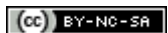


Fotovoltaico oggi DIY



Part A, ver. 2, 20/02/2023

In questo momento, sia per le spinte genericamente green, sia per gli aumenti della bolletta elettrica, sia per i problemi con i carburanti fossili, sia per le agevolazioni governative, gli impianti fotovoltaici sono all'ordine del giorno, in Italia ed in tutto il mondo.

Come conseguenza ficcano le offerte e le proposte commerciali, spesso fumose e di difficile valutazione.

Cerco di fare un po' di chiarezza, condividendo sia le varie analisi, che i progetti realizzati ed i risultati ottenuti, spero utili come spunto per chi voglia cimentarsi nel DIY, sia per chi voglia valutare delle offerte commerciali.

Questo documento è inizialmente un fact checking, per una corretta impostazione dei problemi. Seguito da progetti DIY di installazioni fotovoltaiche di vario tipo e potenza.

Nota: Questo documento è spesso aggiornato: l'ultima versione di questo documento è qui:
<https://github.com/msillano/DIY-photovoltaic-smart>

Per i materiali, l'Autore non è sponsorizzato né affiliato in alcun modo a nessuna ditta: le scelte sono effettuate solo in base al personale convincimento. Ho cercato di privilegiare fornitori internazionali per due motivi:

- *La disponibilità globale, per poter realizzare questi progetti in ogni parte del mondo.*
- *Fornire un buon rapporto qualità/prezzo per confronti.*

Faccio talora riferimento a prodotti oppure alla situazione normativa italiana, che meglio conosco, ma è sempre chiaramente evidenziato.

Disclaimer

Questo articolo ha obiettivi informativi, ed è vero ed accurato al meglio delle conoscenze dell'Autore, ma può contenere involontari errori o inesattezze: è fornito "così com'è", senza garanzie di alcun tipo, implicite o esplicite.

L'esecuzione pratica dei progetti e i calcoli di dimensionamento dei componenti e dei cavi elettrici di collegamento devono comunque sempre essere eseguiti, verificati e validati da personale tecnico specializzato, competente e qualificato, nel pieno rispetto di tutte le vigenti normative in materia elettrica e di sicurezza, che variano a seconda della nazione, pertanto l'Autore non è responsabile per danni accidentali diretti o indiretti provocati dall'uso delle informazioni fornite.

Preambolo: simulazioni

Per valutare le potenzialità del fotovoltaico si può usare un simulatore online.

Ne esistono molti, il più usato (in europa) è [PVGIS Photovoltaic Geographical Information System](#) dell'Unione Europea. Io lo uso spesso, sia in fase progettuale che in fase consuntiva.

Un altro buon simulatore è [PVWATTS](#) (NREL-National Renewable Energy Laboratory, USA), analogo a PVGIS.

Con PVWATTS si ottengono kWh annui inferiori rispetto a PVGIS (utilizzano differenti dati meteo), di positivo PVWATTS ha una mappa satellitare editabile e la possibilità di analizzare in dettaglio le perdite.

Per un primo test immediato, utilizzando con PVGIS i valori ottimizzati:

1. Scegliere la località sulla mappa, oppure inserire un indirizzo o i valori di Lat/Lon
2. Per ora selezionare *Calculated horizon*

Usando il tab 'GRID CONNECTED':

1. Mettiamo come *Installed peak PV power [kWp]* un valore di riferimento 1 (1 kWp).
2. Selezioniamo *Mounting position = Free-standing* (con aria circolante nel retro).
3. Spuntiamo anche *Optimize slope and azimuth*.

Poi il bottone: 'Visualize results', e successivamente PDF: si ottiene il seguente risultato (la località è Roma. Italia):

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

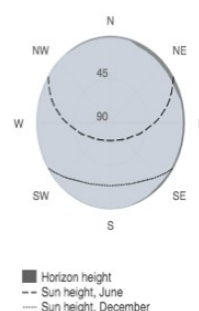
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 41.927,12.437
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 1 kWp
 System loss: 14 %

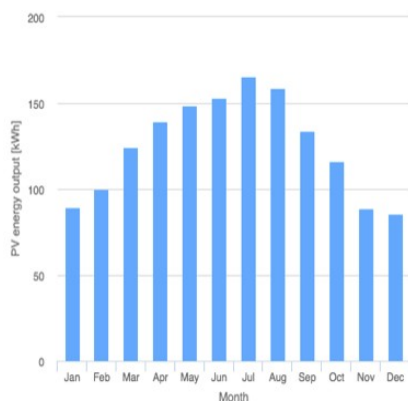
Simulation outputs

Slope angle: 37 (opt) °
 Azimuth angle: -1 (opt) °
 Yearly PV energy production: 1503.34 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1925.5 kWh/m²
 Year-to-year variability: 54.94 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.65 %
 Spectral effects: 0.97 %
 Temperature and low irradiance: -7.64 %
 Total loss: -21.92 %

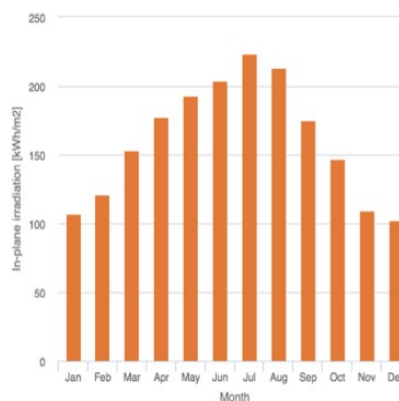
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

| Month | E_m | H(i)_m | SD_m |
|-----------|-------|--------|------|
| January | 89.4 | 106.8 | 14.0 |
| February | 99.8 | 120.9 | 13.4 |
| March | 124.2 | 153.5 | 16.2 |
| April | 139.1 | 177.3 | 8.9 |
| May | 148.9 | 192.7 | 15.8 |
| June | 153.2 | 204.0 | 6.2 |
| July | 165.7 | 223.7 | 4.7 |
| August | 158.9 | 213.6 | 7.2 |
| September | 133.7 | 175.0 | 7.8 |
| October | 116.1 | 146.9 | 12.7 |
| November | 89.0 | 109.0 | 12.1 |
| December | 85.4 | 102.2 | 11.8 |

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].

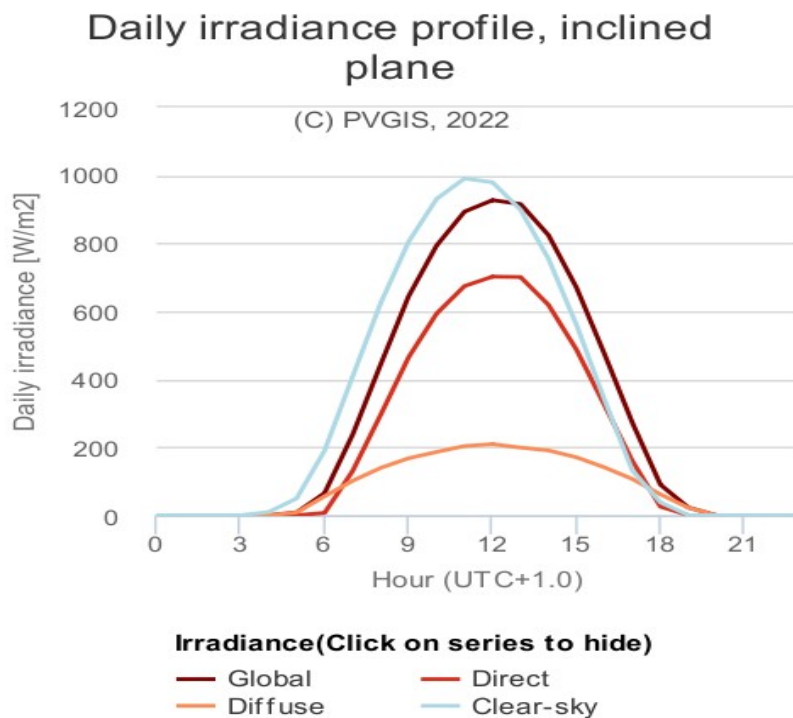
H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].

SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

Analizziamo alcuni risultati che otteniamo dalla simulazione:

- 1) L'inclinazione ottimale del pannello rispetto all'orizzontale è di **37°**
- 2) L'orientazione teorica è ovviamente SUD (0°) o mezzogiorno, ma l'ottimale in questo caso è di **1°** verso OVEST.
- 3) L'orizzonte calcolato, che tiene conto degli ostacoli naturali, come monti e colline, è praticamente sgombro: solo una piccola collina a E ritarda il sorgere del sole (da qui la correzione di 1° dell'Azimuth).
- 4) Andando con il mouse sulle curve Sun Height, troviamo l'altezza del sole a mezzogiorno: in June (71°) ed a December (24°). Da questi valori deriva il valore ottimale proposto di 37°.
- 5) In un anno la produzione (media, ottimale) di energia elettrica è stimata pari a **1503.34 kWh** per 1 KWp installato.
- 6) Il mese di massima produzione è July (165.7 kWh) mentre il minimo si ha in December (85.4 kWh).
- 7) Per ogni mese è indicata anche la deviazione standard (**SD_m**), che è una misura di variabilità. Si può semplificare così: *in base ai dati degli anni precedenti si ha il 95% di probabilità di osservare una produzione di energia compresa entro $(E_m - 2 * SD_m)$ e $(E_m + 2 * SD_m)$ per il mese considerato (see [68-95-99.7 rule](#)).*

L'opzione DAILY DATA, scelto un mese, fornisce il profilo medio giornaliero dell'irraggiamento.



Clear-sky: non tiene conto dell'assorbimento atmosferico (pulsicolo e nuvole).

Nota: non tiene conto dell'ora legale estivo/invernale (daylight saving time, DST).

Questi sono i dati di partenza per la località scelta (nell'esempio, Roma) e in condizioni ottimali.

All'atto pratico, quali sono i fattori di cui si deve tener conto nel progetto?

Gli stessi richiesti dalla simulazione:

- Latitudine e longitudine dell'installazione.
- Superficie (i. e. kWp) dei pannelli solari, tipologia.
- Sistema di montaggio con aria circolante (preferibile, 'Free-standing') oppure su una superficie ('roof adding') come richiesto in alcuni casi: l'efficienza del pannello si riduce con l'aumento della temperatura.
- Ombre ed ostacoli geografici e locali, e.g. edifici ed alberi: si considerano costruendo un 'file orizzonte' custom (click su 'Upload horizon file' per info) per una data posizione.
- Slope, o angolo orizzontale (se fisso)
- Azimuth od orientamento rispetto a SUD (se fisso)
- Come alternativa ad angoli fissi, si può anche considerare l'opzione 'TRACKING PV', ovvero un sistema meccanico di inseguimento, che trasforma il pannello solare in un girasole.

Altro punto fermo: con pannelli standard monocristallini (i più efficienti, rendimento $\geq 20\%$) vale l'equazione:

$$1 \text{ metro quadro} = 200 \text{ Wp}$$

Usate questa formula come cartina al tornasole per valutare le offerte di sistemi e di pannelli solari: se un'offerta promette 1 kWp (1000 Wp), i pannelli DEVONO essere almeno 5 m²!.

Note: un simulatore è semplicemente un sistema di calcolo sofisticato basato su alcune ipotesi. I risultati ottenuti devono essere verificati.

balcony solar panel.

Questa tipologia di impianti fotovoltaici è pensata per utenti urbani, che vivono in appartamenti in città. L'impianto è molto semplice e deve essere pensato come un qualsiasi elettrodomestico: i pannelli possono essere installati dall'utente finale in molti modi, e possono anche essere spostati. La presenza di una spina è essenziale: questi dispositivi non devono essere cablati fissi. L'obiettivo di queste installazioni è quello di ridurre la spesa della bolletta elettrica.



Esempio 1: I pannelli flessibili sono fissati direttamente in verticale ad una ringhiera esistente.



Esempio 2: Balcone e finestra: uso di supporti per migliorare l'angolo di inclinazione.



Esempio 3: autoportante per terrazzi.

Esempio commerciale italiano: [enel-x-sun plug-play](#)



Kit:

- 1 * pannello solare rigido 196 cm * 100 cm, 340 Wp, 1.9 m², peso 19 Kg ([datasheet](#))
 - 1 * supporto, 3 opzioni, peso 7 Kg (vedi [manuale](#) in Italiano).
 - 1 * inverter , 380 W MPPT [TSUN TSOL M350](#)
 - 1 * switch + power meter.
- [Video indipendente](#),

Prezzo: **649 € .**

Costo per kW: **1'900 €**

Esempio commerciale italiano: [LaCasaDelSole](#)



Kit:

- 1 * pannello 169 x 99 cm. = 1.6 m², 340 W
- 1 * inverter TSOL-M350 ([certificato CEI 0-21](#))

Prezzo **650 €**

Costo per kW: **1'900 €**

Esempio commerciale: [German startup We Do Solar](#)



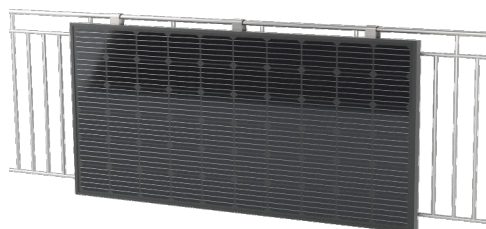
Kit :

- 8 * pannelli solari flessibili 90 cm * 54 cm (80 Wp), total: 3.8 m², 640 Wp ([datasheet](#))
- 1 * Inverter 600 W MPPT ()

Prezzo: **1'299 €**

Costo per kW: **2'170 €**

Esempio commerciale italiano: [eet-solare](#).



Kit::

- 1* Pannello fotovoltaico 166 x 100, 370 Wpeak (MaySun)
- 1* Inverter Envertec EVT300 MPPT
- Accessori montaggio

Prezzo **539 €**

Costo per kW **1'457 €**

Analisi

Una serie di fattori intervengono a ridurre il rendimento, soprattutto in questa tipologia di installazioni.

1. Ombre

Anche una piccola ombra (una foglia) può ridurre drasticamente il rendimento di un pannello solare: questo dipende da come sono topologicamente collegate le singole celle del pannello. se ad esempio sono collegate in 3 gruppi, una singola cella in ombra comporta un calo di produzione del 33% del pannello.

I pannelli collegati in serie risentono tutti dello stesso calo. E' però possibile utilizzare 'ottimizzatori di potenza' che sostanzialmente disaccoppiano i pannelli tra loro.

Analogamente se si connettono più pannelli in parallelo si disaccoppiano con diodi di protezione.

Nota: Per una valutazione delle ombre degli ostacoli più vicini (edifici, comignoli, alberi etc..) nelle varie ore e nei vari mesi, è possibile utilizzare, oltre la definizione custom dell'orizzonte in PVGIS, anche un modello 3D realizzato con [sketchup-free](#), come consigliato da [milliWatt](#).

3. Orientamento

L'orientamento ottimale è a SUD, ma non è detto che sia disponibile. Per fortuna le perdite sono limitate: per avere un'idea del problema, ecco una semplice tabella ricavata con PVGIS *Percentuali produzione annua* (inclinazione 37°)

| | |
|--------|------|
| SUD 0° | 100% |
| 10° | 99% |
| 20° | 98% |
| 30° | 97% |
| 40° | 95% |
| 50° | 92% |
| 60° | 91% |

Nota: al variare dell'orientamento cambiano le irradiazioni dirette e diffuse nel corso della giornata, si può vedere in PVGIS, tab DAILY DATA.

