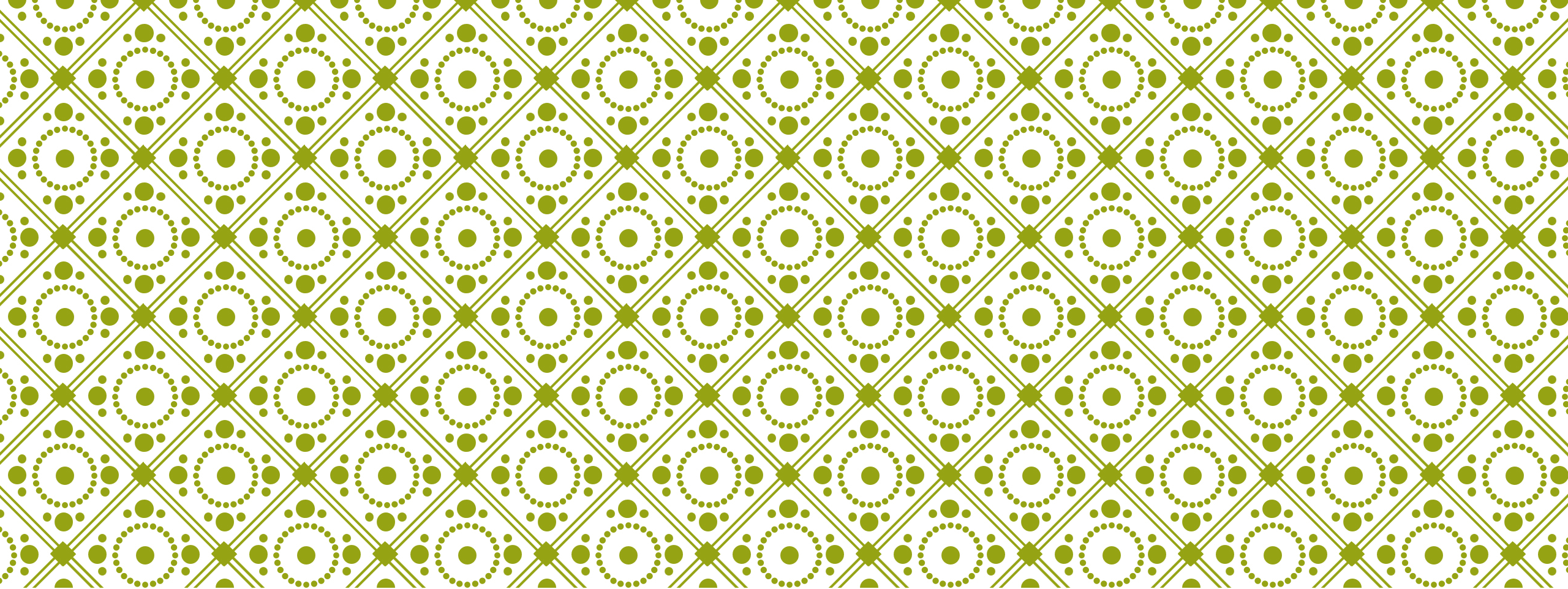


# PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI





# PANNELLI FOTOVOLTAICI



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

## Che cos'è?

Il Solare Fotovoltaico è un sistema solare attivo di conversione dell'energia solare in energia elettrica.

La parola fotovoltaico deriva dal termine greco *photos* ("luce") e dall'aggettivo *voltaico* (da Alessandro Volta, inventore della pila elettrica) che viene comunemente usato per indicare l'energia elettrica.



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

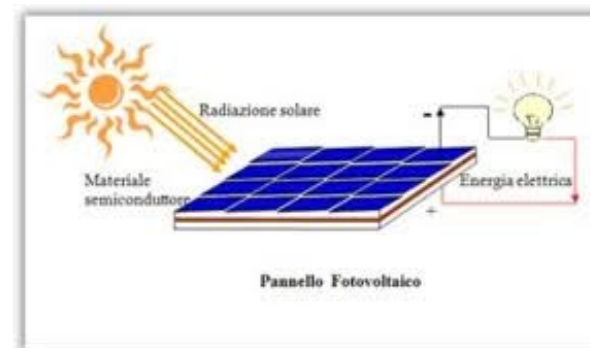
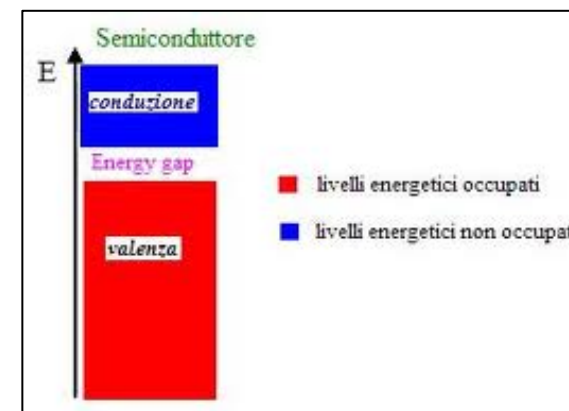
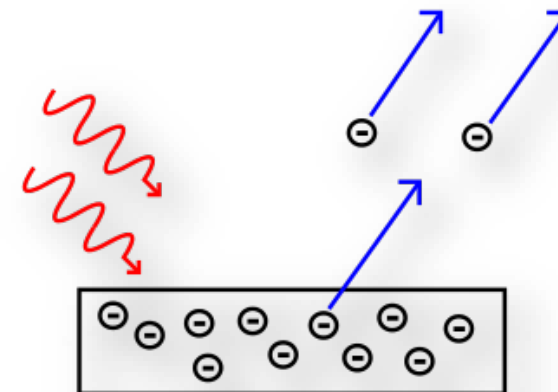
## Che cos'è l'effetto fotoelettrico?

È il fenomeno fisico caratterizzato dall'emissione di elettroni da parte di una superficie, solitamente metallica, quando viene colpita da radiazione elettromagnetica contenente fotoni di determinata lunghezza d'onda.

## Che cos'è l'effetto fotovoltaico?

È il fenomeno fisico che si realizza quando in un materiale semiconduttore un elettrone della banda di valenza, che corrisponde allo stato legato (guscio atomico) più esterno, assorbendo un fotone sufficientemente energetico incidente, passa alla banda di conduzione, ove non è più legato.

Il fenomeno viene utilizzato per la produzione di energia elettrica in celle fotovoltaiche. Esse sono basate sulla capacità dei semiconduttori, opportunamente trattati (drogati), di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica.



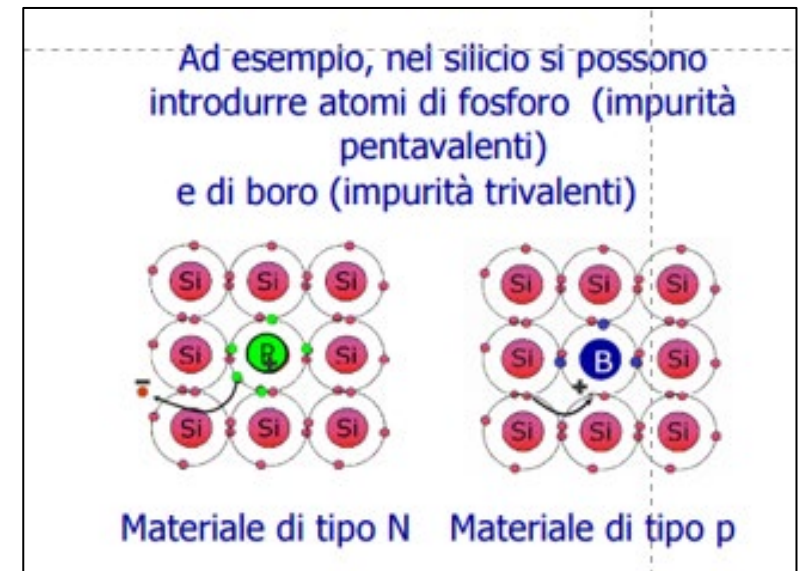
# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Il semiconduttore più diffuso è il Silicio.

Quando un flusso luminoso (radiazione solare) investe un semiconduttore e si verifica la transizione in banda di conduzione di un certo numero di elettroni, si rendono disponibili dei portatori di carica, sfruttabili per generare una corrente.

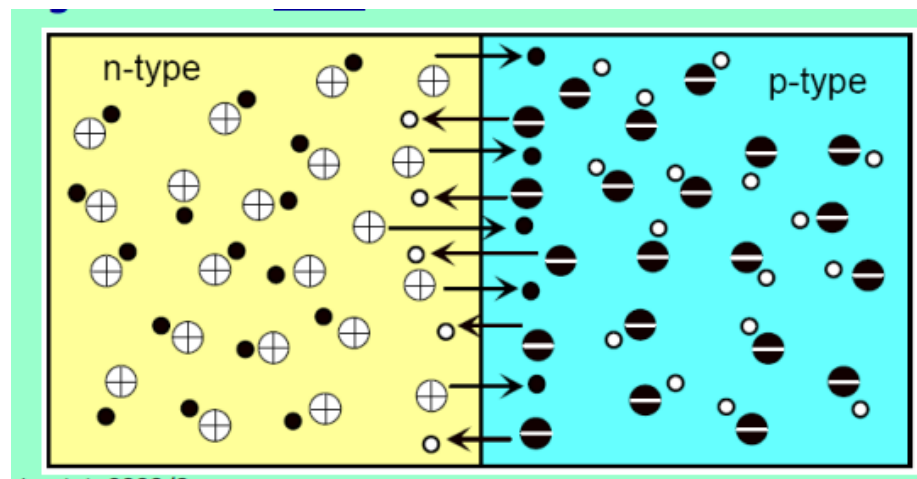
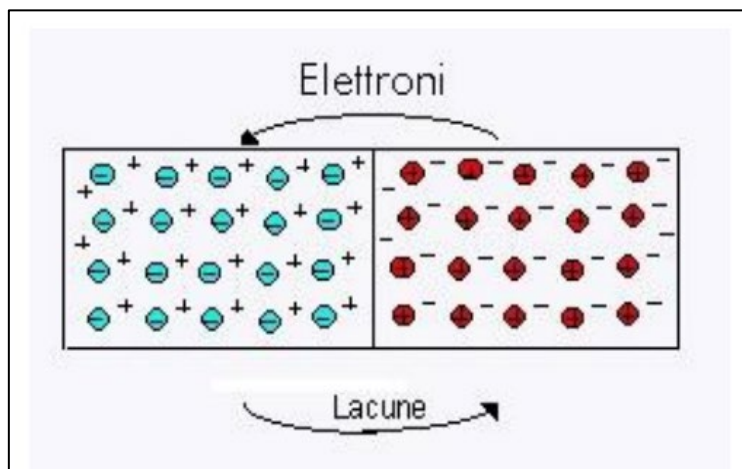
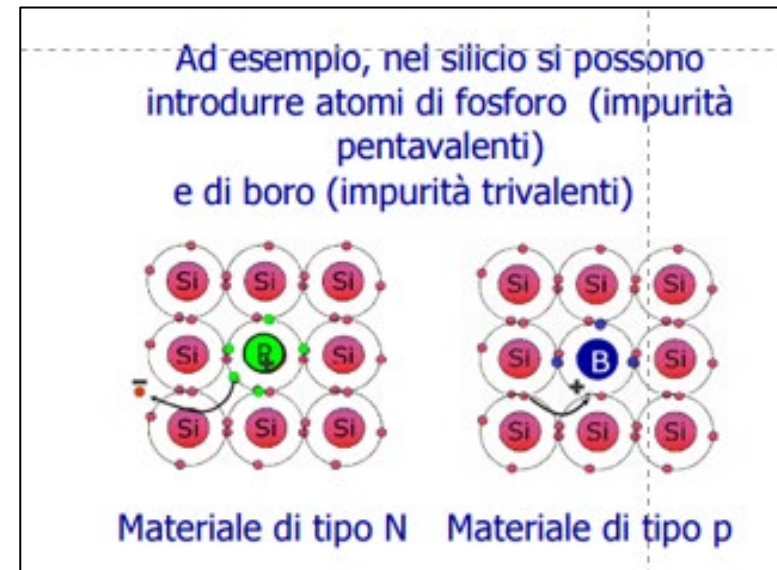
A tal fine è necessario creare un campo elettrico interno, stabilendo eccessi di atomi caricati di segno opposto in parti opposte del materiale.

La creazione di un campo elettrico interno si ottiene mediante **drogaggio del semiconduttore**.



