negli edifici, con cui si possono coordinare nel colore aumentando il valore estetico degli stessi: ad es. in facciate, balconi, vetrate, lucernari, etc. Il fatto che le celle siano colorate non pregiudica minimamente la loro efficienza di conversione della luce in energia elettrica, che in genere si aggira intorno al 15-17%, a seconda dei modelli. Le celle sono disponibili in silicio *monocristallino*, che corrisponde a celle di aspetto monocromatico, o in silicio *policristallino*, che ha un effetto estetico molto gradevole per la texture irregolare. I clienti possono scegliere fra un'ampia gamma di colori oppure - come spesso succede in questo settore - richiedere materiali dal colore e dal design personalizzato.



Figura 1.16: Celle fotovoltaiche colorate¹⁶.

¹⁶ <http://www.consulente-energia.com/mage18B.jpg>

2) I pannelli bifacciali

I pannelli fotovoltaici *bifacciali* sono pannelli solari monocristallini, emersi di recente sul mercato, che possono ricevere e produrre energia non solo dal lato frontale, ma anche da quello retrostante, che dunque è trasparente. Quindi, sono in grado di generare elettricità pure dalla luce ambientale proveniente da dietro al pannello, cioè che è passata attraverso di esso o comunque è riflessa dalle superfici circostanti, producendo di conseguenza più energia rispetto ai pannelli monofacciali tradizionali. Per massimizzare l'efficacia di questi originali pannelli, conviene indirizzare la luce sul retro degli stessi con degli opportuni specchi piani e montare il tutto su una struttura con inseguimento monoassiale ad asse polare. In tal modo, l'energia prodotta in più rispetto ai pannelli monofacciali può arrivare fino al 20% od oltre, a seconda del tipo di struttura utilizzato e del quantitativo di luce indirizzato sul retro del pannello bifacciale. In alternativa, possono essere messi su un tetto dipinto di bianco o su un patio.



Figura 1.17: Esempio di pannelli bifacciali¹⁷.

¹⁷ foto scattata con il cellulare.

1.3 Confronto tra tipi di pannelli

La differenza principale tra i pannelli fotovoltaici è l'**efficienza** o **rendimento dei pannelli solari**, ossia il rapporto tra energia prodotta e superficie occupata.

Più specificamente, i pannelli fotovoltaici più efficienti sono quelli che hanno bisogno di una superficie inferiore per generare lo stesso quantitativo di energia a parità di irraggiamento, temperatura e altre condizioni esterne di funzionamento dell'impianto.

Tra le tipologie menzionate:

- i pannelli monocristallini hanno un'efficienza maggiore, che oscilla tra il 15 e il 20% e per la produzione di un kW di potenza hanno bisogno all'incirca di 5 m²;
- i pannelli fotovoltaici policristallini hanno un'efficienza minore e necessitano di una superficie maggiore: per la produzione di un kW di potenza hanno bisogno all'incirca di 8 m²;
- i pannelli a film sottile hanno un'efficienza produttiva pari a circa il 6% ed hanno bisogno di una superficie di 11÷13 m² per produrre un kW.

Considerando l'efficienza in varie condizioni di **temperatura** risulta che:

- i pannelli in silicio monocristallino rendono meglio alle basse temperature e sono più efficienti dei moduli policristallini in presenza di un'intensità solare minore;
- i pannelli policristallini producono di più alle alte temperature, in quanto riescono a tollerare meglio il calore;
- i pannelli fotovoltaici a film sottile hanno efficienze minori ma hanno il vantaggio di lavorare meglio in condizioni di alte temperature o luce diffusa.

Un'altra differenza sostanziale riguarda il **prezzo** dei pannelli

- i pannelli solari realizzati con silicio monocristallino costano di più;
- i pannelli fotovoltaici in silicio policristallino hanno un costo più contenuto rispetto ai pannelli in silicio monocristallino;
- i pannelli a film sottile sono i più economici presenti sul mercato.

Da un punto di vista delle **caratteristiche estrinseche**:

- i pannelli monocristallini sono di colore nero ed hanno una struttura ordinata;
- i pannelli policristallini sono di colore blu cangiante ed hanno una struttura molto più caotica;
- i pannelli a film sottile hanno una struttura assente per quanto riguarda le celle che le compongono ma, rispetto alle più tradizionali tecnologie, hanno una grande versatilità di impiego.

1.4 L'inverter

In base all'impianto fotovoltaico installato, cioè alle caratteristiche dei moduli, al loro numero, alla loro disposizione e ai collegamenti serie/parallelo, avrò in uscita un'energia con determinati valori di tensione e corrente continua.

Per impianti collegati alla rete è necessario convertire tale corrente da continua ad alternata. Analogamente, per impianti ad isola il passaggio da corrente continua ad alternata si rende necessario per il funzionamento degli utilizzatori.

Per svolgere queste funzioni si utilizza un opportuno convertitore statico di potenza: l'inverter. A partire da una data corrente continua in ingresso l'inverter è in grado di generare una tensione alternata di ampiezza e frequenza desiderata. Non solo, ma risponde a quelle precise esigenze dell'impianto fotovoltaico di interfacciarsi con i sistemi a valle, siano essi la rete elettrica nazionale o utilizzatori diretti.

Il mercato offre un'ampia varietà di inverter : si distinguono essenzialmente per la tipologia di installazione, grid-connected o stand alone, avendo caratteristiche costruttive e funzionali diverse, e per la potenza erogabile.

In base alla normativa si deve distinguere tra connessioni:

1. monofase: per impianti di dimensioni inferiori o uguali ai 6 kW di picco.
2. trifase: obbligatoriamente per impianti di dimensioni superiori ai 6 kW, mentre è opzionale per gli impianti minori.

Gli inverter sono del tipo:

a. Inverter di stringa

L'inverter di stringa è l'inverter che da subito ha accompagnato la diffusione del fotovoltaico nel mondo e quindi anche in Italia.

Vista la sua anzianità, è una tecnologia molto collaudata e affidabile, semplice nel suo utilizzo e nella manutenzione. Rappresenta una soluzione più economica rispetto a un inverter ibrido.

Ha necessità di un altro dispositivo per interfacciarsi con un sistema di accumulo.

b. Inverter ibrido.

Un inverter ibrido è un sistema di conversione che, oltre a fare le veci del classico inverter di stringa, integra al suo interno il dispositivo per la gestione di un eventuale sistema di accumulo. Per chi è interessato all'installazione di un sistema di accumulo rappresenta la soluzione più compatta, più economica (non è necessario installare un ulteriore dispositivo per la gestione della batteria) ed efficiente.



Figura 1.18: Inverter ibrido monofase Huawei¹⁸.

Il sistema di condizionamento e controllo della potenza prodotta dal generatore fotovoltaico è costituito da un inverter che trasforma la corrente continua in alternata, controllando la potenza in uscita per l'immissione nella rete attraverso un filtro interno all'inverter stesso. La potenza fornita dal generatore dipende dal punto in cui esso riesce a lavorare all'interno della sua curva caratteristica, come visto in precedenza. Al fine di ottimizzare questo valore occorrerebbe adeguare il generatore al carico in modo da "controllare" il punto di lavoro ottimizzandolo.