3. Inclinazione

L'inclinazione (slope) ottimale del nostro esempio è 37°. Ma si possono usare anche altre inclinazioni, ad esempio orizzontale (0°) o verticale (90°), ma con elevati costi, come mostra la tabella:

Percentuali produzione annua:

| | |
|-----|-----|
| 0° | 84% |
| 30° | 99% |
| 60° | 93% |
| 90° | 66% |

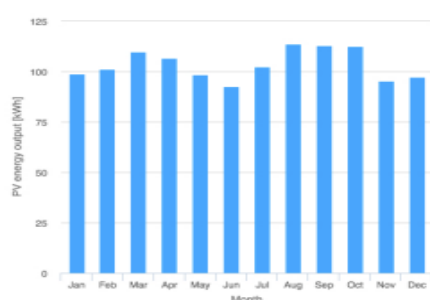
A volte si è costretti ad usare valori sub-ottimi: per l'esposizione dei tetti esistenti, o per altri vincoli architettonici o per ombre.

In Italia non sono necessari permessi edilizi purché i pannelli siano montati in aderenza su tetti a falda o pareti. Vedi [guida](#).

Nota: una minima inclinazione (eg. 5%, pari a 2.8°) favorisce l'auto-pulizia del pannello in caso di foglie secche, neve etc.

Nota: al variare dell'inclinazione cambiano le potenze generate nei vari mesi, come si può vedere in PVGIS. Esempio:

Monthly energy output from fix-angle PV sys



Con una inclinazione di 75° si ha una produzione mensile più limitata (min 95.5 kWh, max 113 kWh), ma più omogenea dell'ottima.

Monthly PV energy and solar irradiation

| Month | E_m | H(i)_m | SD_m | E_m: , H(i)_m of the SD_m |
|-----------|-------|--------|------|------------------------------------|
| January | 99.0 | 118.3 | 17.0 | |
| February | 101.1 | 122.3 | 14.7 | |
| March | 109.9 | 135.9 | 15.6 | |
| April | 106.7 | 136.8 | 7.0 | |
| May | 98.6 | 129.7 | 9.6 | |
| June | 92.4 | 126.1 | 3.1 | |
| July | 102.4 | 141.3 | 2.3 | |
| August | 113.8 | 154.5 | 4.8 | |
| September | 112.7 | 147.7 | 7.0 | |
| October | 112.7 | 142.4 | 13.1 | |
| November | 95.5 | 117.0 | 14.4 | |
| December | 97.2 | 116.3 | 14.3 | |

Dal paragone con i risultati mensili a 37° (min 85.4 kWh, max 165 kWh), si vede che la produzione invernale aumenta (+12%) mentre sono drasticamente ridotte le produzioni dei mesi estivi (-31%).

Una ottimizzazione si può ottenere cambiando manualmente l'inclinazione dei pannelli due volte l'anno, a primavera ed in autunno, in concomitanza con la manutenzione standard.

4. Distribuzione oraria

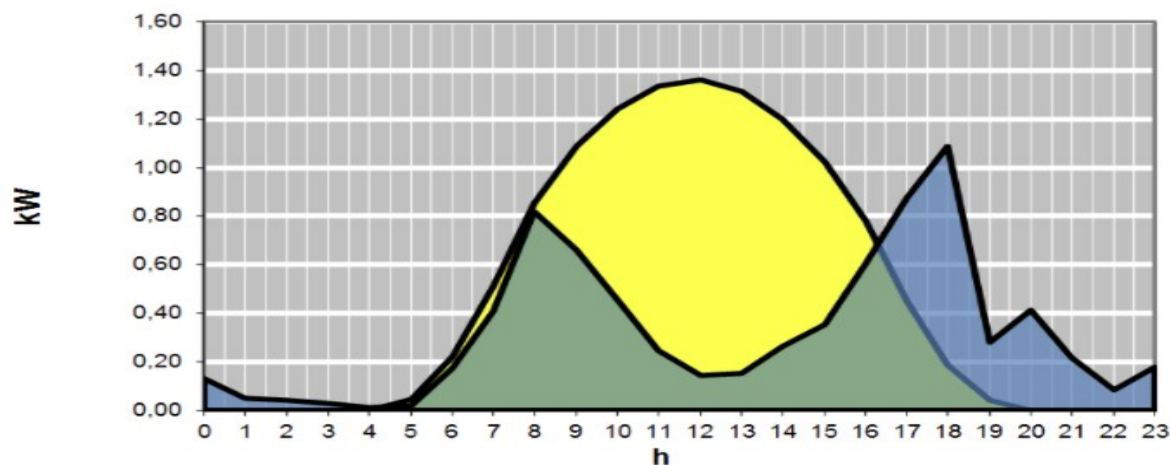
Con questa tipologia di impianti l'energia non utilizzata in auto-consumo è persa, perché l'energia in eccesso non viene remunerata dalle compagnie elettriche.

Ma esiste uno sfasamento fisiologico tra produzione e consumo di una famiglia: le ore di massima produzione sono quelle centrali del giorno, mentre le ore di massimo consumo sono quelle serali.

La figura seguente rappresenta schematicamente il consumo tipico di un'utenza privata: si ha un picco al mattino ed un secondo picco nel pomeriggio-sera.

Confrontando con l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, la zona in giallo è l'energia in eccesso, quella blu è l'energia fornita dalla rete, in verde abbiamo l'auto-consumo.

Nota: la figura si riferisce ad un impianto da almeno 1.5 kWp, ma anche riducendo il picco giallo, la sostanza non cambia.



In realtà la curva dei consumi è molto variabile: dipende ovviamente dagli elettrodomestici installati, per esempio scaldabagno ed aria condizionata sono molto energivori. idem per forno elettrico e fornelli ad induzione. Inoltre la curva dipende anche dalle abitudini degli utenti.

Praticamente occorre agire su due fronti:

- Ottenere dei grafici sperimentali per i consumi orari.
- Cercare di spostare i consumi verso l'orario diurno, per esempio temporizzando le accensioni dello scaldabagno ad accumulo, oppure cambiando abitudini ed utilizzando la lavatrice alle ore 14, etc.

L'obiettivo, tutto sommato semplice da realizzare per piccole potenze, è quello di avere un consumo, nelle ore diurne, superiore alla potenza generata dall'impianto fotovoltaico. In questo modo si utilizza tutta l'energia prodotta per auto-consumo, senza sprechi.

Note: risulta evidente come, con impianti con questa strategia, non si possa mai arrivare ad annullare la bolletta dell'energia elettrica domestica: esisteranno sempre dei consumi fuori orario.

Ma si può raggiungere l'obiettivo di una produzione ed utilizzazione dell'energia solare con ridotti sprechi, massimizzando la riduzione dei consumi elettrici fatturati,

Consumi annui per famiglia

| Nazione | 1 persona | 2 persone | 3 persone |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Italia (ENEL) | 1434 | 2081 | 2581 |
| Italia (ISAE) | 2168 | 2694 | 3134 |
| Austria | 2226 | 2910 | 4187 |
| Malta | 1400 | 1850 | 2175 |
| Spagna | 1415 | 1924 | 2299 |
| Paesi bassi | 2220 | 3095 | 3875 |
| Belgio | 1575 | 2200 | 2705 |

(fonte [KiloWattene](#))

Per ogni kWp installato la produzione fotovoltaica teorica massima è di 1500 kWh/anno (Roma, vedi simulazione iniziale).

Per confronto:

- l'impianto *Enel da 350 Wp* produrrà a Roma 525 kWh/anno (massimo)
- l'impianto *We Do Solar da 640 Wp* produrrà a Roma 960 kWh/anno (massimo)

Questi valori 'medi' devono sempre essere verificati caso per caso, per esempio utilizzando le bollette elettriche degli anni precedenti.