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Mettendo a contatto i due materiali drogati (uno con eccesso di lacune, uno con eccesso di elettroni), gli eccessi di cariche di segno opposto in parti opposte del materiale creano un **campo elettrico**.



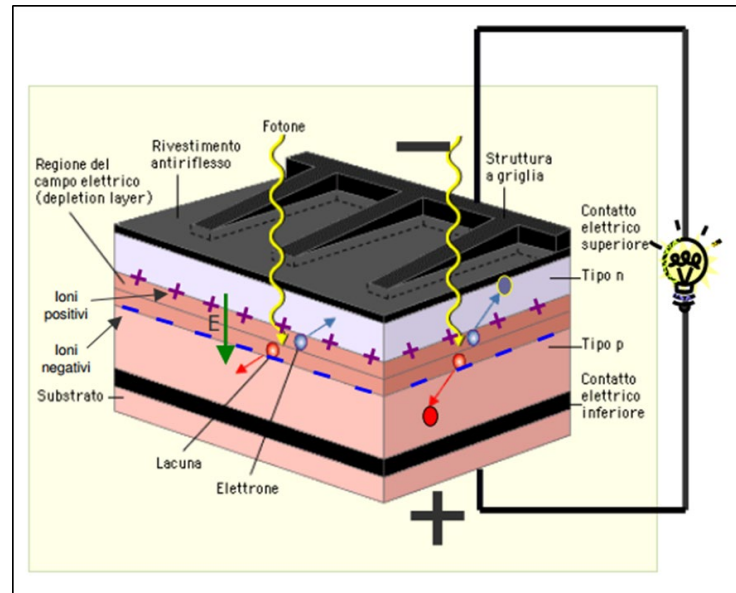
| tipo 'p' |   | tipo 'n' |   |   |   |
|----------|---|----------|---|---|---|
| +        | + | -        | + | - | - |
| +        | + | -        | + | - | - |
| +        | + | -        | + | - | - |

Potenziale elettrico

# PANNELLI FOTOVOLTAICI

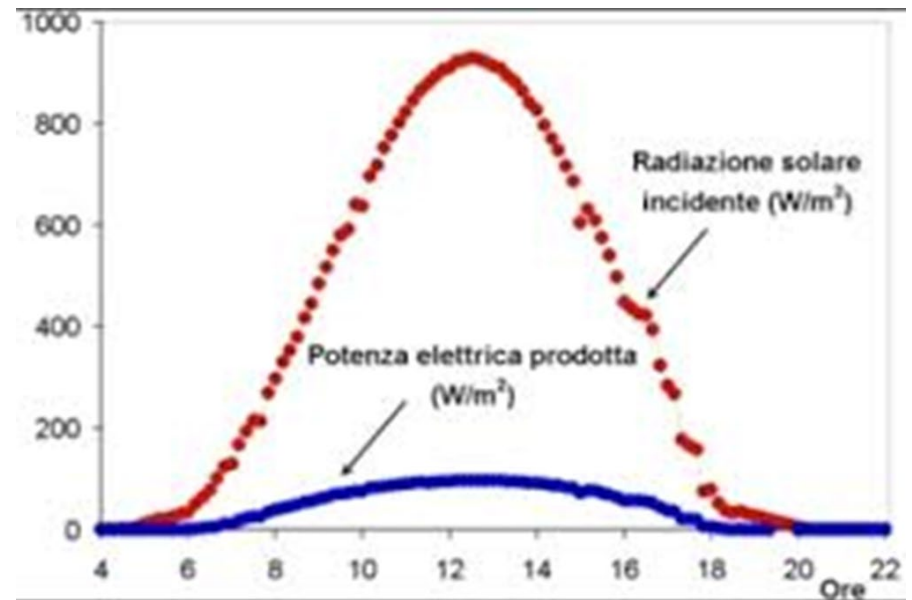
## Come funziona?

La conversione energetica avviene in un dispositivo detto «*cella fotovoltaica*» costituito da un materiale semiconduttore, opportunamente trattato, all'interno del quale si crea un campo elettrico, che orienta le cariche elettriche generate dalla interazione della radiazione solare (fotoni) con la struttura elettronica del materiale semiconduttore, dando origine ad un flusso di corrente elettrica.



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Di tutta l'energia solare che investe la cella però solo una parte viene convertita in energia elettrica → si definisce *efficienza della cella fotovoltaica* il rapporto tra potenza elettrica generata e radiazione solare incidente

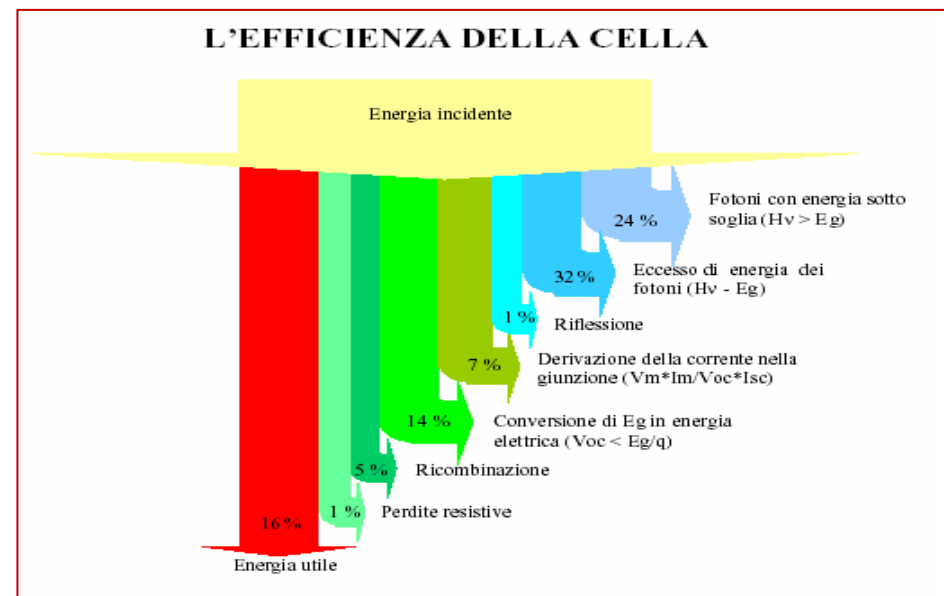




# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Le cause della bassa efficienza delle celle possono essere raggruppate in quattro categorie:

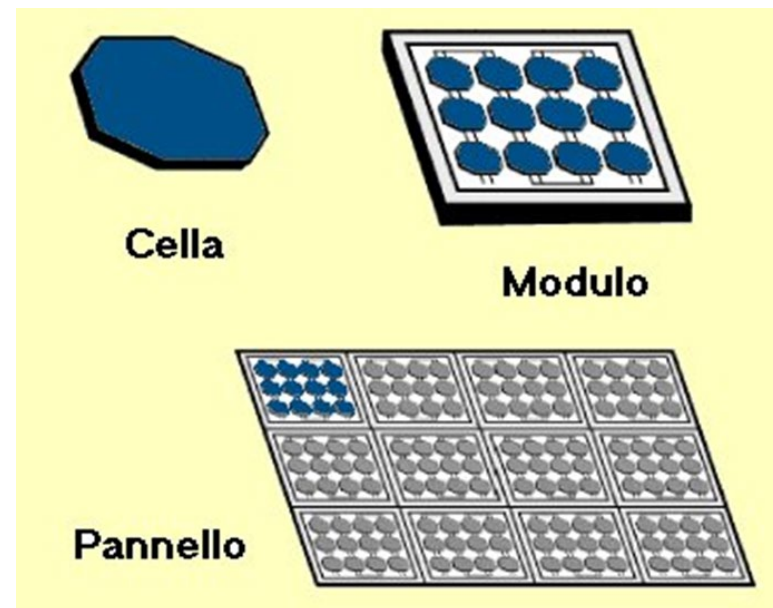
- riflessione: non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno
- fotoni troppo o poco energetici: non tutti i fotoni incidenti possiedono energia sufficiente per rompere il legame tra elettrone e nucleo; i fotoni troppo energetici dissipano invece in calore l'energia eccedente
- ricombinazione: non tutte le coppie elettrone-lacuna generate vengono raccolte dal campo elettrico di giunzione e inviate al carico, ma nel percorso verso la giunzione possono incontrare cariche di segno opposto e ricombinarsi.
- resistenze parassite: le cariche generate e raccolte nella zona di svuotamento sono inviate all'esterno attraverso i contatti metallici posti sul fronte e sul retro della cella.



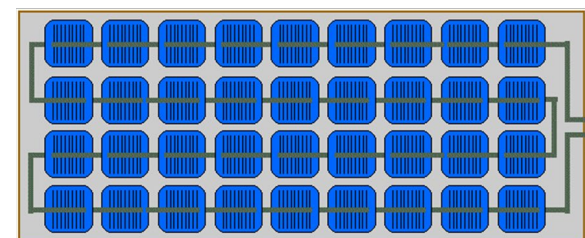
# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Le singole **celle** fotovoltaiche vengono connesse in serie e/o in parallelo, al fine di ottenere una tensione ed una corrente di taglia maggiore, assemblandole in un'unica struttura: il pannello fotovoltaico, costituito da moduli fotovoltaici.

I pannelli possono avere dimensioni diverse e prevedono tipicamente 36, 64 o 72 celle collegate elettricamente in serie.



*Pannello composto da 36 celle collegate in serie*



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

# PANNELLI FOTOVOLTAICI

## Tipologie di pannelli

In funzione della purezza e dell'efficienza dei pannelli, distinguiamo pannelli fotovoltaici:

- In silicio monocristallino;
- In silicio policristallino;
- Amorfi.

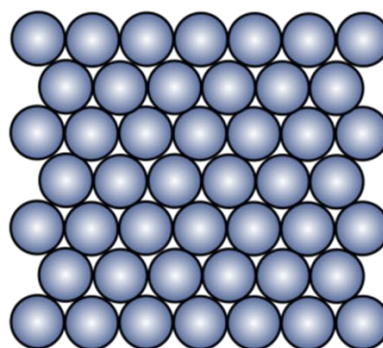
### **Efficienza**

circa 21% per il silicio *monocristallino*

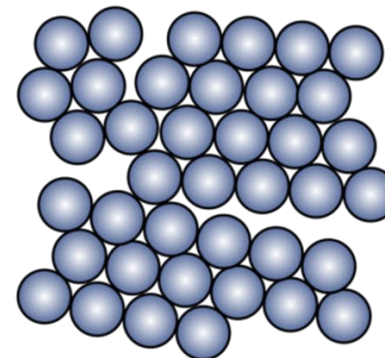
circa 15% per il silicio *policristallino*

circa 6% per il silicio *amorfo*

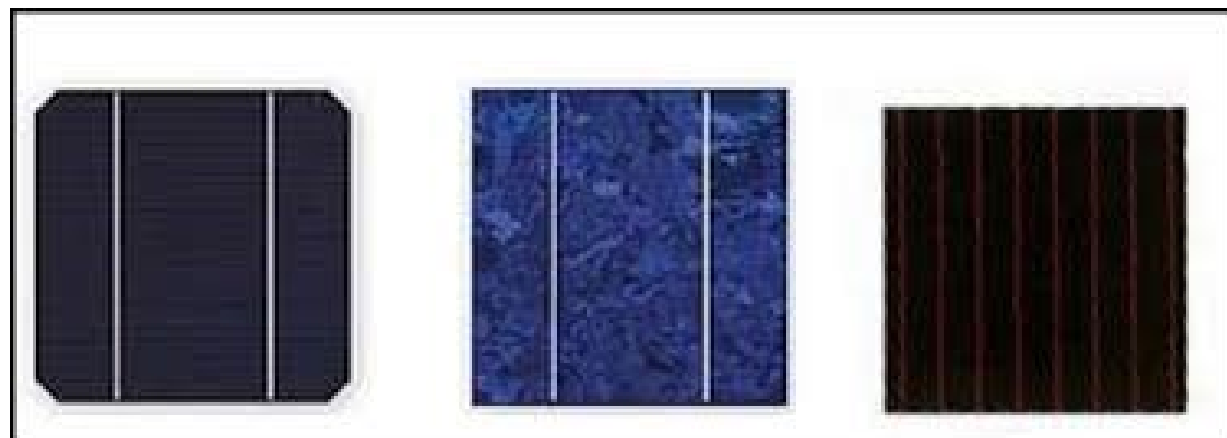
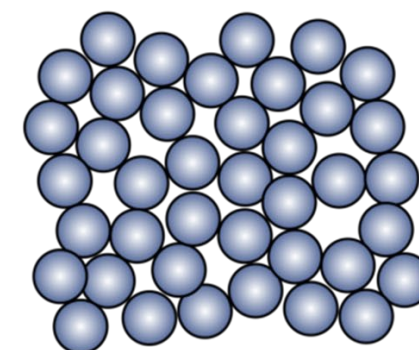
**Monocrystalline**



**Polycrystalline**



**Amorphous**



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

**Monocristallino**



**Policristallino**



**Amorfo**



A parità di produzione, la superficie occupata da pannelli in silicio **amorfo** sarà più che doppia rispetto ad un equivalente campo fotovoltaico in silicio **policristallino** e più che tripla rispetto ad un campo in silicio **monocristallino**

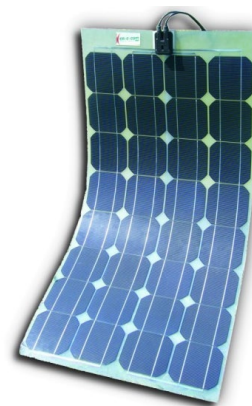
# PANNELLI FOTOVOLTAICI

## Generazioni di FV

A seconda della tipologia di pannello, si possono distinguere quelli di prima generazione, che hanno struttura cristallina e sono realizzati su supporti rigidi; e quelli di seconda generazione, realizzati attraverso deposizione uniforme di piccolissime quantità di semiconduttore in un film sottile spesso 1-2 micron su lamine di sostegno (vetro, metallo, plastica).