¹⁸ https://solar.huawei.com/-/media/Solar/products/img_pic1p.png

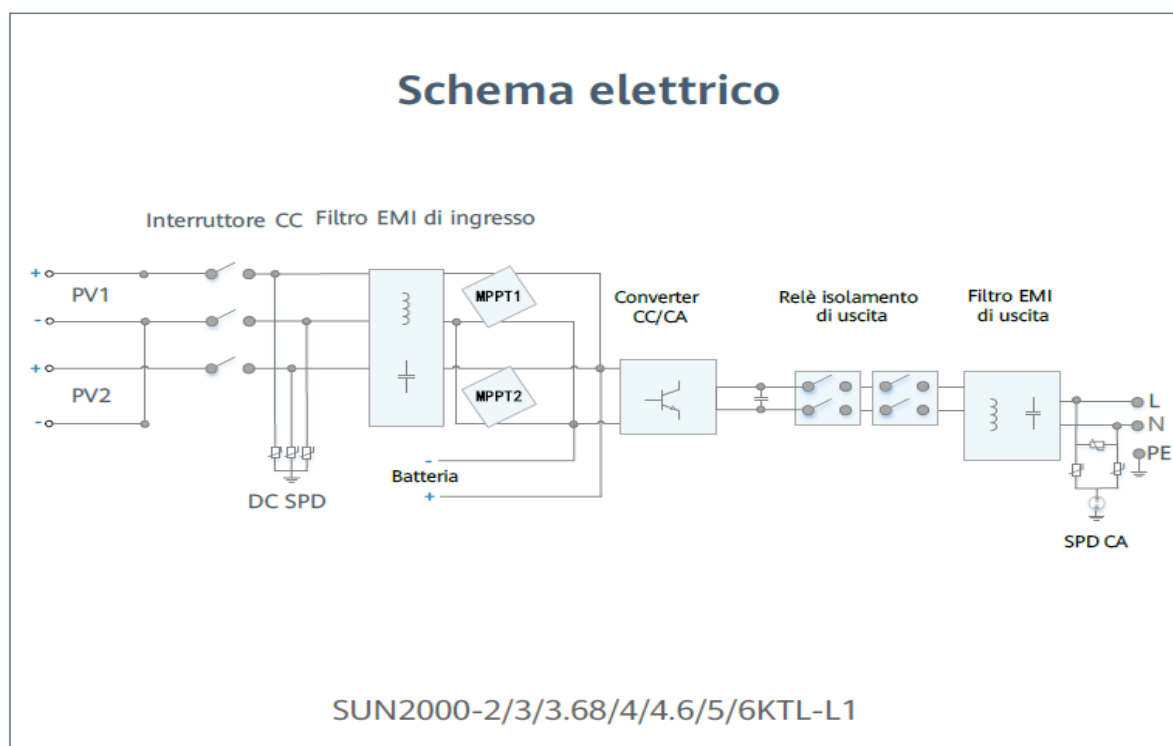


Figura 1.19: Schema elettrico per un inverter ibrido monofase Huawei¹⁹.

Per questo scopo gli inverter moderni sono dotati di un dispositivo denominato inseguitore del punto di massima potenza o MPPT (maximum power point tracking), il quale individua istante per istante la coppia di valori tensione - corrente del generatore per la quale si ottiene la massima potenza raggiungibile per una determinata condizione ambientale (irraggiamento, temperatura...). Il meccanismo è basato sull'uso di algoritmi che provocano ad intervalli regolari piccole variazioni di carico, che determinano scostamenti dei valori di tensione e corrente, valutando se il nuovo prodotto $I \times V$ è maggiore o minore del precedente. In caso di aumento continuano la variazione nella direzione considerata, in caso contrario in senso opposto.

Gli inverter per il collegamento in rete devono riprodurre il più fedelmente possibile la tensione di rete, cercando quindi di massimizzare la produzione.

La scelta dell'inverter rappresenta un aspetto importante per l'efficacia dell'impianto, in quanto un suo dimensionamento errato può portare a notevoli perdite di produzione, nonché a possibili danni o guasti.

¹⁹ FusionSolar_Soluzione_PV_Smart_residenziale_commerciale.pdf

Specifiche tecniche	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 ¹
Efficienza							
Efficienza max	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Efficienza ponderata europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
Ingresso (FV)							
Potenza FV max raccomandata ²	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Tensione di ingresso max	600 V ³						
Tensione di avvio	100 V						
Intervallo di tensione operativa MPPT	90 V – 560 V ³						
Tensione di ingresso nominale	360 V						
Max. corrente di ingresso per MPPT	12.5 A						
Corrente di cortocircuito max	18 A						
Numero di tracker MPP	2						
Max. numero di ingressi	2						
Ingresso (Batteria CC)							
Batteria compatibile	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Intervallo di tensione operativa	350 – 450 Vdc						
Max corrente di funzionamento	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Max potenza di ricarica	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Potenza di scarica massima @ 7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Potenza di scarica massima @ 10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batteria compatibile	HUAWEI Smart LUNA2000 ESS Battery 5kWh – 30kWh ¹						
Intervallo di tensione operativa	350 – 560 Vdc						
Max corrente di funzionamento	15 A						
Potenza di ricarica massima	5,000 W ⁴						
Potenza di scarica massima	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Uscita							
Connessione alla rete elettrica	Monofase						
Potenza di uscita nominale	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ⁵	6,000 W
Potenza apparente max	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ⁶	5,500 VA ⁷	6,000 VA
Tensione di uscita nominale	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Frequenza di rete AC nominale	50 Hz / 60 Hz						
Corrente d'uscita massima	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁸	25 A ⁸	27.3 A
Fattore di potenza regolabile	0.8 capac... 0.8 indut						
Max. Distorsione Armonica Totale	≤ 3 %						
Potenza di backup	Sì (tramite Backup Box-B0 ¹)						
Protezione & Caratteristica							
Protezione anti-islanding	Sì						
Protezione da polarità inversa CC	Sì						
Monitoraggio isolamento	Sì						
Protezione da sovratensione CC	Sì, compatibile con la classe di protezione TIPO II secondo EN / IEC 61643-11						
Protezione da sovratensione CA	Sì, compatibile con la classe di protezione TIPO II secondo EN / IEC 61643-11						
Monitoraggio corrente residua	Sì						
Protezione da sovracorrente CA	Sì						
Protezione da cortocircuiti CA	Sì						
Protezione da sovratensione CA	Sì						
Protezione da surriscaldamento	Sì						
Protezione dai guasti di arco AFCI	Sì						
Ricarica inversa della batteria dalla rete	Sì						
Dati generali							
Range temperatura d'esercizio	-25 ~ +60 °C						
Umidità di esercizio relativa	0 %RH ~ 100 %RH						
Altitudine operativa	0 ~ 4,000 m (riduzione oltre 2,000 m)						
Raffreddamento	Convezione naturale						
Display	Indicatori LED; WLAN integrata + APP FusionSolar						
Comunicazione	RS485, WLAN tramite modulo WLAN integrato nell'inverter Ethernet tramite Smart Dongle-WLAN-FE (opzionale); 4G / 3G / 2G tramite Smart Dongle-4G (opzionale)						
Peso (compresa staffa di montaggio)	12.0 kg						
Dimensioni (compresa staffa di montaggio)	365mm * 365mm * 156 mm						
Grado di protezione	IP65						
Consumo energetico notturno	< 2.5 W						
Ottimizzatore Compatibile							
Ottimizzatore compatibile con DC MBUS	SUN2000-450W-P						
Conformità agli standard (altri disponibili su richiesta)							
Sicurezza	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2						
Standard connessioni alla rete	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116						

Tabella 1.1: Specifiche tecniche per tutti gli inverter ibridi monofase Huawei²⁰.