DIY Plug and Play solar panel



Progetto A1 (200 W):

| | |
|---|----------|
| 2 * pannello solare flessibile 105 cm * 53 cm, RG-MN-100 | 176.34 € |
| 1 * supporto multiuso, in profilato ferro. | 12.00 € |
| 1 * switch + meter 20A EU Tuya | 16.36 € |
| 1 * inverter , 300 W GMI -300 | 53.06 € |
| In Italia, inverter TSOL M350 | 228.54 € |

Costo: 258 € (italia: 433 €)

Costo per kWp: 1280 € (2167 €)

Questo progetto è stato sviluppato e realizzato soprattutto per sperimentazione e verifica delle simulazioni. A basso costo e in un caso concreto.

Nota: I prezzi indicano l'importo da me pagato, spedizione compresa (Giugno-Luglio 2022). I prezzi possono ovviamente variare: selezionate accuratamente il fornitore.

Criteri di progetto

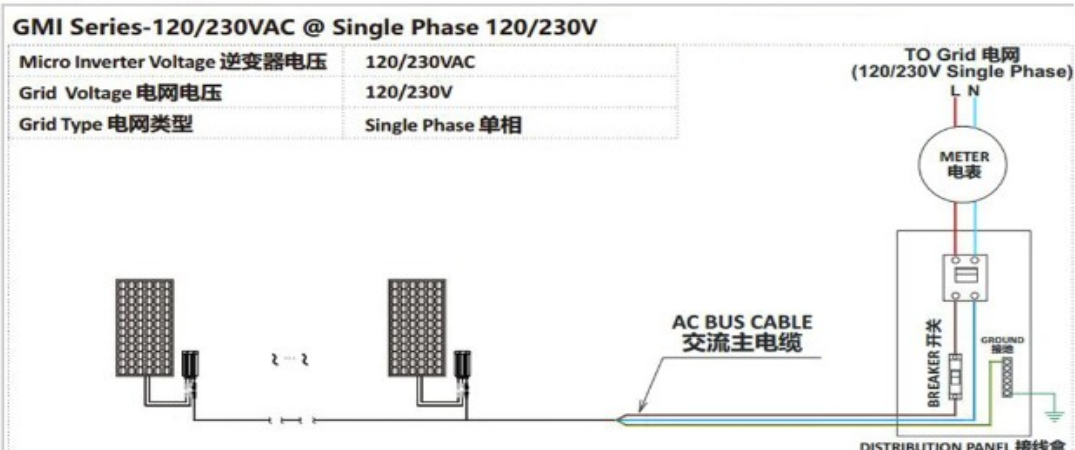
L'obiettivo finale è la riduzione dell'importo della bolletta elettrica, pertanto gli obiettivi dell'installazione sono:

- Costo per kW il più basso possibile
- Contenimento delle inevitabili perdite per orientamento ed inclinazione non ottimali, presenza di ombre, etc.
- Usare, ove possibile, dispositivi di controllo e misura Tuya compatibili, per avere a costo zero il controllo remoto (con l'App free SmartLife) e, per i più esigenti, la possibilità di utilizzare TuyaDaemon, un ambiente di sviluppo per IOT.

Modularità

Ritengo valido il progettare ed usare dei moduli autonomi identici, da moltiplicare nel caso si richieda più potenza.

WIRING SCHEMATIC



I vantaggi sono i seguenti:

- Maggiore flessibilità: infatti quando, per motivi di spazio, si vogliono usare due orientazioni differenti (vedi foto precedente del balcone), si ha un maggiore rendimento se ogni gruppo di pannelli ha il suo controller MPPT.
- Maggiore resilienza: un guasto provoca meno danni ed è di riparazione più economica. Con poca spesa si può fare magazzino di parti di ricambio: un pannello ed un inverter.
- Facilità di espansione successiva, ad esempio, se si aggiungono nuovi elettrodomestici

Pannelli fotovoltaici

I pannelli flessibili presentano diversi vantaggi rispetto a quelli con telaio e vetro, specie nel caso DIY:

- Ridotto peso, si semplificano i problemi di trasporto, installazione, supporti, etc.
- Dimensioni ridotte ($\frac{1}{2}$ mq.): maggiori possibilità di posizionamento
- Grande riusabilità, molteplici opzioni di fissaggio ed uso (su veicoli, barche etc.)
- Migliore resistenza ai danni da grandine rispetto ai pannelli con vetro.
- Rendimento elevato e basso costo.
- In questi mesi i pannelli rigidi hanno tempi di consegna molto lunghi. I pannelli flessibili sono pronti.

Il [modello RG-MN-100 selezionato](#) ha queste caratteristiche: potenza 100 Wp, dimensioni 1050X530X2.5mm, peso 1,9 kg, tensione a circuito aperto 19,2 V, Corrente cc 6,87 A, rendimento 20,5 %, vita 25 anni.

Presenta 6 occhielli inox sul perimetro per il fissaggio. La lunghezza dei cavi permette il collegamento di due pannelli in serie e di un inverter senza necessità di prolunghe o di altri accessori.

Rapida consegna in Europa via Aliexpress da un [magazzino in Polonia](#).

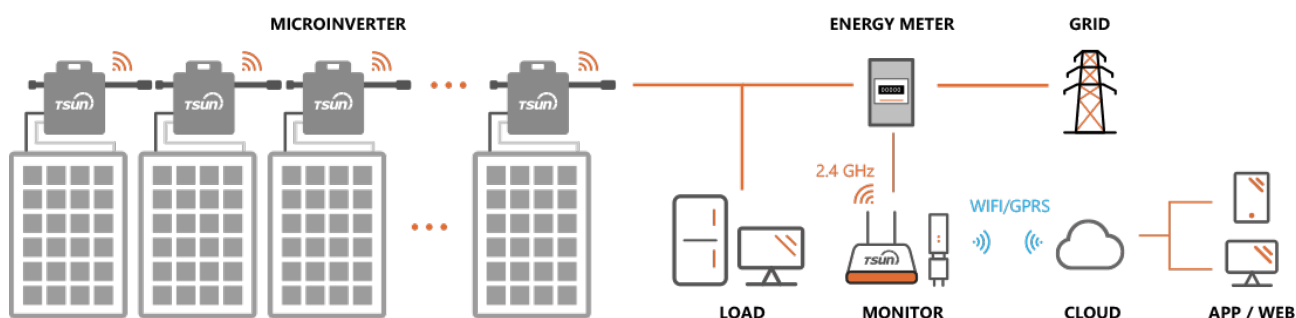
Esiste anche la possibilità, se si è fortunati, di trovare dei pannelli solari di seconda mano a prezzi molto interessanti (vedi [esempio](#)).

Inverter

Molti kits plug-and-play in commercio in Italia usano come inverter l'azzurro Zucchetti, ovvero il TSUN TSOL M350, con certificato [CEI 0-21](#).



Microinverter [TSUN versione TSOL 300W](#) per impianti fotovoltaici certificato CEI-021 € 228,54



Senza il vincolo CEI (non in Italia) sceglierei per il progetto fotovoltaico *plug-and-play* iniziale un inverter molto semplice ed a basso costo, [GMI300](#) leggermente sovradimensionato (300 W) per ridurre i problemi di surriscaldamento (vedi [datasheet](#) e [certificato CE](#)) anche se questo comporta una diminuzione di rendimento.

Questo inverter ha due livelli automatici di shut-down in caso di temperature elevate: 50% e OFF.