Prima generazione



Seconda generazione



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Oltre al silicio ci sono altri diversi tipi di materiale che possono essere impiegati, molti dei quali però ancora in fase di sperimentazione.

Per quanto riguarda la capacità di catturare la radiazione solare, gli impianti fotovoltaici possono essere fissi o ad inseguimento solare (necessario per i sistemi a concentrazione).

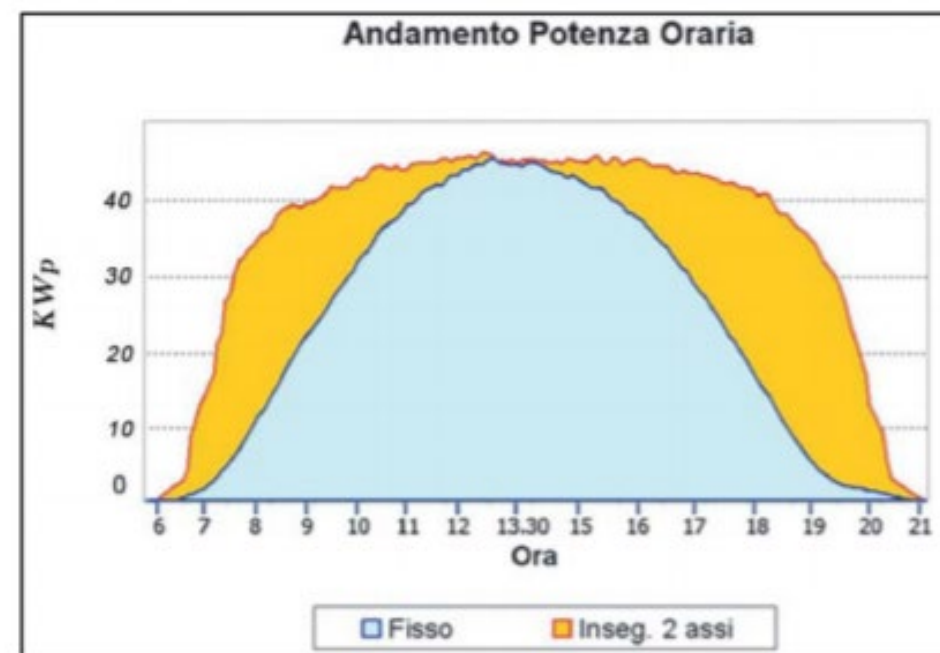
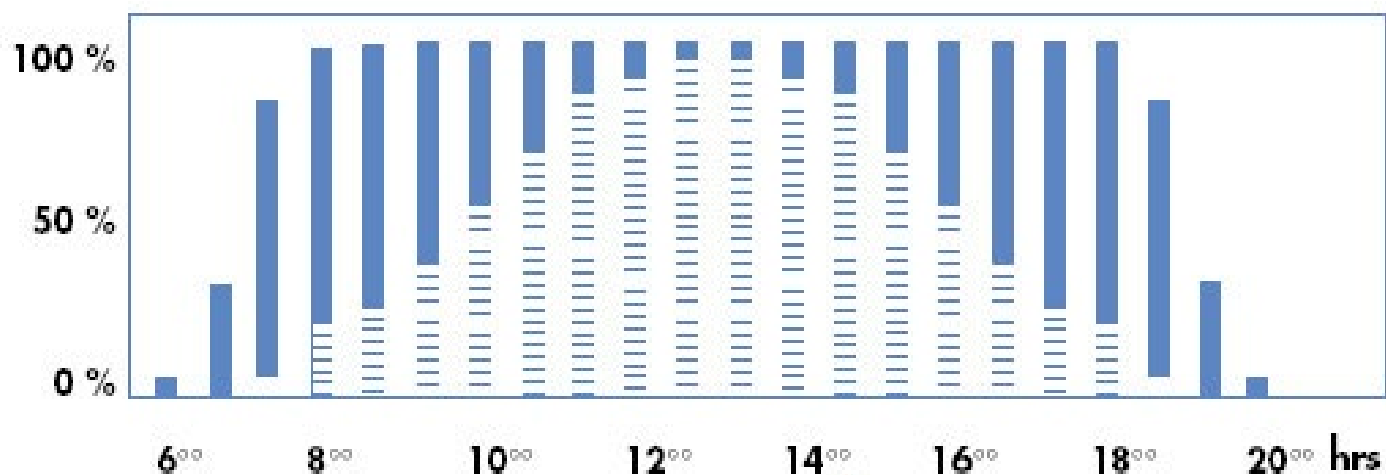


Questi ultimi vengono montati su inseguitori mono o bi-assiali, inseguendo l'angolo dell'azimut o di tilt.



# PANNELLI FOTOVOLTAICI

Per l'impianto ad inseguimento la resa è maggiore del 35-40%.

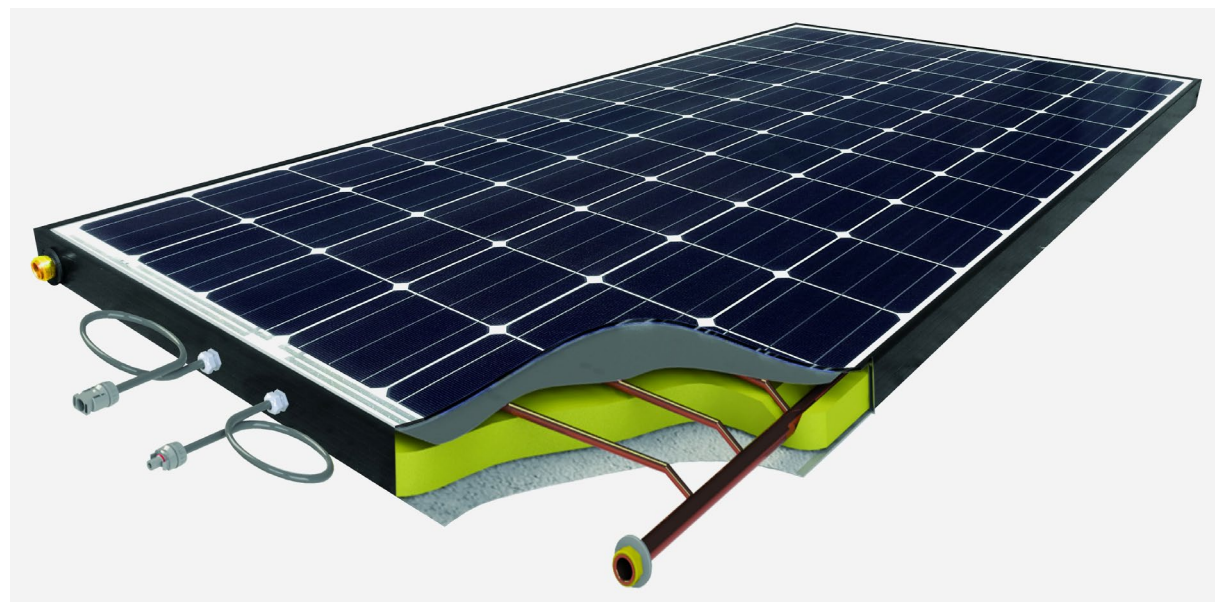


Confronto tra la produzione giornaliera di un impianto fisso (azzurro) ed uno ad inseguimento (arancio) di pari potenza



# PANNELLI FOTOVOLTAICI TERMICI

I pannelli fotovoltaici termici (PVT) coniugano in un unico sistema produzione di elettricità e calore: le celle fotovoltaiche generano elettricità ed una serpentina posta sotto il pannello raccoglie energia termica per utilizzarla per l'acqua calda sanitaria ed il riscaldamento.



Dell'energia irradiata dal sole solo il 20% circa viene infatti convertita in elettricità, circa il 60% viene dissipato in calore, sfruttabile per la produzione di acqua calda sanitaria. **VANTAGGIO:** raffreddando i pannelli FV ne aumentano l'efficienza.

# PANNELLI FOTOVOLTAICI

## Caratteristiche di un pannello FV

Un pannello FV è identificato per mezzo della sua potenza di picco  $P$  ( $W_p$ ), erogata in condizioni standard (ossia in presenza di un irraggiamento di  $1 \text{ kW/m}^2$ ; una temperatura dell'aria di  $25^\circ\text{C}$ ; una massa d'aria pari a  $1,5$ ).

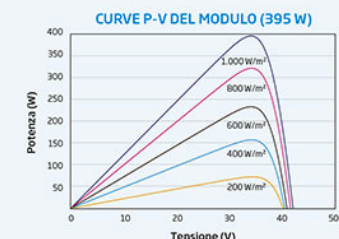
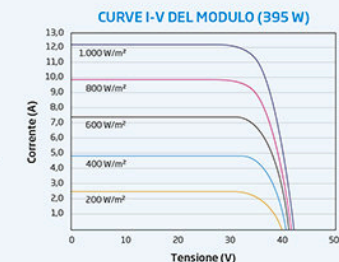
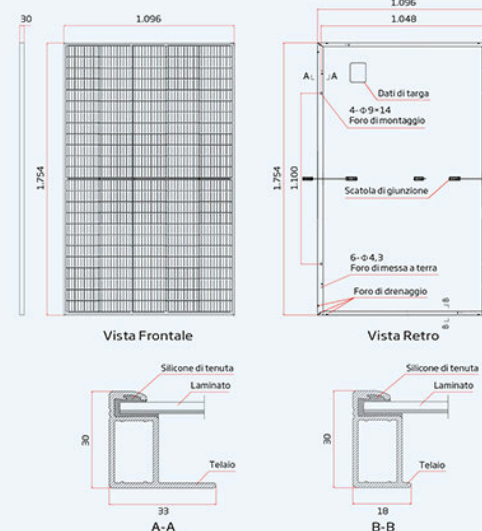
Ogni pannello è caratterizzato inoltre da una sua corrente nominale  $I$  (A), erogata nel punto di lavoro, e da una tensione nominale di lavoro  $V$  (V).

La potenza è proporzionale alla radiazione incidente.