²⁰ FusionSolar_Soluzione_PV_Smart_residenziale_commerciale.pdf

1.5 Sistemi di accumulo

La produzione di un impianto fotovoltaico non è costante essendo dipendente dall'energia solare. L'energia solare può variare durante il giorno sia per la posizione del sole anche per le condizioni atmosferiche. Poi è ovvio che di notte l'impianto non produce. Dall'altra parte il bisogno di consumare energia in genere si discosta dalla produzione per questo serve immagazzinare l'energia prodotta. Per gli impianti isolati un sistema di accumulo è indispensabile ed è consigliatissimo anche per gli impianti connessi alla rete.

Benefici usando sistemi di accumulo:

Indipendenza energetica: Oggi è possibile diventare quasi indipendenti dal fornitore di energia elettrica, con un sistema di accumulo puoi immagazzinare l'energia prodotta dal tuo impianto fotovoltaico per poi utilizzarla quando ne hai bisogno. L'autoconsumo può arrivare a superare anche il 90%;

Risparmio economico: Massimizzare l'autoconsumo di energia elettrica ti porterà ad avere una bolletta elettrica molto più leggera, per sempre;

Più energia per i tuoi consumi: Con un sistema di accumulo puoi arrivare ad avere molti kW di potenza istantanea in aggiunta a quella prevista dal contatore, potrai quindi utilizzare tutti i dispositivi elettrici contemporaneamente senza preoccuparti di sovraccarichi e black-out dell'impianto;

Rispetto per l'ambiente: Riutilizzando tutta l'energia elettrica prodotta dal tuo impianto fotovoltaico contribuirai ad un consumo minore di energia elettrica prodotta da combustibili fossili. Il rispetto dell'ambiente dovrebbe sempre guidarci per le nostre scelte future. Lasciamo ai nostri figli un mondo più pulito e vivibile grazie all'energia sostenibile.

In commercio esistono tantissime versioni e tipologie di batterie per il sistema di accumulo dell'impianto fotovoltaico. Tra le migliori sono quelli **al litio-ferro-fosfato (LiFePO₄)** (in breve chiamata anche "LFP"), è un tipo di batteria ricaricabile, nello specifico una batteria agli ioni di litio, che utilizza il litio-ferro-fosfato come materiale catodico, è quella con una maggiore profondità di scarico ed è quella che assicura il prezzo migliore al kWh.

Per scegliere la batteria è importante considerare le 4 principali caratteristiche:

Tecnologia: la tecnologia con cui è costruito il sistema di accumulo, generalmente **al litio-ferro-fosfato (LiFePO₄)**;

Capacità di accumulo: quanta energia elettrica è in grado di accumulare [kWh];

Potenza: la potenza istantanea che il sistema di accumulo riesce a erogare;

Garanzia: Garanzia che viene solitamente espressa in anni e/o con il numero di cicli di carica e scarica che la batterie riesce a garantire.




	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			
Performance			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Nominal voltage (single phase system)	360 V		
Operating voltage range (single phase system)	350 – 560 V		
Nominal voltage (three phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600 – 980 V		
Communication			
Display	SOC status indicator, LED indicator		
Communication	RS485 / CAN (only for parallel operation)		
General Specification			
Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Power module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimension (W*D*H)	670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb)		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-10°C ~ + 55°C (14°F ~ 131°F) ¹		
Relative humidity	5% ~ 95%		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 55		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Warranty	10 years ²		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000L-2/3/3.68/4/4.6/5KTL ³ , SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 ³ , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		
Standard Compliance (more available upon request)			
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3		

Tabella 1.2: Specifiche tecniche per le batterie al litio-ferro-fosfato Huawei Luna 2000²¹.

²¹ FusionSolar_Soluzione_PV_Smart_residenziale_commerciale.pdf

DIMENSIONAMENTO E INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

2.1 Sopralluogo

Per progettare ed installare un impianto fotovoltaico che funzioni correttamente è necessario prima di tutto fare un sopralluogo adeguato.

Le cose da fare sono :

- Individuare la taglia di impianto adeguata in base al consumo, la cosa primaria diventa stabilire dove e come installare i pannelli.
- Misurare interamente la copertura con tutti i suoi ingombri ed elementi presenti (lucernai, comignoli, antenne...).
- Rilevare eventuali ostacoli che limitano l'irraggiamento (alberi, altri edifici...) e valutare il corso solare della zona.

Un sopralluogo fatto bene aiuta a individuare la migliore tipologia di installazione dell'impianto fotovoltaico.

A seconda del posto dove vanno installati i pannelli che nella maggior parte è sopra i tetti, si controlla la struttura, il tipo di tegola ed in alcuni casi in funzione di particolari richieste o prescrizioni da parte dei comuni per vincoli di paesaggistica, si va a scegliere il sistema di montaggio.

Un altro aspetto da non sottovalutare consiste nella migliore individuazione del locale tecnico idoneo per la posa del inverter e le batterie se ci sono.

Soprattutto questo fattore necessita di un'attenta valutazione in modo da determinare la soluzione migliore tra i vari fattori e pareri che entrano in gioco:

- il locale tecnico deve stare il più vicino possibile ai pannelli ed al contatore di fornitura: distanze elevate portano a maggiori perdite di produzione.
- il cliente vorrebbe non trovarsi apparecchiature direttamente a vista.
- il locale tecnico deve garantire una determinata areazione agli elementi che in caso contrario potrebbero veder compromesso il loro funzionamento ed la loro garanzia di fabbrica.

2.2 Dimensionamento dell'impianto partendo dai consumi

In fase di progettazione dell'impianto fotovoltaico con sistema di accumulo è fondamentale valutare il fabbisogno energetico dell'abitazione. Ed è proprio da qui che bisogna partire. Premettendo che l'impianto fotovoltaico non riesce a coprire il 100% del fabbisogno energetico annuale in quanto durante la stagione invernale l'irraggiamento solare è minore e quindi c'è meno possibilità di produrre energia. Mediamente si può raggiungere un 75% di autosufficienza, che è un risultato notevole.

Nella progettazione bisogna tenere conto anche del fatto che d'inverno i consumi sono di solito maggiori invece la produzione è minore rispetto d'estate.

Un'altro aspetto della progettazione è pensare anche al futuro. L'impianto viene installato per durare negli anni. I consumi tendono a crescere con gli anni, per esempio con il passaggio da gas a corrente per il riscaldamento o per cucinare. Perciò nella progettazione sarebbe meglio dimensionare l'impianto un po' più grande delle necessità oppure dimensionare ed installare l'impianto in modo che nel futuro si può ampliare facilmente e senza costi eccessivi.