Se si monta l'inverter vicino ai pannelli, (soluzione preferibile) occorre curare che sia almeno sotto i pannelli, in ombra e riparato dalla pioggia, collegato ad una struttura metallica per migliorare la dissipazione, mentre la soluzione di montare l'inverter all'interno, su un quadro, può essere valida in casi particolari, ma presenta i seguenti difetti:

- *Riduzione della modularità e portabilità*
- *Aumento dei costi e perdite per i lunghi cavi DC di grosso diametro (corrente 7 A).*

Il problema del surriscaldamento deve essere sentito se il produttore offre anche due kit di parti di ricambio, vedi [istruzioni in video](#) (questo è stato anche un fattore positivo di scelta).

Gli utenti hanno presentato varie dubbie ipotesi di soluzione, come fori, ventilatori etc.



La più valida, a mio avviso e che non compromette la specifica P55, è quella di montare il lato più caldo (quello in alluminio nudo) a contatto con la struttura portante, che fungerà da dissipatore.

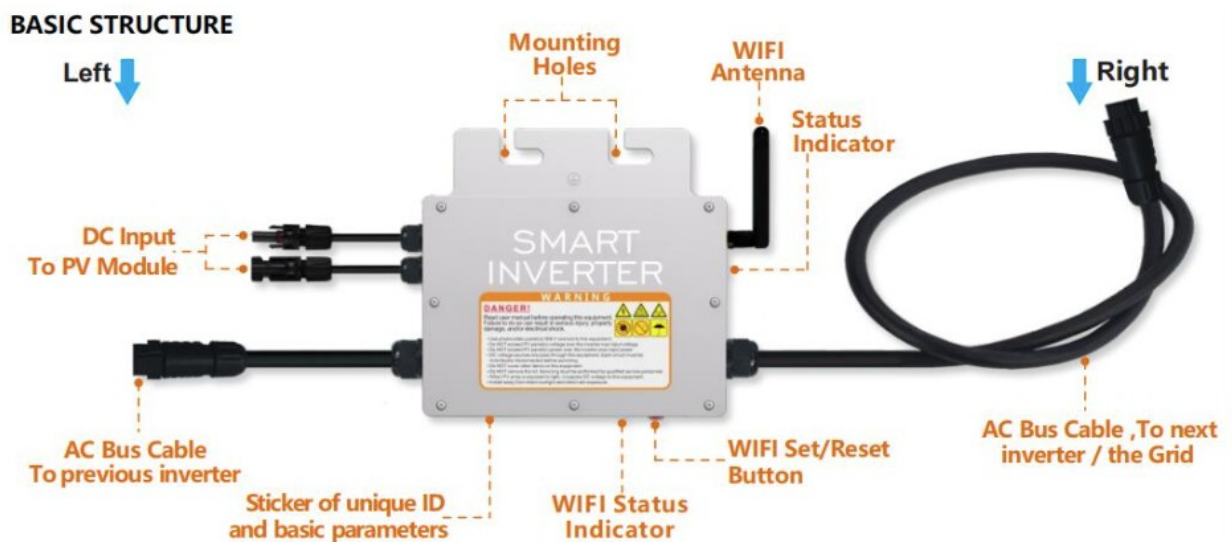
E' anche possibile aggiungere un dissipatore esterno alettato (nella foto, la [soluzione sovradimensionata di un utente](#)).

Ho testato l'inverter in Luglio 2022 (35°C) senza dissipatore e senza problemi, misurando una temperatura esterna 55° C. I pannelli raggiungono i 61° C.

Comunque qui c'è un esempio di dissipatore aggiuntivo: [100x60x10, 4.09 €](#), da collegare non con fascette di nylon, ma con viti parker e molta pasta termo-conduttrice.

Progetto A2

In questo settore si ha una continua evoluzione. Mentre provavo la **versione A1**, è comparsa sul mercato una nuova serie di inverter, con alcuni vantaggi. Ovviamente ne ho comprato uno e l'ho subito provato:



Un vantaggio di Y&H SG-300W è la migliore connettività (a 220 e DC) che offre semplicità e risparmio di accessori (cavi, diodi, giunti). Un altro è la compatibilità Tuya/smartHome (e quindi tuyaDAEMON), che permette un agevole controllo.

Progetto A2 (300 W):

| | |
|---|----------|
| 3 * pannello solare flessibile 105 cm * 53 cm, RG-MN-100 | 264.51 € |
| 1 * supporto multiuso, in profilato ferro. | 15.00 € |
| 1 * inverter , 300 W SG300MS | 104.65 € |

Costo: 384 €

Costo per kW: **1280 €**

Totalmente analogo alla **versione A1**, sfrutta un differente inverter, e non richiede lo 'switch + meter 20A EU Tuya', essendo la funzione Wi-Fi presente nell'inverter SG300.

DIY Plug-and-Play solar panel: realizzazione

Step 1: analisi consumi

Il primo passo che ho intrapreso è stata la sostituzione del salvavita nel quadro elettrico di casa con un salvavita + wattmetro Tuya compatibile, per una migliore analisi dei consumi domestici (opzionale).

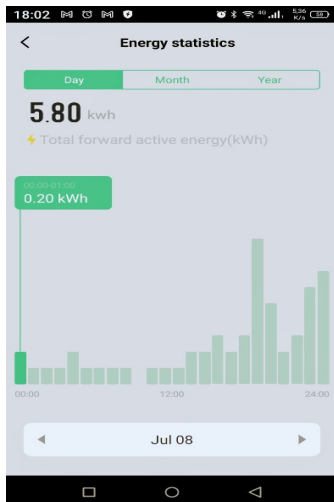


2P 63A TUYA APP WiFi Smart Energy Meter OPWT-63
(<https://www.aliexpress.com/item/1005002361164427.html>, € 33)
Vedi anche [Tuya info](#).

Oltre alla funzione di misura (V, I, W, kWh) visibili sul display, questo interruttore ha protezioni regolabili per:

- Leakage (10-100 mA) (salvavita)
- Overcurrent (1-63 A) (magnetotermico)
- Overvoltage (250-300 V) ritardo 0,5 s
- Undervoltage (150-190 V) ritardo 0,5 s

Tra i tanti dispositivi disponibili, ho scelto questo modello perché ha le stesse dimensioni del salvavita preesistente, quindi la sostituzione nel quadro di casa è molto semplice.



Questo meter fornisce (con la App SmartLife) un grafico giornaliero, che è esattamente quello che serve per valutare i consumi elettrici.

Nota: in Italia, l'App di e-distribuzione offre 'curve di carico' analoghe, ma con un certo ritardo.

Si vede come il consumo di un giorno (8 Luglio) sia prevalentemente serale-notturno, mentre il valore di base (circa 100 W) è la somma degli standby di TV, WIFI, PC, irrigazione etc.

Notare che sono indicate, nel grafico, dei valori integrali orari: i valori di picco possono essere maggiori (fino a 3.3 kW).

I dati forniti dal Meter OPWT-63 possono anche essere utilizzati in rt con tuyaDAEMON: ecco i consumi di 24 ore:



Si nota:

- minimo < 100 W
- sera 300W
- picchi dovuti agli elettrodomestici.

Il picco maggiore è causato dallo scaldabagno ad accumulo (1300W)

Step 2: supporto



Prendendo ad esempio dei [modelli commerciali](#), come in figura, il supporto mobile è stato realizzato con profilati di ferro a L perforati (il tipo per scaffali) soprattutto perché erano a disposizione !

Si può anche realizzare in legno, o, meglio, alluminio, ma questo presenta, per me, dei problemi di saldatura.



In realtà sono presenti solo due punti di saldatura ai vertici del rettangolo principale, per fornire rigidità: il montaggio è tutto realizzato con bulloni da 8 mm, con dadi o farfalle.

Le staffe per ringhiera sono realizzate unendo due 'L' con ribattini e creando un foro da 8 mm.

L'unica misura critica è il lato verticale del telaio, pari alla lunghezza dei pannelli (105 cm).

Il supporto è universale, può essere usato su ringhiera, finestra, parete... L'inclinazione è facilmente regolabile per effettuare tutte le prove.