Vertex S



### DIMENSIONI DEL MODULO (mm)



| DATI ELETTRICI (STC)                      | TSM-390<br>DE09.08 | TSM-395<br>DE09.08 | TSM-400<br>DE09.08 | TSM-405<br>DE09.08 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Potenza di picco max $W_{pmax}$ (Wp)*     | 390                | 395                | 400                | 405                |
| Tolleranza di potenza- $P_{max}$ (W)      | 0/+5               | 0/+5               | 0/+5               | 0/+5               |
| Tensione di massima potenza- $U_{mp}$ (V) | 33,8               | 34,0               | 34,2               | 34,4               |
| Corrente di massima potenza- $I_{mp}$ (A) | 11,54              | 11,62              | 11,70              | 11,77              |
| Tensione di circuito aperto- $U_{oc}$ (V) | 40,8               | 41,0               | 41,2               | 41,4               |
| Corrente di corto circuito- $I_{sc}$ (A)  | 12,14              | 12,21              | 12,28              | 12,34              |
| Efficienza del modulo $\eta_m$ (%)        | 20,3               | 20,5               | 20,8               | 21,1               |

STC: irraggiamento  $1000 \text{ W/m}^2$ ; Temperatura della cella  $25^\circ\text{C}$ ; Indice di massa d'aria A.M.S.L. \*Tolleranza misurata:  $\pm 3\%$

| DATI ELETTRICI (NOCT)                     | TSM-390<br>DE09.08 | TSM-395<br>DE09.08 | TSM-400<br>DE09.08 | TSM-405<br>DE09.08 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Potenza massima- $P_{max}$ (Wp)           | 295                | 298                | 302                | 306                |
| Tensione di massima potenza- $U_{mp}$ (V) | 31,8               | 32,0               | 32,2               | 32,5               |
| Corrente di massima potenza- $I_{mp}$ (A) | 9,26               | 9,32               | 9,38               | 9,41               |
| Tensione di circuito aperto- $U_{oc}$ (V) | 38,4               | 38,6               | 38,8               | 38,9               |
| Corrente di corto circuito- $I_{sc}$ (A)  | 9,78               | 9,84               | 9,90               | 9,95               |

NOCT: irraggiamento a  $800 \text{ W/m}^2$ ; Temperatura ambiente di  $20^\circ\text{C}$ ; Velocità del vento  $1 \text{ m/s}$ .

| DATI MECCANICI         |   |
|------------------------|---|
| Celle solari           | In silicio monocristallino  |
| N° di celle            | 120 celle   |
| Dimensioni del modulo  | $1754 \times 1096 \times 30 \text{ mm}$   |
| Peso                   | $21,0 \text{ kg}$   |
| Vetro                  | $3,2 \text{ mm}$ , AR rivestito e vetro solare temperato a elevata trasparenza  |
| Materiale incapsulante | EVA/PDE   |
| Backsheet              | Bianco  |
| Telaio                 | Legna di alluminio anodizzato da $30 \text{ mm}$  |
| Scatola di giunzione   | IP 68   |
| Cavi                   | Cavi unipolari resistenti ai raggi UV da $4,0 \text{ mm}^2$<br>Horizontale: $1100/1100 \text{ mm}$<br>Verticale: $280/280 \text{ mm}^*$ |
| Connettore             | TS4/MC4 EV02*   |

\*Solo per ordini non-standard

| VALORI DI TEMPERATURA                                   | VALORI MASSIMI                           |
|---|--|
| NOCT (Temperatura di funzionamento normale della cella) | $43^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$ |
| Coefficiente di temperatura di $P_{max}$                | $-0,34 \text{ \%}/^\circ\text{K}$        |
| Coefficiente di temperatura di $U_{oc}$                 | $-0,25 \text{ \%}/^\circ\text{K}$        |
| Coefficiente di temperatura di $I_{sc}$                 | $0,04 \text{ \%}/^\circ\text{K}$         |
| Temperatura di esercizio                                | $-40 \text{ a } +85^\circ\text{C}$       |
| Tensione massima di sistema                             | $1500 \text{ V DC (IEC)}$                |
| Amperaggio massimo dei fusibili di serie                | $20 \text{ A}$                           |

| GARANZIA  | CARATTERISTICHE IMBALLAGGIO |
|---|-----------------------------|
| 15 anni di garanzia di fabbricazione del prodotto | Moduli per pallet           |
| 25 anni garanzia di potenza                       | 36 pz                       |
| 2% deterioramento max. del 1° anno                | Moduli per container 40'    |
| 0,55% deterioramento annuo della potenza          | 936 pz                      |

(Per ulteriori dettagli, prega fare riferimento alla garanzia e tecnica applicabili)

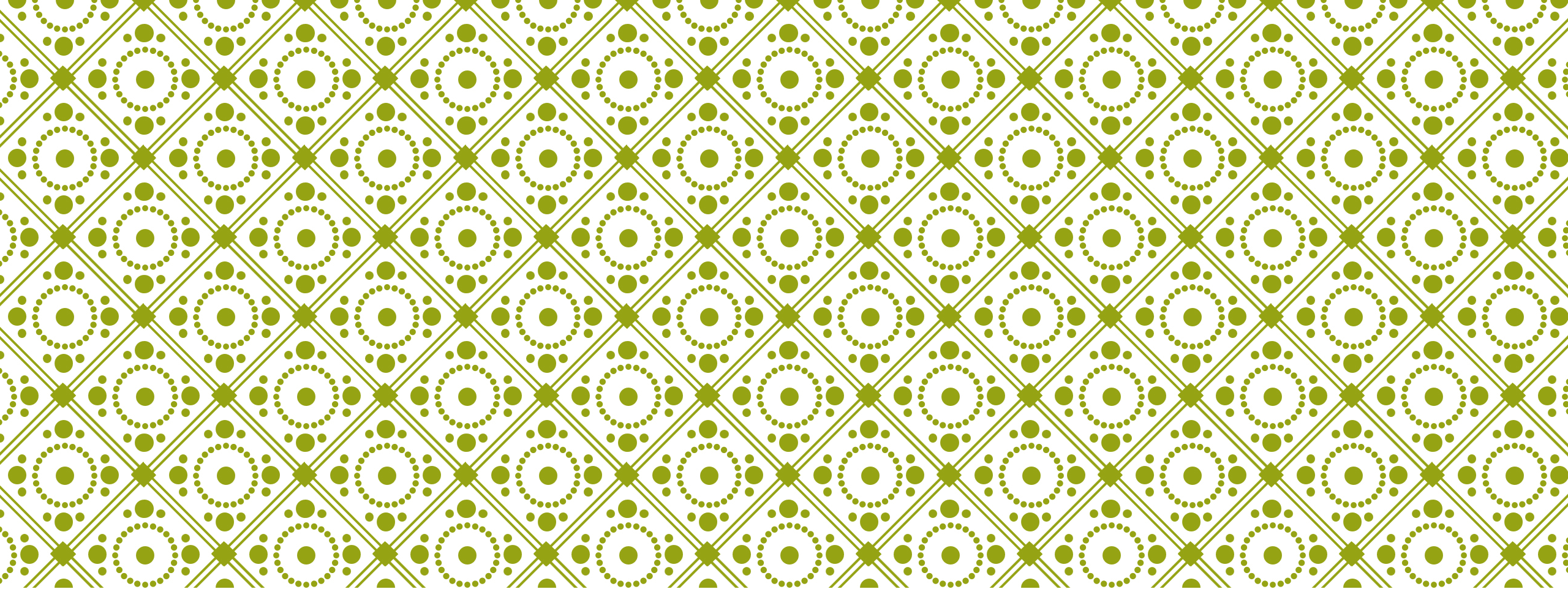
Utopia S.r.l.  
Via A. Volta 40 31020 Villorba (TV)  
VAT: 03909540266

Phone: +39 0422 608167  
Mail: info@utopia.solar  
Web: www.utopia.solar

# PANNELLI FOTOVOLTAICI

## Manutenzione di un pannello FV



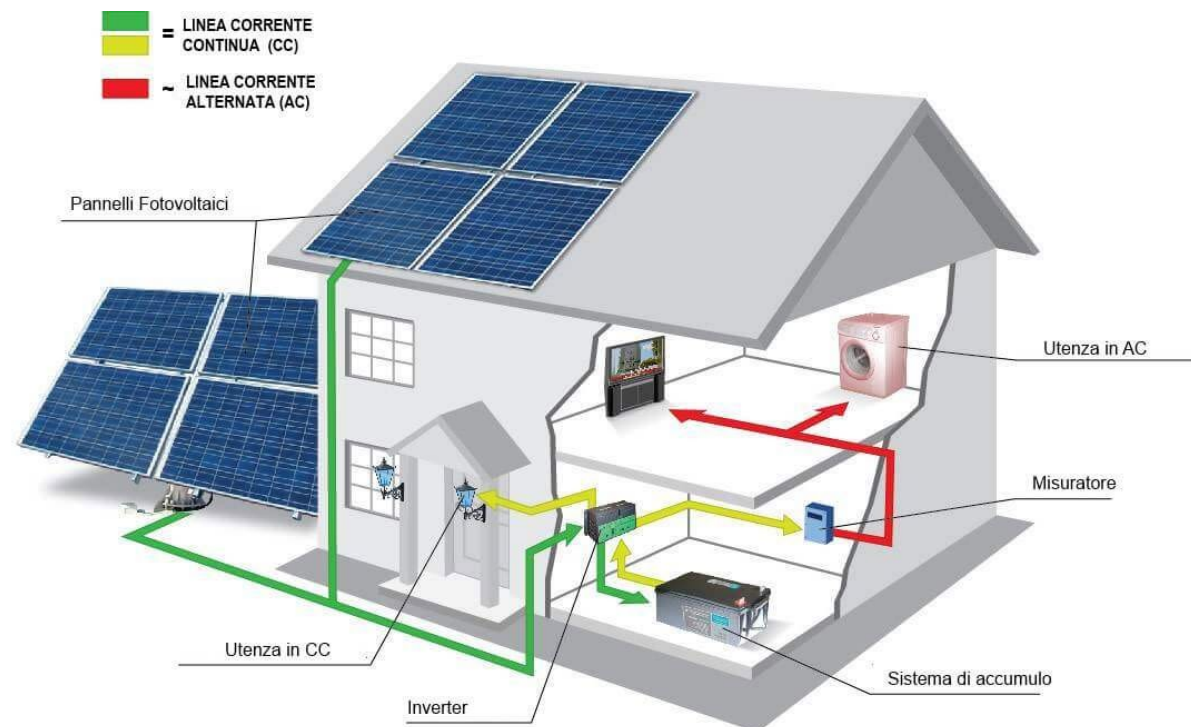


# IMPIANTI FOTOVOLTAICI



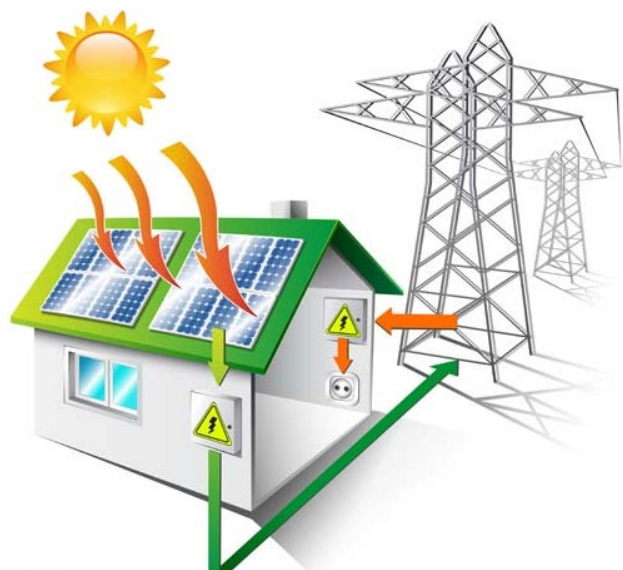
# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Un impianto fotovoltaico è un insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici che concorrono a captare e trasformare l'energia solare rendendola utilizzabile sotto forma di energia elettrica.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

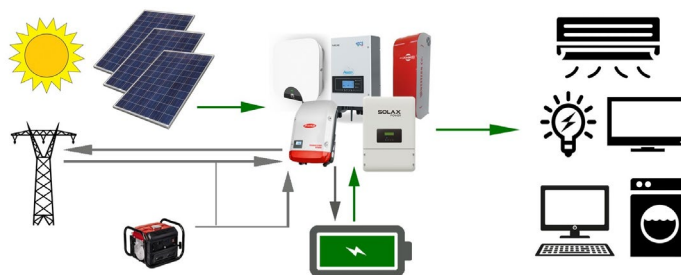
## Impianti Grid-Connected



## Impianti Stand-Alone

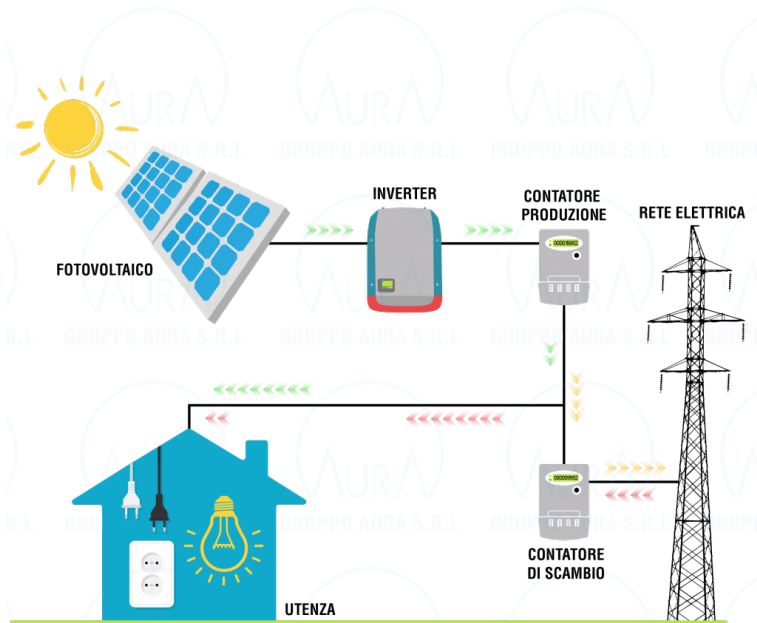


## Impianti Storage On Grid



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Negli impianti grid-connected, la rete elettrica funge da serbatoio ad accumulo infinito. L'utente cede alla rete/vende l'energia prodotta in eccesso nei periodi di esubero di produzione e la acquista/preleva nei periodi di assenza (ore notturne).