Per calcolare il dimensionamento dai consumi si può partire dalla bolletta elettrica. In ogni bolletta elettrica c'è la quantità di kWh annui consumati.

Supponiamo, per esempio, un'abitazione ha consumi di 4400 kWh all'anno. Questo corrisponde in media a circa 330 kWh al mese che in media al giorno sono circa 11 kWh. Per questi consumi conoscendo all'incirca la produzione media per ogni kW installato tramite calcoli e uso di software di simulazione c'è bisogno di installare un impianto grande da circa 5/6 kW.

Poi pensando al futuro e spinti anche da bonus e incentivi, statali e regionali, sarebbe più opportuno installare un impianto da 6 kW di potenza.

In base a questi valori si procede con la scelta delle componenti principali, che sono:

- Tipo e quantità di pannelli
- Tipo e potenza nominale del inverter
- Tipo e quantità di batterie di accumulo

Nel valutare del tutto quanto si tiene sempre conto dei dati ricavati dal sopralluogo, specialmente per la quantità dei pannelli che si possono installare avendo una superficie limitata delle falde con esposizione migliore che possiamo usufruire, più altri dati che condizionano il dimensionamento, ad esempio le dimensioni del inverter e delle batterie.

2.3 Scelta delle componenti da installare

2.3.1 Tipo e quantità di pannelli

La scelta del pannello fotovoltaico da installare come abbiamo detto anche prima dipende dalla potenza del impianto che abbiamo deciso di installare e dalla superficie dove vanno installati. Ovviamente si cerca di arrivare alla potenza desiderata con il minor numero dei pannelli per farli stare sulla superficie dove si è deciso di installarli e magari lasciare posto per aggiungere altri nel futuro. Perciò tra le tante specifiche tecniche quelli che più ci servono sono la potenza massima e le dimensioni del pannello. Oltre a queste specifiche tecniche ci sono anche tante altre altrettanto importanti che insieme al costo del pannello determinano la nostra scelta. In figura 2.1 vediamo le specifiche tecniche per alcuni tipi di moduli bluesun.

Nel nostro esempio avevamo bisogno di 6 kW di potenza. Tra i vari tipi di pannelli possibili con le stesse dimensioni quello con la potenza massima da 425 W, è quello che si avvicina di più alla potenza desiderata con il minor numero di pannelli. In questo caso con 14 pannelli da 425 W si ha una potenza di 5,95 kW. Oltre alla scelta dei pannelli si considera l'aria dove vanno installati per vedere se nell'arco della giornata ci sono zone soggette ad ombreggiamenti. Questo determina se c'è bisogno di ottimizzatori o meno. In caso di zone con ombreggiamenti bisogna usare ottimizzatori nei pannelli soggetti ad ombreggiamenti, opzionalmente agli altri.

Sistema ad ottimizzatori

Gli ottimizzatori sono dei dispositivi elettronici che hanno il compito di ottimizzare la produzione. Su ogni pannello soggetto ad ombreggiamenti si mette un ottimizzatore e in tanti casi si consiglia di mettere uno su ogni pannello per poter monitorare la produzione di ogni singolo pannello. Comunque la funzione principale degli ottimizzatori è quella di ottimizzare la produzione dei pannelli che si trovano all'ombra. L'ottimizzatore si posiziona sotto il pannello e come ingresso hanno il pannello, invece le uscite degli ottimizzatori si collegano tra di loro per formare la stringa. Avendo un dispositivo MPPT²² con uno speciale algoritmo, questi dispositivi differenziano in modo ottimale i punti di lavoro dei moduli fotovoltaici, ottimizzandone la resa grazie ad una uscita in regime continuo variabile in rapporto alla potenza di ingresso. L'uso degli ottimizzatori fa il modo che il pannello sul quale viene installato diventi indipendente, cioè che la sua produzione non condizioni la produzione degli altri pannelli.

²² (Maximum Power Point Tracking)

SPECIFICHE

Tipo di modulo	BSM405G12-54HPH		BSM410G12-54HPH		BSM415G12-54HPH		BSM420G12-54HPH		BSM425G12-54HPH	
	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT	STC	NMOT
Potenza massima (P _{max} /W)	405	302	410	306	415	310	420	314	425	318
Tensione operativa (V _{mpp} /V)	31.24	29.2	31.43	29.3	31.64	29.6	31.83	29.8	32.03	30.0
Corrente operativa (I _{mp} /A)	12.97	10.36	13.05	10.42	13.13	10.48	13.21	10.54	13.29	10.60
Tensione a circuito aperto (V _{oc} /V)	37.25	35.10	37.50	35.30	37.75	35.50	38.00	35.70	38.25	35.90
corrente di cortocircuito (I _{sc} /A)	13.86	11.17	13.94	11.24	14.02	11.30	14.10	11.36	14.18	11.42
Efficienza del modulo η _m (%)	20.7		21.0		21.3		21.5		21.7	

SPECIFICHE MECCANICHE

Tipo cella	Monocrystalline
Dimensioni cella	182*182mm
Disposizione cella	108 (6*18)
Peso	21.5kg
Dimensioni modulo	1722*1134*30mm
Lunghezza cavo	300mm
Dimensione sezione trasversale cavo	TUV: 4mm ² (0.006inche ²)/UL: 12AWG
Vetro frontale	3.2mm (0.13inches) AR Rivestimento vetro temperato
N. di diodi di bypass	3
Configurazione packaging	36pcs/carton, 936pcs/40hq
Telaio	Lega di alluminio anodizzato
Scatola di giunzione	IP68

CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO

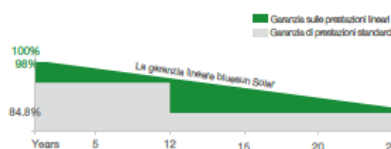
Massima tensione del sistema	1000V/1500V/DC(IEC)
Temperatura di funzionamento	-40°C~ +85°C
Max. Fusibile della serie	25A
Carico statico	Carico di neve: 5400Pa/ carico di vento: 2400Pa
Conducibilità a terra	≤0.1Ω
Classe di sicurezza	II
Resistenza	≥100MΩ
Connettore	T01/LJQ-3-CSY/MC4/MC4-EVO2

COEFFICIENTE DI TEMPERATURA

Coefficiente di temperatura P _{max}	-0.35%/°C
Coefficiente di temperatura V _{oc}	-0.26%/°C
Coefficiente di temperatura I _{sc}	+0.048%/°C
NMOT	43±2°C

GARANZIA DI PRESTAZIONE

- 15** Miglioramento della garanzia del prodotto sui materiali e sulla manodopera
- 25** Garanzia di prestazioni di potenza lineare*
- ±0.55%** Degradamento annuale in 25 anni non più dello 0,55%



*Secondo la Dichiarazione di Garanzia Limitata Bluesun Solar applicabile.