Peso totale 14 kg:
supporto 9,7 kg
pannelli 3,8 kg
inverter 0,5 kg

note sul fissaggio: DIY non vuol dire poco sicuro; prevedere la stabilità in caso di forti venti (a 40 m/s la pressione è di 190 kg/m²), su ringhiere usare anche un fissaggio inferiore, ed utilizzare un secondo sistema di sicurezza (e.g. con funi in nylon) ancorato al telaio, per evitare cadute accidentali (vedi [istruzioni Enel](#)).

Su una superficie piana, si devono usare zavorre ([TSUN](#) consiglia almeno 20 kg.) e cavi di sicurezza, per non bucare la pavimentazione. Qui un altro [esempio](#), ma possiamo usare vasi da fiore, oppure economiche basi di ombrellone riempite di acqua (9 €).

Step 3: fissaggio pannelli



I pannelli solari flessibili si possono installare usando vari sistemi:

- Su una superficie esistente (muri, veicoli e camper, barche etc...) si può usare semplice nastro biadesivo!
- O anche velcro autoadesivo, se si vogliono spostare velocemente.
- Addirittura usando zip 'cucite' ai bordi dei pannelli ([per nautica](#)).
- Possono anche essere fissati con funi passate negli occhielli (e.g. su ringhiere di balconi).

Per fissare i pannelli al telaio io ho usato semplicemente 4 bulloni inox da 6 mm con dadi autobloccanti.

Se si vuole aumentare la rigidità, si può aggiungere sotto i pannelli una lastra in polycarbonato alveolare, aumentando però i costi e peggiorando l'areazione.

Step 4: collegamento

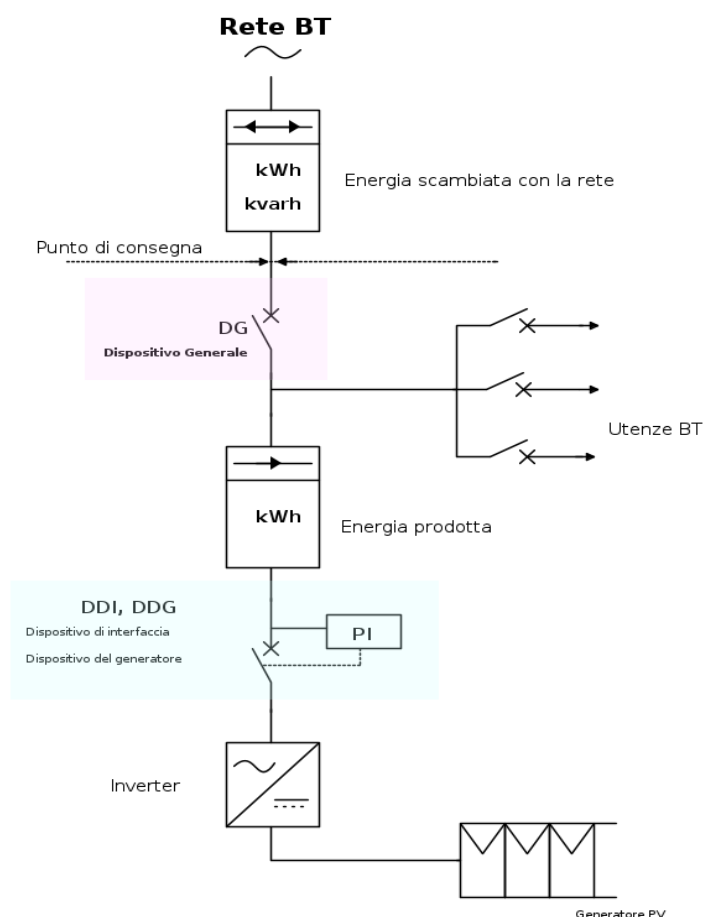
Questo inverter, per funzionare, deve essere collegato alla rete a 220: non può quindi essere usato come gruppo di continuità (UPS).

E' sicuro utilizzare una qualsiasi presa dell'impianto esistente, perché se la presa non è in tensione l'inverter cessa di funzionare, eliminando ogni rischio.

Le regole possono variare da nazione a nazione: adeguarsi alle norme vigenti.

In Italia secondo la delibera [ARERA 315/2020/R/EE](https://www.arera.it/it/temi/energia/energia-distribuita/ARERA_315_2020_R_EE), il generatore deve essere collegato ad una 'presa dedicata', collegata tra il DG e le altre utenze (vedi schema, fonte <https://electroyou.it/admin/wiki/schemi-fotovoltaici-in-bt>) o anche [questo](#).

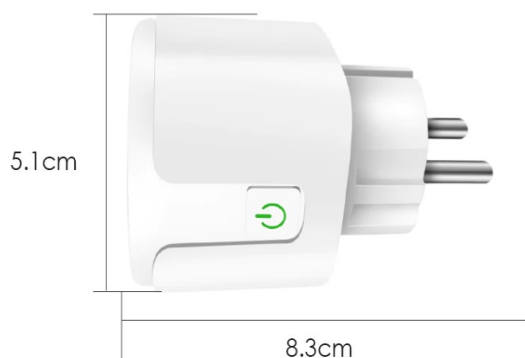
Un dispositivo DDI deve permettere la protezione delle utenze ed il distacco del generatore.



Come DG (sul quadro di casa) ho utilizzato lo 'WiFi Smart Energy Meter' (vedi [sopra](#)), che, oltre a fungere da interruttore, integra alcune funzioni di protezione e WiFi.

Come DDI + DGI, si può utilizzare un secondo Smart Energy Meter (vedi [sopra](#)), con funzioni di breaker e protezione differenziale e magnetotermica, in un piccolo box (e.g. enel-x-sun) di distribuzione.

Molti kit commerciali semplicemente utilizzano uno [smart switch](#) (16,36 €) volante, per garantire la mobilità, che svolge più funzioni:



- Il pulsante sul corpo funge da interruttore manuale per il pannello solare
- Con l'applicazione SmartLife è possibile comandare da remoto la funzione ON/OFF
- Con SmartLife è possibile leggere V, I, W istantanee da remoto.
- Con Smartlife si hanno anche i kWh giornalieri con totali e grafici sia mensili che annuali.

Vedi anche [Tuya info](#).

La protezione per extra-tensioni è affidata al dispositivo WiFi Smart Energy Meter a monte. Nel **progetto A2** lo *smart switch* non è necessario e l'inverter può essere direttamente collegato alla presa.

Automatismi: **tuyaDAEMON**

Con questo progetto sia le informazioni della rete (potenza, consumo cumulato) che le informazioni relative al generatore solare (potenza rt, kWh generati) sono disponibili in remoto tramite SmartLife. Volendo si può anche mettere in OFF il generatore solare.

Non desidero utilizzare cloud proprietari, e quindi neanche le APP WiFi di controllo remoto proprietarie, a parte Tuya e smartLife. Già decidere di utilizzare Tuya ed il suo cloud è stata una decisione difficile, giustificata dagli elevati sistemi di sicurezza, dalle elevate prestazioni, e dalla peculiare posizione commerciale di Tuya come fornitore di servizi a terzi – vedi '[why TuyaDAEMON](#)' (in italiano, '[perché TuyaDEAMON](#)').

Sfortunatamente gli automatismi disponibili con smartLife non sono abbastanza avanzati per poter essere utili nella gestione di questo pannello fotovoltaico, a parte l'avvio e lo spegnimento temporizzato. *Non risulta implementabile, in smartLife, una semplice strategia ON/OFF: "inserire l'energia fotovoltaica solo quando il consumo supera la potenza prodotta, e distaccare quando l'energia consumata è minore dell'energia prodotta, per non inviare energia in rete".*

Questo è invece possibile con [tuyaDEAMON](#), con funzione di super-controller, che integra l'intero ecosistema Tuya - sensori, interruttori, impianto fotovoltaico - con data base, estensioni custom e logica ad alto livello.