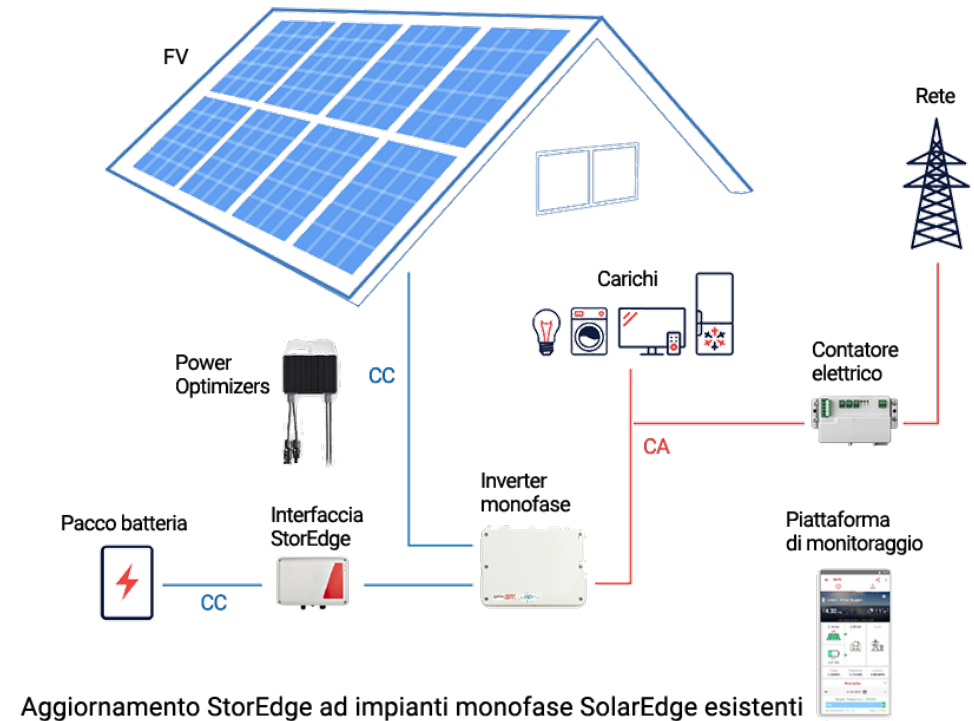


Negli impianti stand-alone l'impianto viene invece sovradimensionato per garantire l'autosufficienza energetica, anche mediante idonei sistemi di accumulo. In questo caso non vi è scambio di energia con la rete, ma si sfrutterà solo quella autoconsumata.

# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Negli impianti *storage on grid*, al collegamento con la rete elettrica si affianca un sistema di batterie, di minore capacità rispetto a quelle utilizzate dai sistemi stand alone, per cui la rete serve essenzialmente per coprire i picchi di consumo.

Tale configurazione consente di ridurre il costo elevato delle batterie dei sistemi a isola, che sarebbero utilizzate solo parzialmente in alcuni mesi dell'anno.



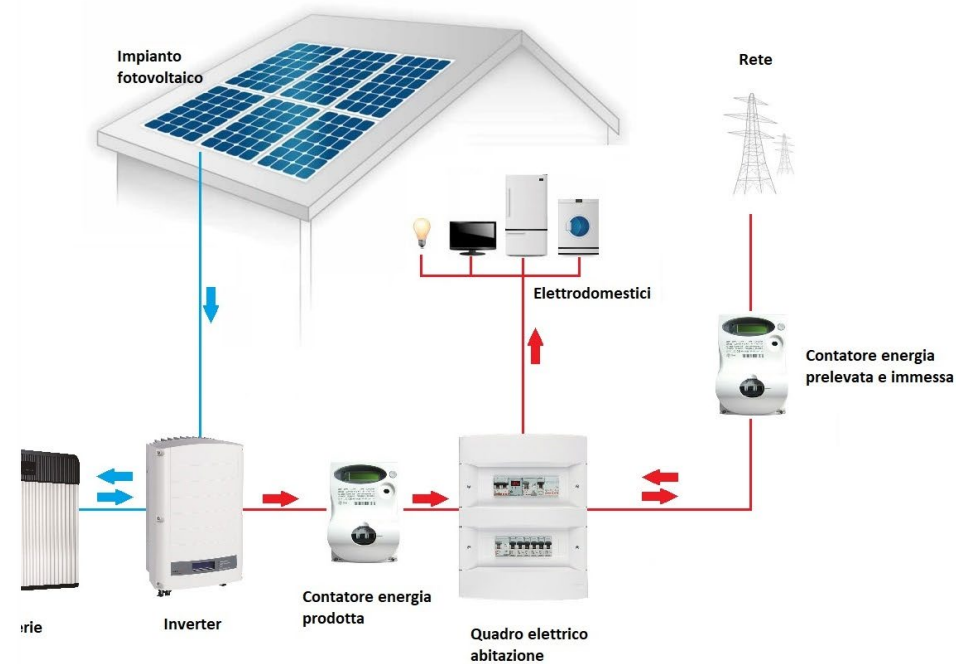
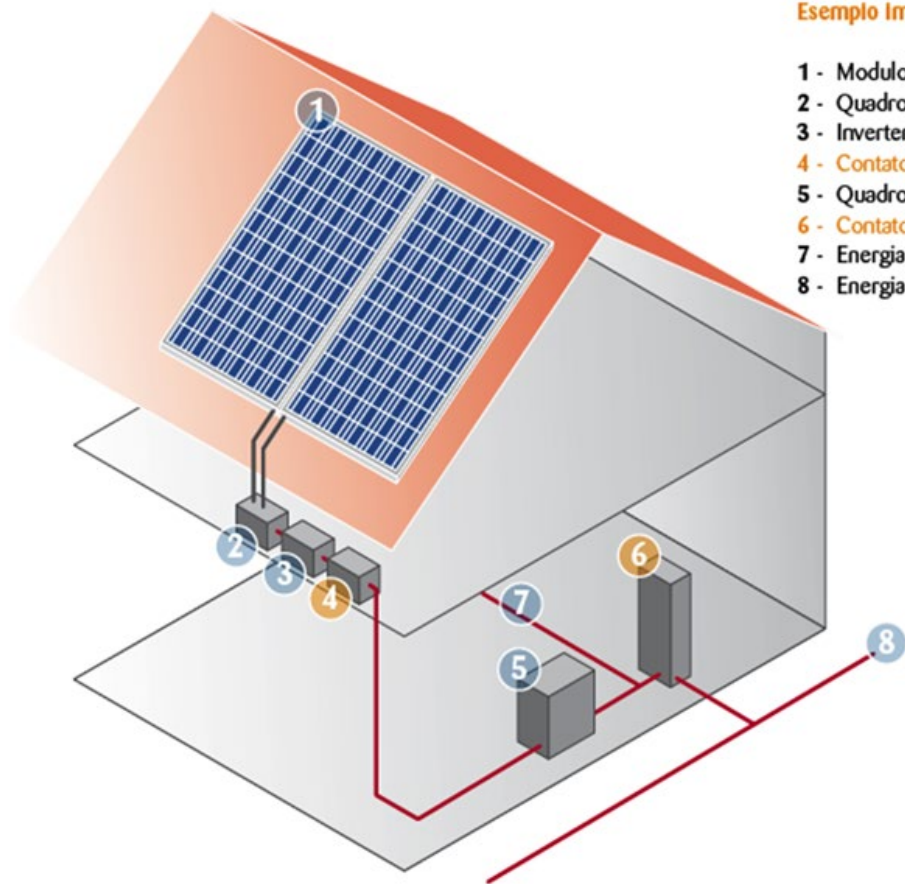


# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Quali sono i componenti degli impianti fotovoltaici?

Esempio Impianto grid-connected.

- 1 - Modulo fotovoltaico policristallino.
- 2 - Quadro di campo (CC).
- 3 - Inverter.
- 4 - Contatore energia prodotta.
- 5 - Quadro di consegna (CA).
- 6 - Contatore bidirezionale energia.
- 7 - Energia all'utenza.
- 8 - Energia alla rete elettrica nazionale.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI



*Quali sono i componenti degli impianti fotovoltaici?*

- **INVERTER**: converte la corrente continua prodotta dai moduli in corrente alternata, per renderla disponibile all'utenza o immetterla in rete
- **MODULI FOTOVOLTAICI**
- Contatore dell'energia prodotta dal generatore FV
- Contatore di energia bidirezionale scambiata con la rete elettrica
- Dispositivo di interfaccia con la rete elettrica (assicura che la forma d'onda dell'energia elettrica immessa abbia le caratteristiche richieste dal fornitore locale)
- Eventuali batterie

Solo per  
impianti  
Grid  
Connected  
o Storage  
on Grid

# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Alcuni inverter estendono la loro funzione base mediante sistemi di controllo software e hardware che consentono di estrarre dai pannelli FV la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione meteorologica: gli MPPT, *Maximum Power Point Tracker*.

I moduli fotovoltaici hanno infatti una curva caratteristica V/I tale che esiste un punto di lavoro ottimale, il Maximum Power Point, nel quale è possibile estrarre la massima potenza disponibile.

Questo punto varia continuamente in funzione del livello di radiazione solare che colpisce la superficie delle celle: è evidente che un inverter in grado di restare "agganciato" a questo punto, otterrà sempre la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione.

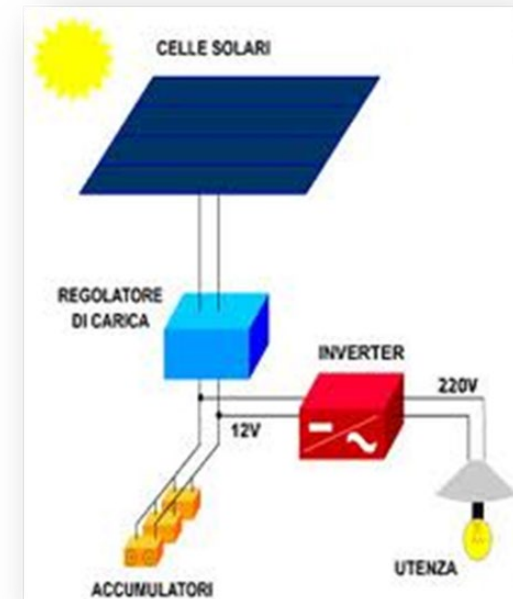


# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

*Quali sono i componenti degli impianti fotovoltaici?*

- **INVERTER**: converte la corrente continua prodotta dai moduli in corrente alternata, per renderla disponibile all'utenza o immetterla in rete
  - **MODULI FOTOVOLTAICI**
  - Regolatore di carica
  - Sistema di accumulo (batterie)
- } Solo per impianti  
*Stand Alone*

Il regolatore di carica preserva l'accumulatore da un eccesso di carica ad opera del generatore fotovoltaico e da un eccesso di scarica dovuto all'utilizzazione, condizioni entrambe nocive per la corretta funzionalità e la durata degli accumulatori.