CERTIFICATI DEI SISTEMI DI GESTIONE

ISO 9001:2015 / Sistema di gestione qualità

ISO 14001:2015 / Standard per l'ambiente

ISO 45001: 2018 / Norme internazionali in materia di salute e sicurezza sul lavoro

CERTIFICATI PRODOTTO

IEC 61215 / IEC 61730 / CE



LA SOLUZIONE IDEALE PER:



Il posizionamento sul tetto di edifici residenziali



Alta efficienza di conversione del modulo



MBB Half Cell Technology, nuovo design del circuito, minore corrente interna, minore perdita di R_s



Resistente ad ambienti avversi

Reliable quality leads to a better sustainability even in harsh environment like desert, farm and coastline



PID Resistenza PID

Eccellente garanzia di prestazioni Anti-PID tramite controllo ottimizzato del processo di produzione di massa e dei materiali



Eccellenti prestazioni con luce debole

Più potenza in condizione di luce debole, come nuvoloso, mattina e tramonto



Test prolungati del carico di vento e neve

Modulo certificato per resistere a vento estremo (2400 Pa) e carichi di neve (5400 Pa)

Figura 2.1: Specifiche tecniche, garanzie e certificati per pannelli bluesun²³.

²³ https://www.bluesunpv.it/wp-content/uploads/2022/05/HEX5-405-425_Rev01_BLUESUN_bs.pdf

2.3.2 Inverter e batterie di accumulo

In generale la scelta dell'inverter e delle batterie si fa contemporaneamente e sono dello stesso marchio, questo per ragioni di compatibilità tra di loro, per la connessione elettrica e per la comunicazione dei dati

a) Scelta dell'inverter

Nella scelta dell'inverter si parte prima dalle specifiche principali che servono all'impianto che vogliamo installare e poi si fa un confronto di queste specifiche tra le varie marche. In particolare capire se abbiamo bisogno di un inverter monofase o trifase e poi ibrido o di stringa. Nel nostro esempio abbiamo bisogno di un inverter monofase ibrido con la potenza nominale di 6 kW. Importanti sono anche le altre specifiche tecniche come per esempio: il numero di ingressi, tensione massima in ingresso V_{max} , intervallo di tensioni accettabile $V_{min,MPPT}$ e $V_{max,MPPT}$, efficienza massima, potenza massima del campo fotovoltaico raccomandata. Da prendere in considerazione sono anche le dimensioni e il design siccome di solito vanno ad occupare spazi interni delle abitazioni e sono in vista anche. Il costo poi è una delle caratteristiche principali visto che in tutto l'impianto il costo dell'inverter ha un valore considerevole.

Tornando al nostro esempio abbiamo scelto l'inverter monofase ibrido Huawei SUN 2000 6KTL-L1 da 6 kW. Questo inverter soddisfa abbastanza bene le caratteristiche di cui abbiamo parlato prima, avendo due ingressi, cioè due MPPT(Most Power Point Tracking), inseguitori del punto di massima potenza. Ha una efficienza massima di 98,4 %, ed è raccomandato fino a 9 kW di potenza dal campo fotovoltaico. Questo inverter è abbastanza consigliato anche per il prezzo le dimensioni ed il design.

Questo inverter soddisfa le condizioni di accoppiamento in tensione con il campo fotovoltaico.

$$\bullet \quad V_{OC}(T_{min}) \times n < V_{max} \quad (2.1)$$

$$\bullet \quad V_M(T_{max}) \times n > V_{min,MPPT} \quad (2.2)$$

$$\bullet \quad V_M(T_{min}) \times n < V_{max,MPPT} \quad (2.3)$$

Dove:

- V_{max} , $V_{min,MPPT}$, $V_{max,MPPT}$, sono specifiche dell'inverter che abbiamo spiegato.
- $V_{OC}(T_{min})$, tensione a circuito aperto in temperatura minima dei pannelli.
- $V_M(T_{min})/(T_{max})$, tensione operativa dei pannelli in temperatura minima/massima.
- n , numero di pannelli per stringa.

b) Scelta delle batterie di accumolo.

La scelta delle batterie di accumulo come abbiamo detto anche prima si fa contemporaneamente con la scelta dell'inverter in quanto vanno connessi insieme e devono essere compatibili.

Per scegliere la batteria che meglio si adatta alle nostre esigenze è importante considerare alcune principali caratteristiche:

- la tecnologia di come è stata costruita la batteria che in generale sono del tipo al litio-ferro-fosfato (LiFePO₄);
- la capacità di accumulo, che indica quanta energia elettrica è in grado di accumulare, la maggior parte sono modulabili e con diverse capacità di accumulo.
- la potenza istantanea che il sistema di accumulo riesce a erogare;
- la garanzia, che viene solitamente espressa in anni e/o con il numero di cicli di carica e scarica che la batteria riesce a garantire;
- il costo, che in generale è abbastanza alto, dove la batteria prende una gran parte della spesa totale per l'impianto.

Oltre a queste caratteristiche e altre caratteristiche tecniche c'è da prendere in considerazione anche le dimensioni, il peso e il design della batteria.

Tornando al nostro esempio di prima e facendo un po' di conti approssimativi, riusciamo in base ai consumi a trovare la quantità di accumulo che più o meno serve nel impianto in considerazione. Abbiamo detto dai conti approssimativi che l'abitazione aveva bisogno di 11 kWh in media al giorno. Questo vuol dire che l'abitazione per coprire il fabbisogno energetico giornaliero ha bisogno in media di 11 kWh. Dimensionando al massimo questo impianto in termini di autoconsumo cerchiamo di fare il modo di dare tutta questa energia che serve dall'impianto fotovoltaico. Siccome durante il giorno nelle ore di produzione l'abitazione prendere energia direttamente dalla produzione, supponiamo questo è il 25% del consumo giornaliero allora dai 11 kWh totali, il 25% del consumo è coperto dalla produzione e il 75% lo dobbiamo dare delle batterie di accumulo, perciò ci servono 8,25 kWh di batteria di accumulo. Questo è un dato stimato e non ci sono batterie di ogni taglio, perciò si consiglia di acquistare batterie modulabili che coprono un fabbisogno maggiore di kWh.

Nel nostro esempio abbiamo scelto la batteria **Huawei Luna 2000**, in particolare 2 moduli da 5 kWh per avere 10 kWh in totale. Inoltre questo tipo di batteria ha anche un BMS (Battery Management System) che gestisce tutto il sistema. Questa è una batteria con un'ottima profondità di scarica e una bassa rumorosità, particolarmente indicata a livello residenziale.

2.4 Installazione dell'impianto fotovoltaico

Prima di iniziare con l'installazione di un impianto fotovoltaico bisogna prima aver finito la progettazione. Dopo si recupera tutto il materiale necessario per l'installazione, insieme alle componenti dell'impianto. Il materiale e le componenti devono essere quelli specificati nella progettazione e devono essere certificati e garantiti secondo le norme in vigore.

Per la tipologia di lavoro l'installazione dell'impianto si divide in due parti

- Fissaggio dei pannelli
- Quadro elettrico e connessioni

2.4.1 Fissaggio dei pannelli

Il fissaggio dei pannelli è importante perché deve garantirne la funzione nel tempo. I pannelli hanno bisogno di strutture cui essere collegati rigidamente. Il sostegno deve essere correttamente dimensionato per resistere alla forza del vento e a eventuali sollecitazioni che potrebbero provocare il distacco dei pannelli.