Step 5: prestazioni

Il rendimento di default che il simulatore PGIS usa è pari al 16.4 % (dal rapporto tra KWh annuali prodotti e irraggiamento annuale).

Il rendimento reale è variabile, come mostra la seguente tabella (sono escluse alcune ore per ombra sui pannelli), dove la colonna 'irraggiamento' viene da PGIS, tab 'dati giornalieri' luglio. I dati 'potenza prodotta' sono letti ogni ora dallo Smart Switch.

Misure (17 Sett.) inclinazione 37°, orientamento sud (0°):

| Ora (solare) | Irraggiamento (Wh/m ²) | Potenza (Wh) | Rendimento (%) |
|--------------|------------------------------------|--------------|----------------|
| 9:00 | 570 | 78 | 13,7 |
| 10:00 | 730 | 99 | 13,6 |
| 11:00 | 813 | 120 | 14,7 |
| 12:00 | 837 | 124 | 14,8 |
| 13:00 | 787 | 123 | 15,6 |
| 14:00 | 686 | 100 | 14,6 |
| 15:00 | 516 | 80 | 15,5 |
| Tot. | 4939 | 724 | 14,7 |

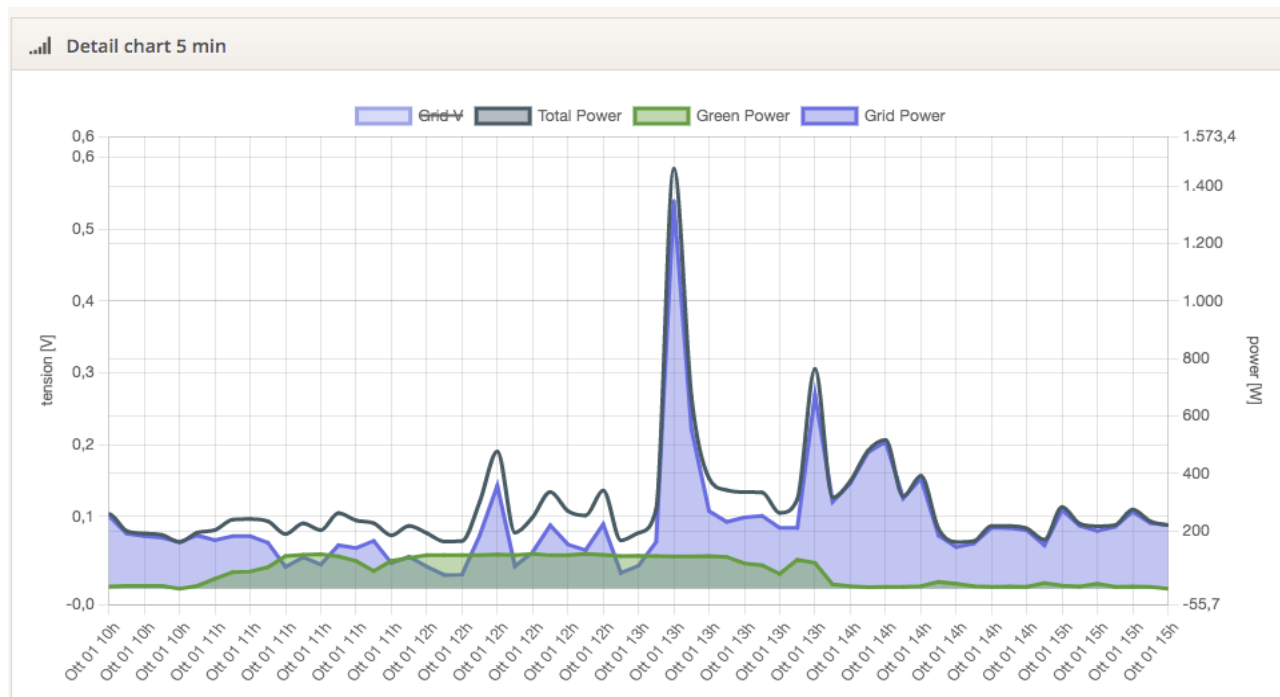
Il rendimento medio è circa **15 %**, minore del valore atteso (16,4 %) valutato da PVGIS:



1. Negli inverter è comune una diminuzione del rendimento al diminuire della potenza
(specifiche inverter: P_{max} : 300W, rendimento CEC a 220V: 91,5 %).
2. Inoltre i dati di irraggiamento globale stimati dal PVGIS tengono conto statistico delle nuvole e possono differire dai valori reali. Ho notato valori difforni in almeno un caso.
3. Ulteriori indagini dovrebbero permettere di individuare esattamente la causa della discrepanza, ma continuiamo con i valori effettivamente misurati.

Nel simulatore PVGIS è possibile aumentare empiricamente le perdite (default 14%) per ottenere un rendimento analogo.

Grafico della **potenza totale**, da **fotovoltaico**, da **rete** (1 Ottobre 2022, fonte: tuyaDAEMON):



Come si può notare le ore sono ridotte (da 11:00 a 15:00) sia per nuvole che per l'esposizione.

Ritorno economico

Dati di partenza

Costo materia energia (Italia, III trimestre 2022) : **33,08 c€/kWh**.

Costo energia in bolletta: **41,51 c€/kWh**. Fonte [ARERA](#)

costo impianto: 258 €

costo annuale (pulizia, ricambi etc.): 20 €

produzione annua: 220 kWh (resa 15 %)

Ipotesi 1: posizione ottimale, autoconsumo totale: 100% (220 kWh/anno)

Ammortamento: 3 anni, 8 mesi

Rendimento investimento: 17,21%

Ipotesi 2: posizione non ottima, autoconsumo parziale: 60% (132 kWh/anno)

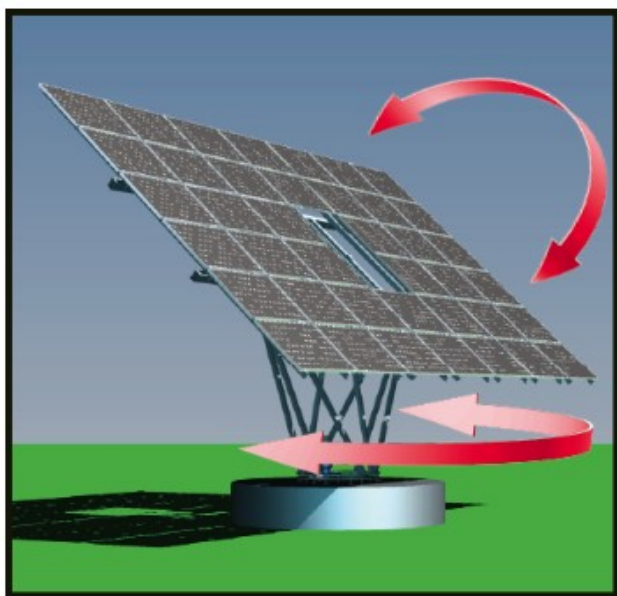
Ammortamento: 7 anni, 7 mesi

Rendimento investimento: 3,22%

fonte: <https://www.sunearthtools.com/it/solar/payback-photovoltaic.php>

Sistemi ad inseguimento: note.

Si possono avere sistemi ad un solo asse (normalmente parallelo all'asse terrestre) per puntare il sole dall'alba al tramonto, oppure a due assi per seguire anche l'altezza del sole.



Vantaggi:

- PVGIS nostra un incremento dell'energia prodotta del 31% (2028 vs 1503 kWh/anno).
- Una gestione 'intelligente' permette di ridurre i danni causati da neve e grandine.