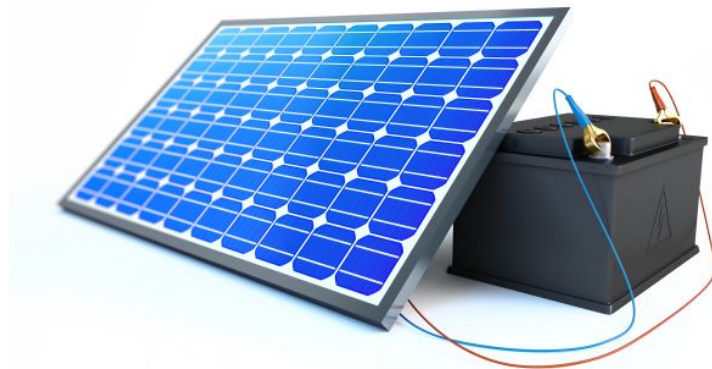


# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Negli impianti stand-alone il carico viene alimentato, attraverso il regolatore di carica, dal generatore o dal sistema di accumulo, in funzione della produzione.

Il campo FV va quindi dimensionato in modo tale da permettere, durante le ore di insolazione, sia l'alimentazione del carico che la ricarica delle batterie.

I sistemi di stoccaggio, possono essere classificati in meccanici, elettrici, chimici, biologici e termici.



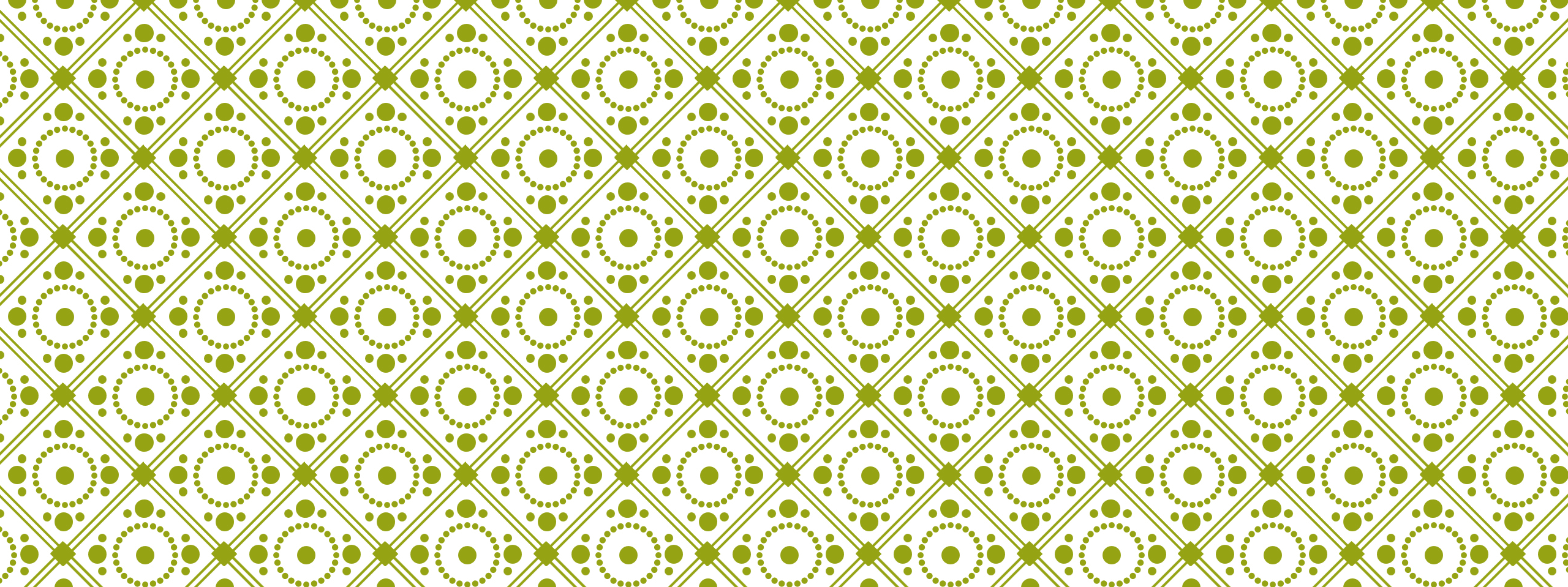
# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Le batterie appartengono ai sistemi di tipo elettrochimico. Esse devono avere:

- basso valore di autoscarica
- lunga vita stimata
- manutenzione quasi nulla
- elevato numero di cicli di carica-scarica

Hanno tuttavia piccola capacità e costi elevati.





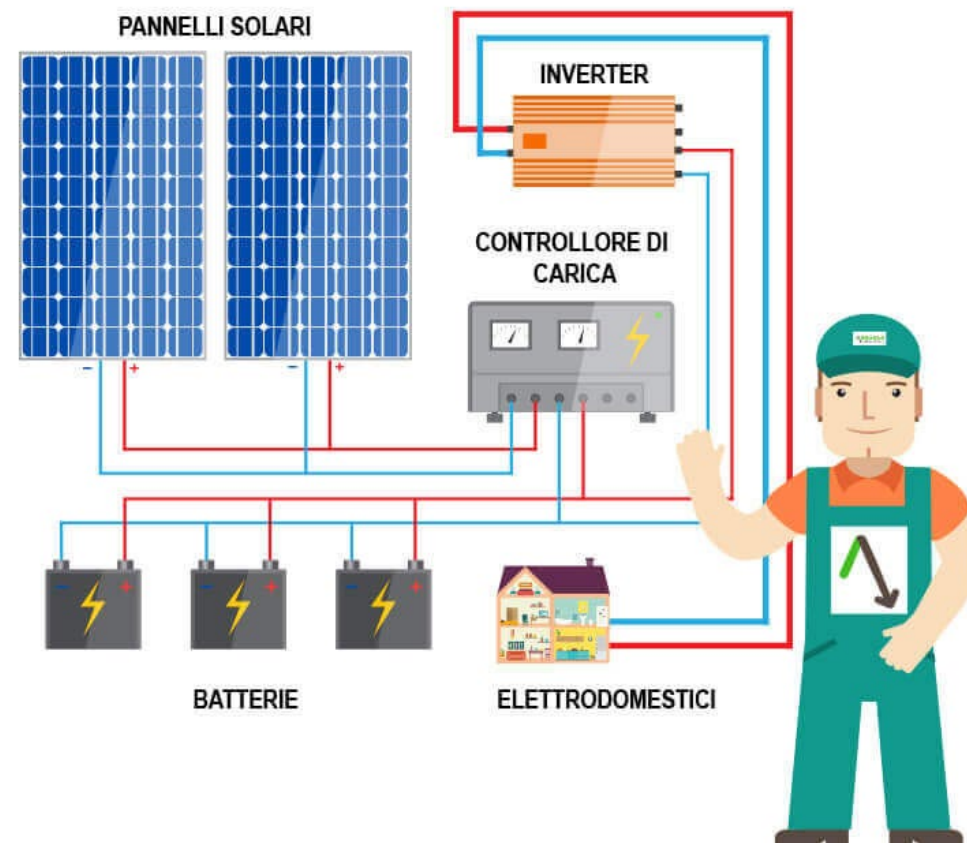
# **DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO**



# DIMENSIONAMENTO IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Il generatore dovrà essere dimensionato – ossia va determinata la sua potenza di picco - sulla base dei seguenti fattori:

- latitudine ed irraggiamento medio annuo del sito
- carico elettrico
- possibilità di collegamento alla rete elettrica
- superfici disponibili dell'edificio





# DIMENSIONAMENTO IMPIANTI FOTOVOLTAICI

1) Verifica dell'idoneità del sito

2) Determinazione della radiazione solare nel sito

3) Scelta dell'inclinazione dei moduli (ove possibile)

4) Determinazione del fabbisogno annuo di energia

5) Calcolo della potenza di picco del generatore

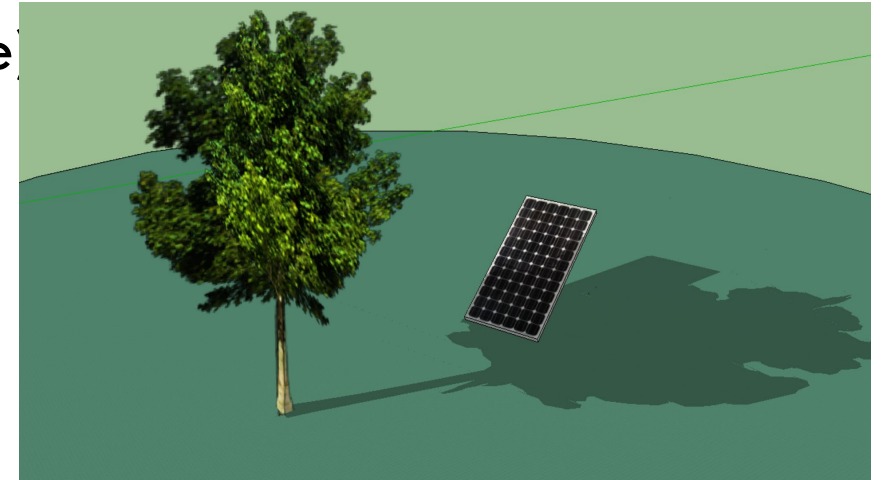
6) Valutazione dell'efficienza dell'impianto

7) Determinazione della potenza dell'inverter

8) Dimensionamento dell'eventuale sistema di accumulo

# 1) VERIFICA IDONEITÀ DEL SITO

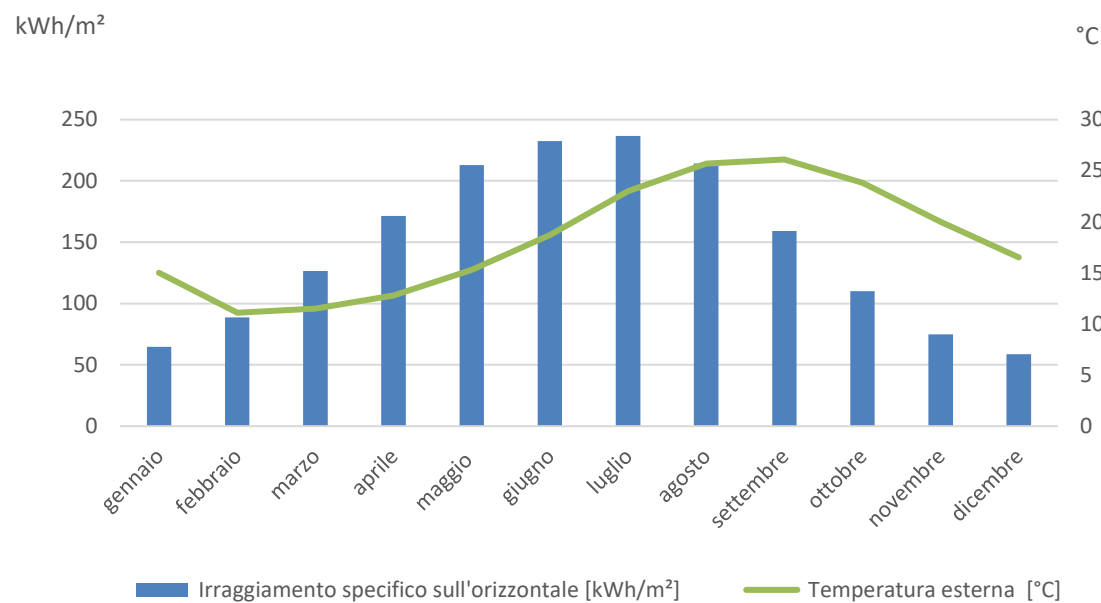
- Presenza di ombre (vegetazione, costruzioni, alture)
- Nebbie o foschie mattutine
- Nevosità
- Ventosità



Queste informazioni determinano il collocamento del generatore fotovoltaico, la sua esposizione rispetto al Sud e l'inclinazione sul piano orizzontale.

## 2) DETERMINAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE NEL SITO

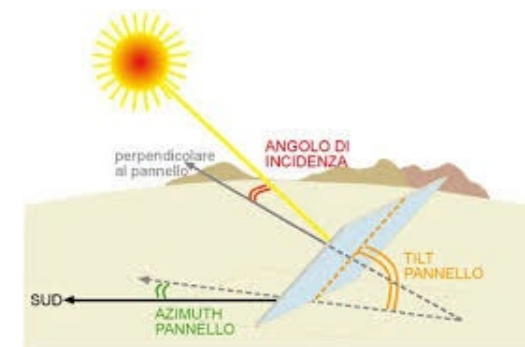
L'energia prodotta da un modulo è linearmente proporzionale alla radiazione solare incidente sulla sua superficie.