Nel caso in cui i pannelli vanno collocati a terra, il fissaggio al suolo avviene semplicemente mediante strutture zavorrate con pesi di calcestruzzo oppure strutture in metallo che fungono da supporto ai pannelli.

Invece, nel caso in cui i pannelli siano collocati su un tetto, entrano in gioco una serie di fattori, spesso sottovalutati, ma di fondamentale importanza e che molto spesso possono diventare decisivi nella scelta stessa della tipologia di modulo da installare. Trattandosi della copertura di un tetto, occorre preoccuparsi che l'installazione di strutture e moduli non vada a comprometterne la funzione primaria. In alcuni casi particolari la scelta è anche legata a un aspetto estetico, per cui si scelgono pannelli e fissaggi che consentono una migliore integrazione dell'impianto nel contesto in cui è inserito. Per esempio dove ci sono vincoli di paesaggistica di solito si fa prima la vasca nell'aria del tetto dove vanno installati i pannelli.

I fattori principali da tenere in considerazione sono l'inclinazione e l'orientamento dei pannelli. Sappiamo che la produzione massima dai pannelli si ottiene quando i raggi del sole sono perpendicolari al pannello, cioè il pannello deve essere orientato verso il sud e inclinato. La produzione non diminuisce tanto anche quando l'orientamento è sud-est oppure sud-ovest. La produzione dei pannelli invece diminuisce quasi del 30% se orientati verso est oppure verso ovest.

In generale possiamo distinguere tra tetti piani o a falde. Nel primo caso i moduli possono essere installati con zavorre inclinate e orientate verso sud. Nei tetti a falde si sceglie se possibile la falda a sud e l'inclinazione si usa quella del tetto. Nel caso di tetti a falde le possibilità variano generalmente in funzione di coperture a tegole (o coppi) o in lamiera grecata (o aggraffata).

Per le tegole solitamente si inseriscono staffe tassellate al solaio che sporgono da sotto la tegola e consentono l'installazione delle strutture di sostegno in alluminio. Per coperture in lamiera grecata i sostegni sono direttamente avvitati o rivettati sulle teste delle greche.

Nel nostro esempio il tetto ha la copertura a tegole con una falda grande verso sud. La disposizione dei pannelli è come in figura una fila da otto e una da sei, divisi in due stringhe da 7 pannelli. Per il fissaggio si sono usati staffe tassellate al solaio isolati con silicone. Sulle staffe vanno legati i profili in alluminio dove vanno appoggiati i pannelli e poi si usano dei morsetti per fissare i pannelli sui profili. Il materiale usato per il fissaggio è leggero, resistente, ed essendo tutto un kit offre una installazione veloce, che è molto importante siccome si lavora in quota.



Figura 2.2: Fissaggio dei pannelli sul tetto²⁴.

²⁴ Foto scattata con il cellulare nel luogo di installazione.

2.4.2 Quadro elettrico e connessioni

Il collegamento e le connessioni degli elementi dell'impianto fotovoltaico sono molto importanti e richiedono tanta attenzione in quanto influiscono nella produzione dell'impianto e la sicurezza in generale. È importante che nella progettazione sia dimensionato al meglio anche questa parte.

Il cablaggio di un impianto fotovoltaico non cambia tanto da quello usato per una normale rete elettrica, eccezione fatta per i cavi che collegano tra loro i moduli e in generale tutti quelli che si trovano a monte dell'inverter. Questi ultimi, infatti, si trovano a dover lavorare spesso esposti all'ambiente e quindi in condizioni estremamente sfavorevoli per oltre 20 anni. Si usano quindi in questo caso i cosiddetti cavi solari, adatti a sopportare elevata temperatura (70-80 °C), precipitazioni atmosferiche e radiazioni ultraviolette, se montati a vista. Si usano in genere cavi unipolari con isolamento doppio o rinforzato, in modo da ridurre al minimo il rischio di guasti e cortocircuiti. Durante il collegamento si cerca di non lasciarli a vista e le parti a vista si mettono dentro ad una guaina di gomma per offrire una protezione in più.

I cavi devono avere tensione nominale adeguata a quella dell'impianto; in corrente continua la tensione dell'impianto non deve superare del 50% quella nominale dei cavi (i dati si possono ricavare da tabelle fornite dai produttori). L'ottenimento di un buon impianto in termini di cablaggio incide sul rendimento del sistema nel complesso, a causa delle possibili perdite ohmiche che si generano inevitabilmente sui cavi in seguito al passaggio della corrente.

I pannelli si collegano tra di loro con connettori multicontact (MC4) e cavo solare di sezione trasversale 4 mm². Anche per le stringhe si usa lo stesso cavo da 4 mm² e i stessi connettori che sono a parte e si collegano usando un'apposita pinza crimpatrice. I cavi delle stringhe devono arrivare fino al inverter. Se non c'è un passaggio predisposto si fanno le canaline esterne cercando di fare il modo che siano meno visibili per questioni estetiche.

Oltre al generatore fotovoltaico e all'inverter per la conversione dell'energia, sono presenti nell'impianto molti altri componenti, tipici di un impianto elettrico, che consentono l'allacciamento in sicurezza alla rete nazionale.

Si tratta di dispositivi elettrici che permettono di garantire la salvaguardia dell'impianto e degli utenti in caso di malfunzionamenti, guasti, riparazioni, o errori da parte degli operatori.

Un'analisi completa può essere effettuata solo caso per caso, poiché gran parte degli elementi che costituiscono l'impianto elettrico sono gestiti da normative che variano in funzione della taglia dell'impianto, così come dalle condizioni locali in cui questo si colloca.

I più importanti sono:

- sezionatori di corrente: permettono di staccare manualmente il collegamento tra due parti dell'impianto;
- scaricatori di corrente: si attivano in caso di grandi sovraccarichi di corrente, dovuti per esempio ad un fulmine, e scaricano la corrente in eccesso a terra;
- interruttori magnetici, termici e differenziali: sono dispositivi che staccano automaticamente il collegamento tra due parti dell'impianto in caso di sovraccarichi di tensione o corrente, permettendo di proteggere sia i componenti dell'impianto, che eventuali operatori.

Nel nostro esempio dopo che si è scelto il posto dove vanno installati batterie e inverter che in questo caso è vicino al contatore generale e nello stesso tempo offre un passaggio comodo per le stringhe, si procede all'installazione. Prima di tutto si fa un fissaggio sicuro secondo i criteri prestabiliti con i tasselli e le staffe in dotazione e poi si procede con i collegamenti e le connessioni. In figura 2.3 vediamo il posizionamento dei elementi dove tra inverter e batterie abbiamo lasciato spazio per l'eventuale aggiunta di un'altro modulo di batteria nel futuro.



Figura 2.3: L'impianto composto da: inverter, batterie con BMS e quadro elettrico²⁵.

²⁵ Foto scattata con il cellulare nel luogo di installazione.

Le batterie si collegano tra di loro e il BMS tramite cavi d'alimentazione e di segnale. Nel lato DC (corrente continua) le due stringhe arrivano direttamente all'inverter senza scaricatori di corrente perché di questi è dotato l'inverter. Per il lato AC (corrente alternata) a fianco dell'inverter si mette un centralino per tutto il quadro elettrico, figura 2.4.