Svantaggi:

- I pannelli solari sono oggetti abbastanza pesanti e la meccanica necessaria per muoverli in sicurezza non è né semplice, né economica.
- Occorre considerare anche i sistemi elettronici di controllo, la manutenzione, il consumo etc.
- Con il movimento ogni pannello richiede più spazio e [genera ombre](#).

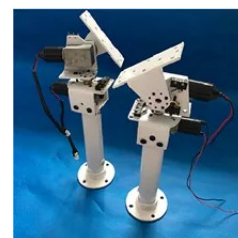
Esempi:



[Controller di tracciamento automatico](#) solare ad asse singolo (NS) 81,40 €

(solo meccanica e motori)

[Pan-Tilt a doppio asse DC 25 Kg](#) 85,60 €

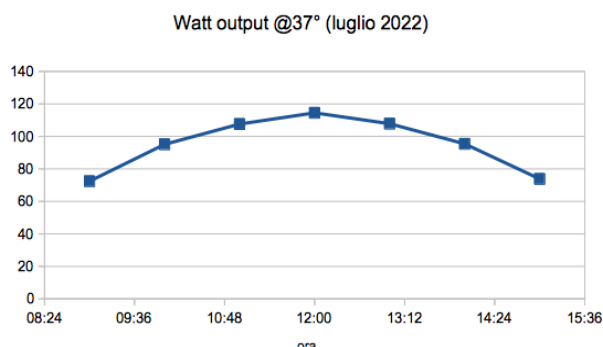


Conclusione:

Usando i normali pannelli monocristallini, solo trovando un sistema semplice ed economico, che costi meno del 20% dell'impianto, si può prendere in considerazione l'inseguimento. Non (almeno per ora) di interesse DIY.

Si può però valutare la modifica manuale, due volte l'anno, dello 'slope' dei pannelli.

Conclusioni su DIY plug-and-play



Il pannello solare **DIY plug-and-play** ha la produzione in figura tra le ore 9:00 e 15:00 (solare) in Luglio, con un totale tra **0,6 e 0,7 kWh/giorno**.

Si ha quindi un autoconsumo del 100% se tra le ore 9:00 e le ore 15:00 l'energia elettrica consumata è uguale o superiore alla produzione (70-120 W).

In questo caso tutta la produzione annua (stimata 220 kWh) è utilizzata, con un risparmio annuale (Italia, prezzi attuali) di 90,2 €. con un brevissimo periodo di ammortamento (circa 4 anni).

- *I pannelli degradano nel tempo: la durata dei pannelli solari è stimata 20-25 anni.*
- *Manutenzione ordinaria richiesta: ogni 6 mesi pulizia della superficie dei pannelli.*

La situazione più favorevole si ha quando esistono già dei consumi elettrici costanti nelle ore diurne: locali pubblici, serre o colture idroponiche, apparecchiature elettroniche, ventilatori etc. Altrimenti occorre cercare di spostare i consumi abituali nelle ore di insolazione.

E' evidente l'importanza di una 'strategia energetica' su misura, eventualmente implementata con l'aiuto di dispositivi automatici di controllo IOT, come TuyaDAEMON.

Permessi ed adempimenti vari (plug-and-play)

Attenzione: in condizioni standard il contatore elettrico conteggia i surplus di energia immessa in rete dall'utente come consumo.

In generale una comunicazione alla società di distribuzione può permettere di abilitare il contatore (elettronico) per il funzionamento bidirezionale, ma di solito l'energia ceduta alla rete non è remunerata: per l'utente è persa.

Le regole (e gli incentivi) variano a seconda della nazione e della società fornitrice.

In Italia un impianto fotovoltaico **plug and play** ($W_p \leq 350 \text{ W}$) è agevolato:

1. può essere installato dall'utente finale
2. non richiede permessi, salvo un'eventuale 'comunicazione' al condominio, oppure un'autorizzazione nel caso di centri storici soggetti a 'vincolo paesaggistico' (informazioni al comune, vedi anche sentenza del Tar Lombardia n. 496/2018 sul problema visibile/non visibile).
3. deve essere certificato CEI 0-21
4. deve essere comunicato al gestore di rete locale tramite la compilazione e l'invio del modello "Comunicazione Unica per impianti di produzione di potenza inferiore a 800 W" disponibile sul sito internet ARERA, al seguente link:
<https://www.arera.it/allegati/docs/20/315-20.pdf> oppure i dati possono essere inseriti direttamente nel sito di e-distribuzione ("iter semplificato"), a costo zero.

Come risultato il contatore viene abilitato (bidirezionale) per cui l'utente non si trova in bolletta anche l'eccesso di energia prodotta, ma l'energia ceduta alla rete è comunque persa, in quanto non viene remunerata.

Per impianti di potenza maggiore di 350 Wp, ma **minore di 800 Wp**, occorrono inoltre i seguenti documenti (vedi esempio), che possono rappresentare una difficoltà nel caso DIY:

- Schema elettrico unifilare dell'impianto
- Dichiarazione di conformità dell'impianto di produzione alla regola dell'arte ai sensi della vigente normativa
- Dichiarazione di conformità di eventuali dispositivi di conversione statica e di interfaccia installati
- Regolamento di esercizio sottoscritto dal produttore

Note: l'iter "semplificato" online di e-distribuzione è solo apparentemente semplice (vedi guida). L'utente DIY può compiere la prima volta sciocchi errori solo perché alcune informazioni utili non sono facili da trovare sul sito. Per esempio:

- *La raccomandata di adesione (Modulo + fotocopia doc. di identità, copia cartacea) deve essere inviata a "e-distribuzione, CP240, 00071 Pomezia, RM" e NON ad altri indirizzi presenti nel sito. Conservare la ricevuta!*
- *Lo stesso modulo deve essere inviato una seconda volta elettronicamente, insieme ad un'altra copia PDF del doc. di identità e con la copia della ricevuta della raccomandata (!sob). Il modulo, in formato PDF, deve essere completo (7 pagine), anche se è firmato solo nell'ultima pagina (!). Poiché esiste un limite di 3Mb (?), le 7 pagine devono essere inviate come 7 file separati (!).*
- *L'accesso ai vari form è obbligatoriamente sequenziale, anche se la pagina di accesso è strutturata, controintuitivamente, con dei tab.*
- *Se si deve compiere un'azione di aggiornamento successiva - chiamata INTEGRA - occorre sempre ripartire dal primo step (anche se ora è presente il tab INTEGRA: non si deve usarlo subito): un bel non-senso.*

Quando ho comunicato a e-distribuzione il mio impianto plug-and-play la richiesta del 25 Agosto è stata evasa il 13 Ottobre, avendo io fatto tutti i precedenti errori 'bloccanti'.

Nota: In Italia si ha un'ulteriore incentivo temporaneo per l'acquisto di pannelli solari, inverter e batterie: 50% di rimborso sulle tasse future (ecobonus).

Alcune grosse Ditte offrono lo sconto in fattura per tale importo.

Nota: lo 'sconto in fattura' è terminato in Italia in data 17 febbraio 2023.

Addendum

[AUGUST 25, 2022](#) *The government of Mecklenburg-Vorpommern has allocated €10 million (\$9.93 million) to support the deployment of balcony solar modules with a power output of up to 600 W.*

[JANUARY 28, 2023](#) *Starting this year, ground-mounted solar modules in Germany can be replaced before the end of their service life. “Used modules can provide relief on the sold-out market and can be used for balcony photovoltaic systems, for example,” says SPD’s Gremmels.*

[JANUARY 30, 2023](#) *The Swedish Electrical Safety Authority (Elsäkerhetsverket) has issued a warning about the risks posed by plug-in solar modules, which are often used on balconies. It said electrocution and fire are the main risks associated with faulty plug-in panels.*

[FEBRUARY 1, 2023](#) *Soleis AG's new Minitower1 battery system can store solar power from balcony PV modules.*