In funzione della latitudine e della longitudine del sito, dalla norma UNI 10349 si ricavano i valori medi mensili della radiazione solare *su una superficie orizzontale*.

<http://www.solaritaly.enea.it/Calcolatore/Calcola1.php>

### 3) SCELTA DELL'INCLINAZIONE DEI MODULI

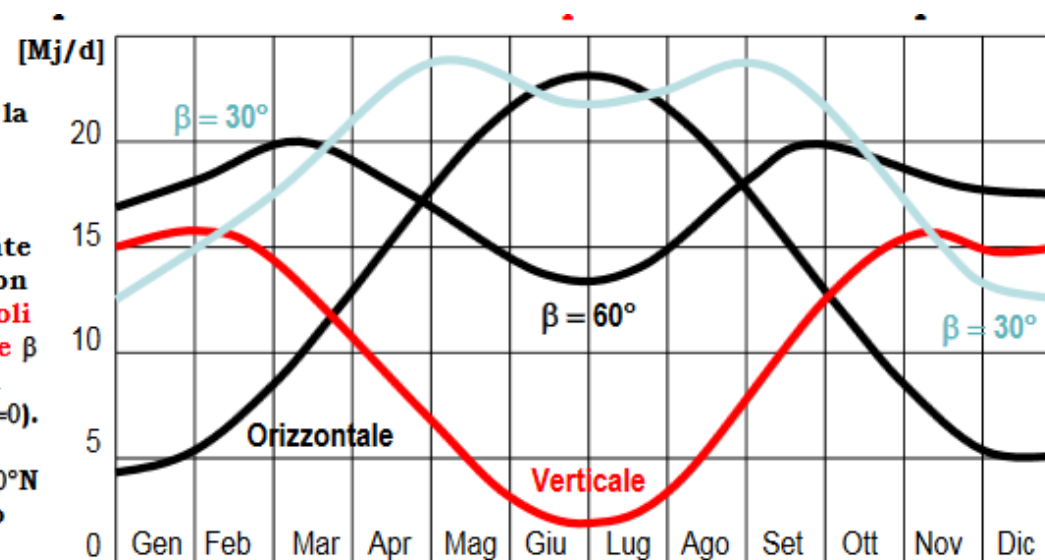


La massima captazione di energia si ha quando la radiazione incide perpendicolarmente ai pannelli.

L'orientamento ottimale dei pannelli FV è verso sud/ sud-ovest, con un'inclinazione tra i  $25^\circ$  e i  $35^\circ$ , evitando il più possibile gli ombreggiamenti.

A seconda del periodo dell'anno, però, l'inclinazione può variare: durante i mesi invernali, i pannelli dovranno avere un'inclinazione di circa  $60^\circ$ , mentre nei mesi estivi, sarà circa di  $20^\circ$ .

Confronto fra la radiazione solare giornaliera media incidente su superfici con differenti angoli di inclinazione  $\beta$  ed orientate a Sud (azimut  $\gamma=0$ ). Località con latitudine  $\phi=40^\circ\text{N}$  (Nuoro) e cielo sereno





### 3) SCELTA DELL'INCLINAZIONE DEI MODULI

Per tenere conto dell'inclinazione dei moduli si utilizza un fattore correttivo della radiazione solare incidente.

**ESEMPIO:** Per Reggio Calabria (inclinazione  $28^\circ$ ) i dati più prossimi sono: inclinazione  $30^\circ$  e orientamento  $0^\circ$  (Sud), cui corrisponde un coefficiente di maggiorazione pari a 1.11

**Inclinazione ottimale =  $3,7 + (0,69 \times \text{Latitudine})$**

Es. Milano ha una latitudine di  $41,89^\circ$ .

Inclinazione =  $3,7 + (0,69 \times 41,89) = 32,6^\circ$

Es. Palermo: latitudine  $38^\circ$ .

Inclinazione =  $3,7 + (0,69 \times 38) = 30^\circ$

| INCLINAZIONE | ORIENTAMENTO       |                |                |                |                                |
|--------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
|              | $0^\circ$<br>(sud) | $\pm 15^\circ$ | $\pm 30^\circ$ | $\pm 45^\circ$ | $\pm 90^\circ$<br>(est, ovest) |
| $0^\circ$    | 1,00               | 1,00           | 1,00           | 1,00           | 1,00                           |
| $10^\circ$   | 1,06               | 1,06           | 1,05           | 1,04           | 0,99                           |
| $15^\circ$   | 1,08               | 1,08           | 1,07           | 1,05           | 0,97                           |
| $20^\circ$   | 1,10               | 1,09           | 1,08           | 1,06           | 0,96                           |
| $30^\circ$   | 1,11               | 1,10           | 1,08           | 1,06           | 0,92                           |
| $40^\circ$   | 1,10               | 1,09           | 1,07           | 1,03           | 0,87                           |
| $50^\circ$   | 1,06               | 1,05           | 1,03           | 0,99           | 0,82                           |
| $60^\circ$   | 0,99               | 0,99           | 0,96           | 0,93           | 0,75                           |
| $70^\circ$   | 0,91               | 0,91           | 0,88           | 0,86           | 0,69                           |
| $90^\circ$   | 0,68               | 0,68           | 0,68           | 0,67           | 0,55                           |

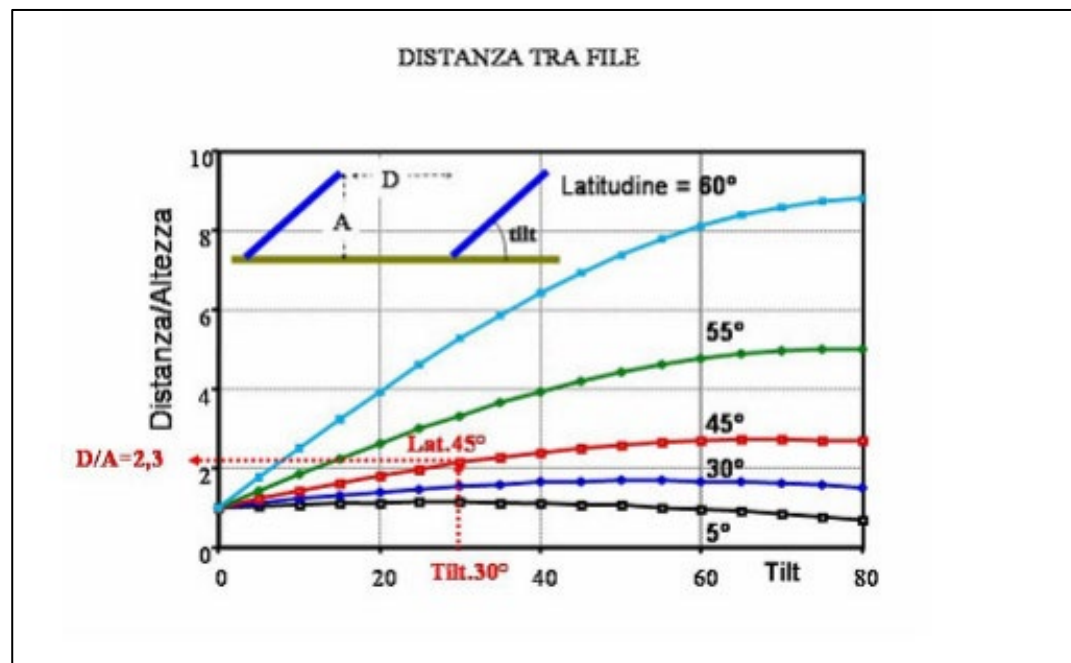
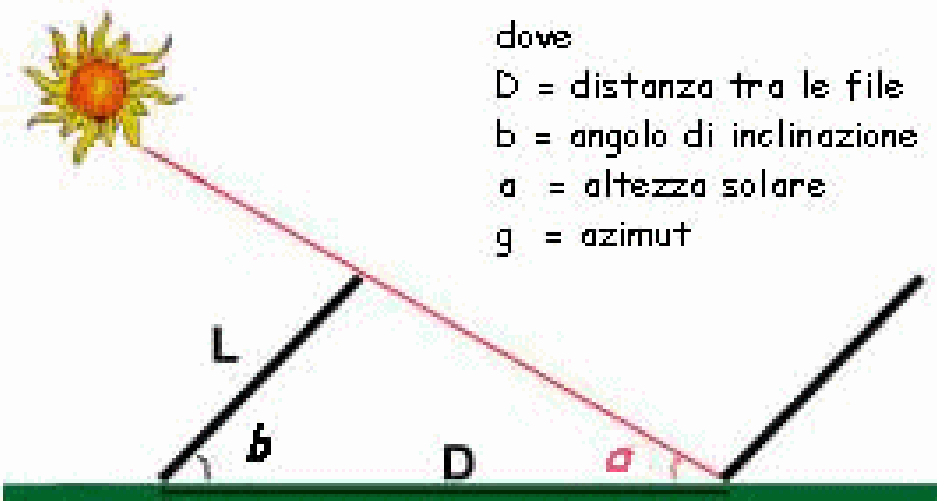
# 3) SCELTA DELL'INCLINAZIONE DEI MODULI

## Distanza tra le file

Nel caso di installazione su tetto piano, le file di pannelli devono essere installate ad una certa distanza l'una dall'altra per evitare ombreggiamenti, anche nelle condizioni peggiori (*worst case*), ossia nel solstizio invernale, un'ora dopo l'alba (quando il sole è basso sull'orizzonte e l'ombra proiettata è maggiore).

$$D = L \cos(b) + (L \sin(b) \cos(g) / \tan(a))$$

dove  
D = distanza tra le file  
b = angolo di inclinazione  
a = altezza solare  
g = azimut



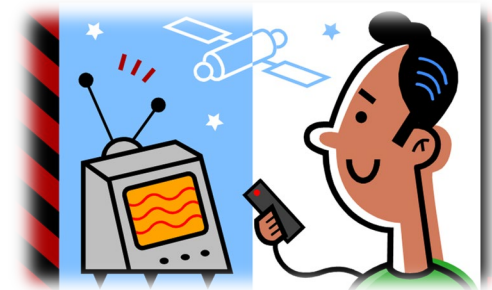
## 4) DETERMINAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO ANNUO

I consumi delle utenze da alimentare vanno considerati in termini di energia richiesta giornalmente, per determinare quella totale annua.

### Energia = Potenza x Tempo di utilizzo

2 Lampade (15 W cad.) da alimentare per 5 h/giorno

1 TV color (60 W) da alimentare per 3 h/giorno



### Energia giornaliera totale necessaria

$2 \times 15W \times 5 \text{ h/giorno} + 60W \times 3 \text{ h/giorno} = 330 \text{ Wh/giorno}$

# 5) CALCOLO DELLA POTENZA DI PICCO DEL GENERATORE

L'impianto fotovoltaico va dimensionato per coprire in maniera significativa i propri consumi elettrici (circa 70% dell'energia autoconsumata).

La potenza di picco  $P'_p$  si ottiene, al lordo delle perdite, dividendo il fabbisogno annuo per il numero di ore equivalenti, ossia il periodo di tempo in cui la radiazione solare incidente nel sito all'inclinazione dei pannelli,  $I_s$  (kWh/m<sup>2</sup>anno), è equivalente a quella prodotta da un irraggiamento standard di 1 kW/m<sup>2</sup>

$$\text{Tempo} = \text{Energia} / \text{Potenza} \rightarrow h_{eq} = \frac{I_s}{1 \text{ kW/m}^2}$$

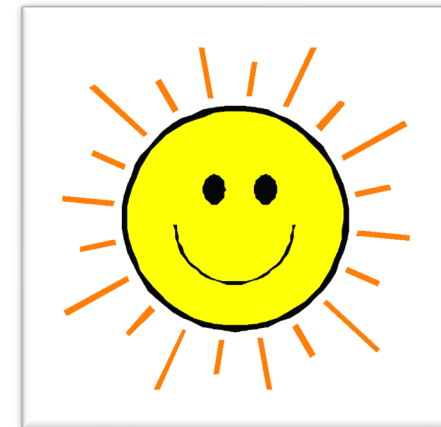
$$P'_p = \frac{\text{Fabbisogno annuo}}{h_{eq}}$$

$$h_{eq} = \frac{1750 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}}{1 \text{ kW/m}^2} = 1750 \text{ h/anno}$$

$$P'_p = \frac{4000 \text{ kWh}}{1750 \text{ h}} = 2,29 \text{ kW}_p$$



## 5) CALCOLO DELLA POTENZA DI PICCO DEL GENERATORE



L'irraggiamento annuo a Milano è di circa  $1405 \text{ kWh/m}^2$  (dati ENEA su un piano inclinato di  $30^\circ$ ), se lo divido per 365 giorni avrò un irraggiamento medio di  $3,85 \text{ kWh/m}^2$  giorno che corrispondono a  $3,85 \text{ hse/g}$  (ore di sole equivalenti giorno).