Figura 2.4: Quadro elettrico in AC dell'impianto²⁶.

Il quadro elettrico è composto da:

- Un interruttore magnetotermico puro (salvavita) NB1-63 C32 da 6 kA che garantisce una protezione adeguata dai sovraccarichi e dai cortocircuiti, il quale prende corrente dalla rete per poi alimentare la casa e l'impianto fotovoltaico diventando così l'interruttore generale della casa.
- Un interruttore magnetotermico differenziale NB1L C32 0,3A da 6 kA per la protezione magnetotermica/differenziale dell'impianto fotovoltaico contro i sovraccarichi e i cortocircuiti, nonché contro i contatti diretti.

²⁶ Foto scattata con il cellulare nel luogo di installazione.

- Un sezionatore NH4-125 da 32A che alimenta l'inverter e permette di staccare manualmente l'inverter dalla rete;
- Un interruttore magnetotermico differenziale NB1L C6 0,03A da 4,5 kA per la protezione del meter.
- Un meter monofase (Smart Power Sensor) Huawei DDSU6666-H con display LCD. necessario per collegamento tra l'inverter e le batterie. Il meter consente la misurazione del flusso di energia elettrica nel sistema fotovoltaico. Con l'aiuto di un trasformatore amperometrico posizionato intorno alla fase a valle dell'interruttore generale il meter calcola e registra tutti i dati di immissione e prelievo dalla rete.

Uno spazio apposito e dei fili lunghi tra l'interruttore generale fotovoltaico e sezionatore dell'inverter si lasciano affinché il gestore della rete (ENEL) possa aggiungere un contatore che misuri la produzione dell'impianto quando arriva a fare l'allacciamento nella rete. Inoltre visto che l'impianto può anche mandare energia in rete si programma il contatore esterno da monodirezionale a bidirezionale.

Dopo aver finito tutti i collegamenti elettrici e di comunicazione dei dati si prosegue con la prova dell'impianto. Si accende l'impianto e si controlla se tutto va bene, cioè se tutti i dispositivi sono accesi con i loro indicatori a led allo stato normale (colore verde fisso). Se c'è qualche problema si torna indietro e si cerca di individuare e sistemare il problema. Se tutto va bene, tramite applicazione e il QR code dell'inverter si accede con le credenziali da installatore per la messa in rete dell'impianto e per fare l'autotest. Se l'esito dell'autotest è positivo si prendono tutti i dati dell'autotest e l'impianto si spegne fino al arrivo del gestore della rete per l'allacciamento in rete dell'impianto.

2.5 Monitoraggio

Allo stato dell'arte è possibile allacciare all'impianto dispositivi in grado di monitorarne il corretto funzionamento. In generale questi strumenti consentono di visualizzare via internet tutta la produzione dell'impianto, giornaliera, mensile e annuale; in alcuni casi di valutare la produzione dei singoli pannelli se si sono usati gli ottimizzatori. Il monitoraggio offre tanti altri vantaggi tra cui:

- Possibilità di configurazione dei parametri da remoto.
- Ricevere una notifica in caso di malfunzionamenti o guasti.
- Possibilità di fare gli aggiornamenti necessari.
- La possibilità agli utenti di regolare i consumi.

Nel nostro esempio l'inverter huawei è dotato di un'antenna wireless lan WLAN per trasmettere i dati. Quando l'impianto è allacciato in rete si può accendere e si può creare l'utenza tramite l'applicazione Fusion Solar che huawei offre a i suoi clienti. Per trasmettere i dati l' antenna si collega alla rete di casa dalla quale manda i dati nel server. Dati che poi gli utenti possono visionare tramite l'applicazione. Questo sistema necessita che l'inverter sia costantemente connesso alla rete. L'applicazione offre una panoramica come in figura 2.5:

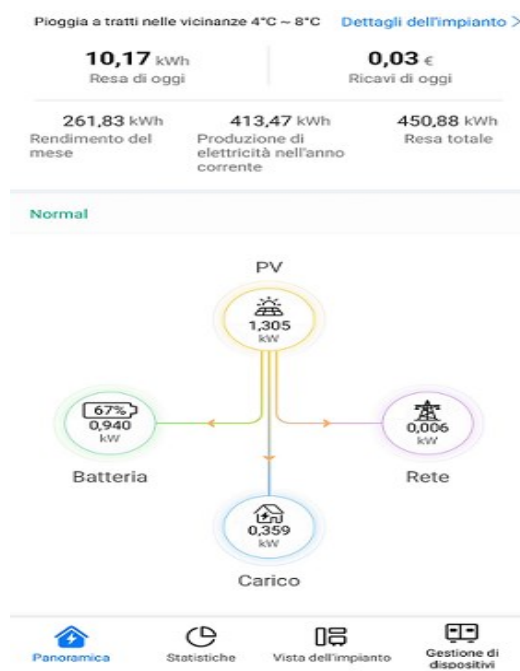


Figura 2.5: Panoramica dell'impianto con produzione e consumo²⁷.

²⁷ screenshot della finestra di monitoraggio tramite FusionSolar app.

Dalla panoramica oltre alla produzione giornaliera, mensile, ed annuale riusciamo a vedere in tempo reale (tempo di trasmettere i dati), la produzione dell'impianto, lo stato delle batterie, il consumo della casa, e se stiamo prendendo o immettendo in rete. Vediamo che l'impianto produce 1,3 kWh, delle quali 0,35 kWh li consuma la casa, il resto 0,95 kWh si sta caricando la batteria, e non c'è scambio di energia con la rete.

Le priorità di consumo sono:

- quando c'è produzione, la priorità di consumo c'è l'ha la casa, poi la carica delle batterie se sono scariche e il resto va in rete.
- Quando non c'è produzione la casa consuma prima l'energia delle batterie e quando le batterie sono scariche prende dalla rete.

Oltre a questo l'applicazione offre anche delle statistiche della produzione e dei consumi. In figura 2.6 vediamo le statistiche giornaliere di un giorno qualsiasi del nostro impianto.

Da questi dati riusciamo a capire che è stata una giornata con una buona resa e il cliente che ha capito come funziona ha gestito alla perfezione i consumi.

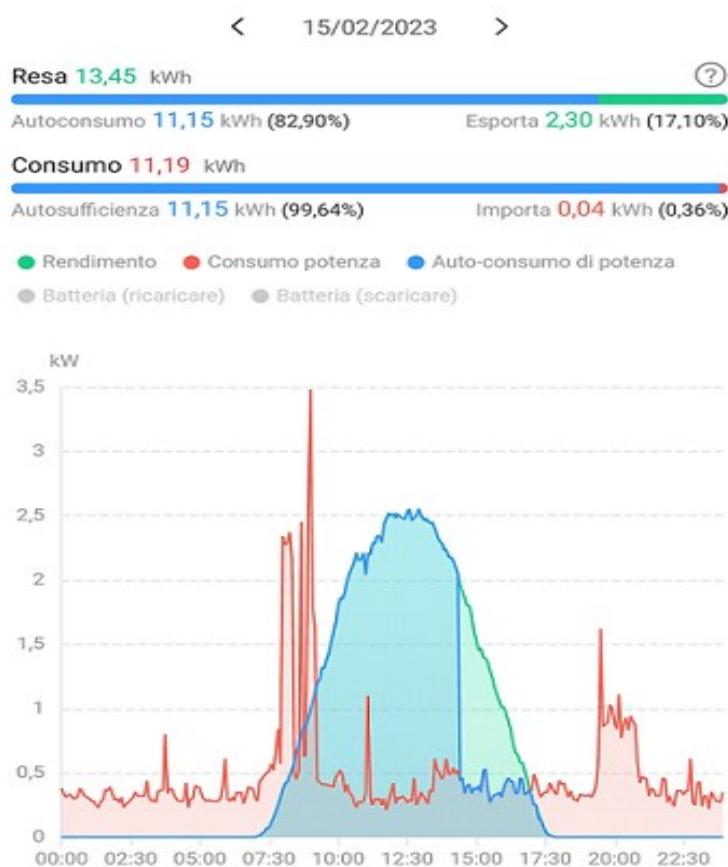


Figura 2.6: Statistica giornaliera mediante grafici²⁸.

²⁸ screenshot della finestra di monitoraggio tramite FusionSolar app.

Dai dati e dai grafici vediamo che è riuscito ad essere autosufficiente quasi al 100% consumando dalla batteria e dalla produzione senza importare nulla, anzi, ha esportato 2,3 kWh di energia. Comunque per capire il vero rendimento dell'impianto servono statistiche più lunghe nel tempo siccome la produzione e i consumi cambiano da giorno in giorno. In figura 2.7 vediamo la statistica mensile dell'impianto dove dai dati vediamo che l'autoconsumo è del 98% che vuol dire che il cliente è stato bravo a usare quasi tutta la produzione per i suoi consumi ed ha esportato solo il 2% della produzione. Vediamo che l'autosufficienza è del 76%, cioè nel tutto il consumo, il 76% lo ha preso dalla produzione dell'impianto invece il resto 24% lo ha preso dalla rete.

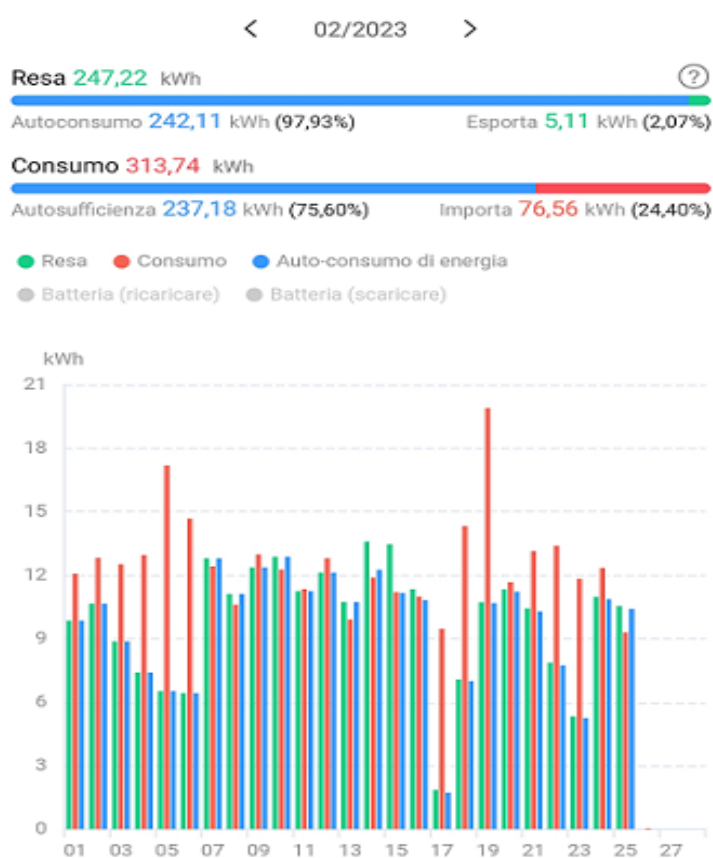


Figura 2.7: Statistica mensile con produzione e consumi²⁹.

Avere una autosufficienza del 75% per un lungo periodo vuol dire che l'impianto è stato dimensionato bene per le esigenze dell'abitazione. In questo caso pensando che il mese preso in considerazione è febbraio, uno dei mesi con poca produzione si spera che nei prossimi mesi le statistiche migliorano anche se dipende tanto dai consumi.

²⁹ screenshot della finestra di monitoraggio tramite FusionSolar app

Conclusioni

Fino a qualche tempo fa le persone hanno consumato l'energia elettrica senza nessun criterio, senza pensare al costo di produzione, alle risorse in esaurimento, o ai danni ambientali. E solo negli ultimi anni, quando il prezzo dell'energia elettrica è salito che le persone hanno iniziato a rendersi conto del vero valore dell'energia elettrica. Per correre ai ripari le persone si sono indirizzate ai nuovi modi di produzione dell'energia e il fotovoltaico è stato la direzione giusta. Quello dell' autosufficienza è l'obiettivo principale quando si sceglie un impianto fotovoltaico. Autosufficienza significa non chiedere energia elettrica al gestore di rete, alimentando la propria abitazione con la stessa energia prodotta dal sistema fotovoltaico. Andando al sodo, significa pagare bollette meno salate! Ma a che livello posso portare l'autosufficienza? E quanto mi può far risparmiare?

Installando un impianto fotovoltaico dimensionato bene aiuta a risparmiare quasi il 75%. Diventa poi compito delle persone add aumentare l'autosufficienza, che tramite il monitoraggio continuo possono gestire al meglio l'impianto e i consumi. In questo senso l'impianto fotovoltaico non solo aiuta a risparmiare diventando autosufficienti ma anche a diventare più consapevoli dei modi di produrre e consumare l'energia, dando un grande aiuto anche nei problemi più grandi di carattere comune, non facendo uso delle risorse in esaurimento e salvaguardando l'ambiente.

Questa tecnologia è sempre in fase di aggiornamento, sia nei materiali usati e sia nelle componenti hardware e software. Ci vuole tempo che la tecnologia sia ottimizzata.

Comunque, questa tecnologia è la strada giusta per tutti a diventare indipendenti energeticamente e soprattutto, a produrre e consumare un'energia pulita.

Bibliografia

- [1] C. Lanzilotta, O. Masini, J. Carletto, “Produzione di energia solare e acqua calda: Come beneficiare del sole. Fenomeni termici e impatto economico-ambientale”, 2020.
- [2] P. Baggi, “Energia Solare Fai da Te: La Guida Completa per Progettare e Realizzare facilmente il tuo Impianto Fotovoltaico”, luglio 2022.
- [3] F. Groppi, “Fotovoltaico per professionisti. Guida aggiornata ai sistemi fotovoltaici”, giugno 2021.
- [4] A. Pignatelli, A. Caffarelli, M. De Gregorio, “Gestione e Manutenzione degli Impianti Fotovoltaici”, dicembre 2014.
- [5] <https://it.wikipedia.org>
- [6] <https://solar.huawei.com/it>
- [7] <https://scienzapertutti.infn.it>
- [8] <https://www.enel.it>
- [9] <https://www.enea.it>
- [10] <https://www.gse.it>
- [11] <https://chint.it>