L'irraggiamento annuo a Roma è di circa  $1653 \text{ kWh/m}^2$  (dati ENEA su un piano inclinato di  $30^\circ$ ) se lo divido per 365 giorni avrò un irraggiamento medio di  $4,53 \text{ kWh/m}^2$  giorno che corrispondono a  $4,53 \text{ hse/g}$  (ore di sole equivalenti giorno).

L'irraggiamento annuo a Palermo è di circa  $1732 \text{ kWh/m}^2$  (dati ENEA su un piano inclinato di  $30^\circ$ ) se lo divido per 365 giorni avrò un irraggiamento medio di  $4,75 \text{ kWh/m}^2$  giorno che corrispondono a  $4,75 \text{ hse/g}$  (ore di sole equivalenti giorno).

*Concludendo: le ore sole medie giornaliere (hse/g) al nord saranno 3,85; al centro 4,53; al sud 4,75.*

# 5) CALCOLO DELLA POTENZA DI PICCO DEL GENERATORE

## TOOL DI DIMENSIONAMENTO

<https://www.sma-italia.com/simulatore-fotovoltaico/calcolo.html?address=89100&country=it#/passaggio01>

<https://www.sime.va.it/simulatore-fotovoltaico-e-calcolo-produzione/>

<http://stringsizer.fimer.com/>



## 6) VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DELL'IMPIANTO

Nel campo fotovoltaico vi sono diversi componenti che comportano «perdite» e quindi riduzioni dell'efficienza dell'impianto. Ad esempio:

- Perdite a causa dello scostamento della temperatura
- Perdite per la non uniformità elettrica tra le stringhe
- Perdite per riflessione
- Perdita in corrente continua
- Perdita dovuta alla carica e scarica delle batterie
- Perdita dell'Inverter
- Perdita per la sporcizia accumulata sui moduli

Ipotizzando una percentuale per le perdite totali dell'impianto, è necessario aumentare della stessa percentuale la potenza di picco del generatore fotovoltaico.



## 6) VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DELL'IMPIANTO

L'entità delle perdite nel campo fotovoltaico varia dal 10 al 15% dell'energia elettrica prodotta (più della metà è dovuta all'aumento di temperatura delle celle).

A queste perdite vanno sommate quelle dovute ai componenti elettrici, valutabili intorno al 5-10%.

Complessivamente il rendimento dell'impianto varierà nel range 75-85%. Considerando un rendimento medio dell'80%, la potenza di picco, al netto delle perdite, risulterà:

$$P''_p = \frac{P'_p}{\eta} = \frac{2,29}{0,8} = 2,86 \text{ kW}$$

# 7) DETERMINAZIONE DELLA POTENZA DELL'INVERTER

La potenza disponibile sarà poi ridotta delle perdite nell'inverter.

Considerando un'efficienza  $\eta_i$  del 98% si avrà:

$$P = \frac{P''_p}{\eta_i} = \frac{2,86}{0,98} = 2,92 \text{ kW}$$



## 8) DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI ACCUMULO

In caso di impianti stand alone è necessario dimensionare l'accumulo in modo tale da garantire un'alimentazione del carico anche per un prefissato numero massimo di giorni consecutivi con assenza di insolazione.

Il campo fotovoltaico viene dimensionato in modo da permettere, durante le ore di insolazione, sia l'alimentazione del carico che la ricarica delle batterie di accumulo.



# PRODUZIONE DI ENERGIA

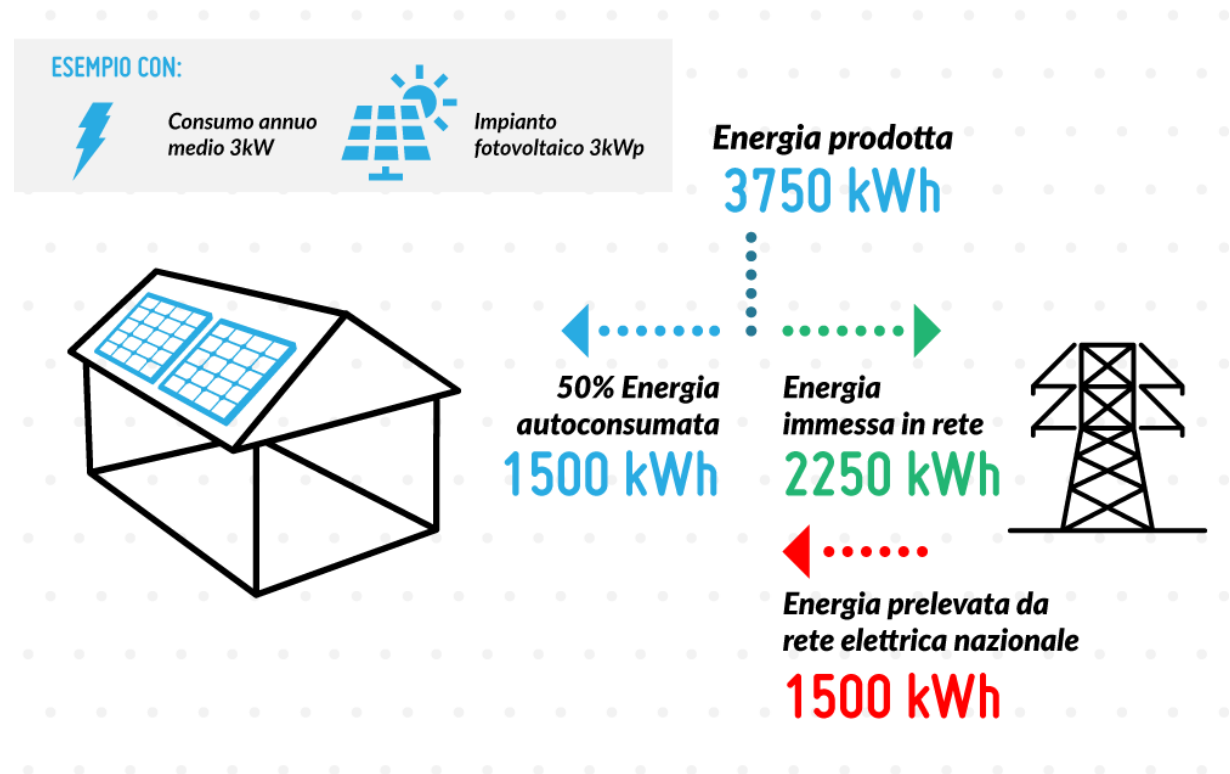
L'energia prodotta da un pannello è data da:

$$E = S \eta I_s$$

$I_s$  = radiazione incidente sul pannello

$S$  = superficie del pannello

$\eta$  = efficienza del pannello



# EFFETTO DELLA TEMPERATURA

L'efficienza  $\eta$  di un pannello diminuisce al crescere della temperatura:

$$\eta = \eta_r [1 - \beta(t_c - t_r)]$$

$\eta_r$  = efficienza del modulo alla temperatura di riferimento  $t_r$  ( $25^\circ\text{C}$ )

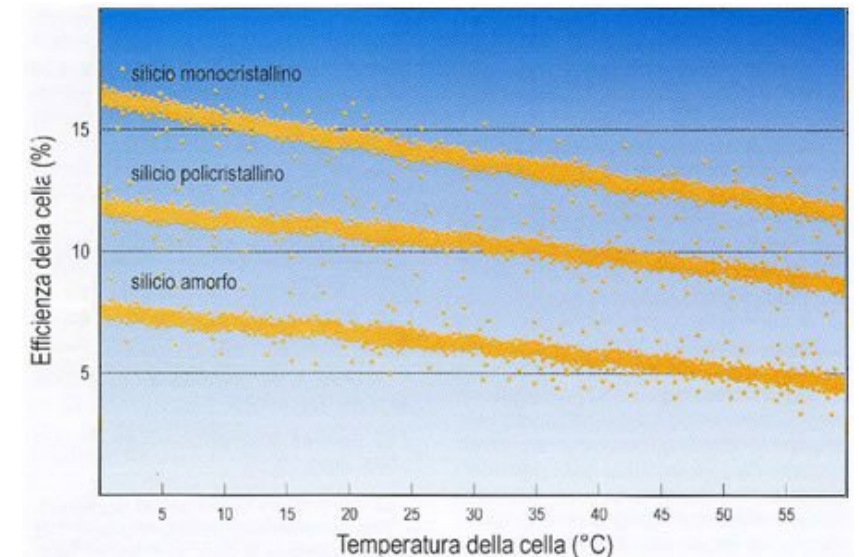
$\beta$  = coefficiente di temperatura del pannello

$t_c$  = temperatura della cella, che può essere stimata da:

$$t_c = t_a + (NOCT - 20)/800 I_s$$

$t_a$  = temperatura ambiente

NOCT = Nominal Operating Cell Temperature ( $^\circ\text{C}$ )





# FABBISOGNO ANNUO E SUPERFICIE

Un impianto fotovoltaico può generare in Italia:

Nord: 1 100 kWh/kWp

Centro-Nord: 1 200 kWh/kWp

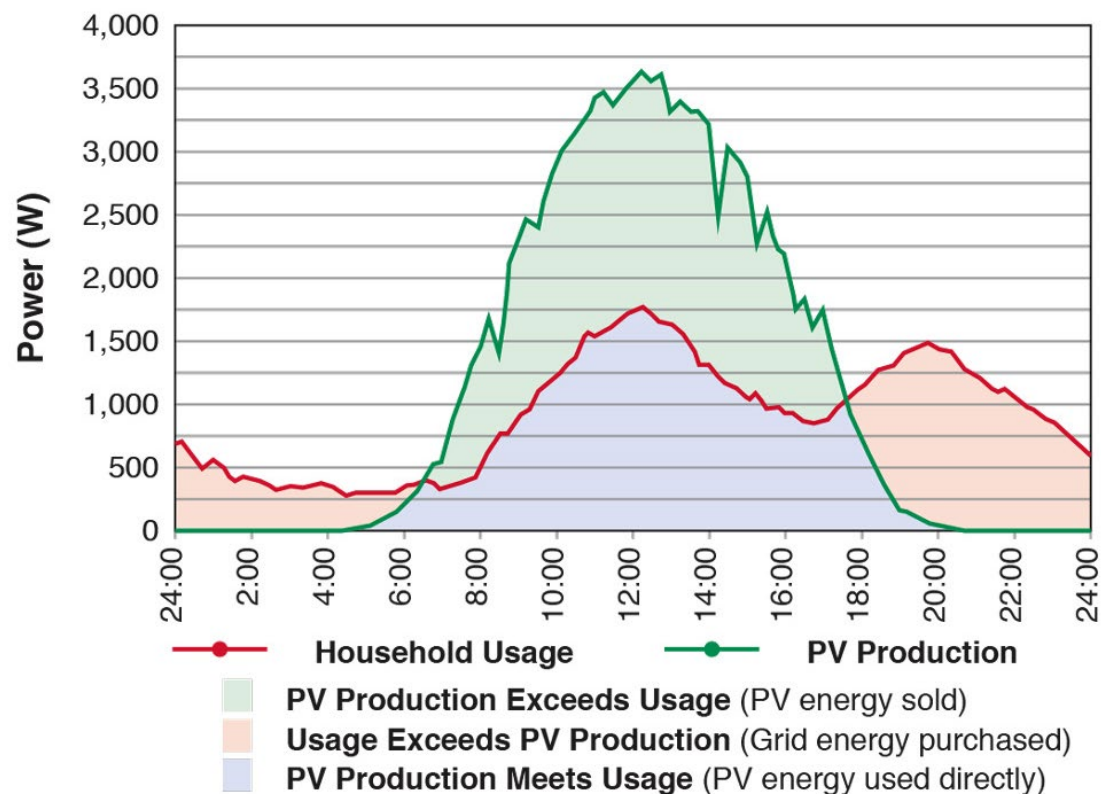
Centro-Sud: 1 300 kWh/kWp

Sud: 1 400 kWh/kWp



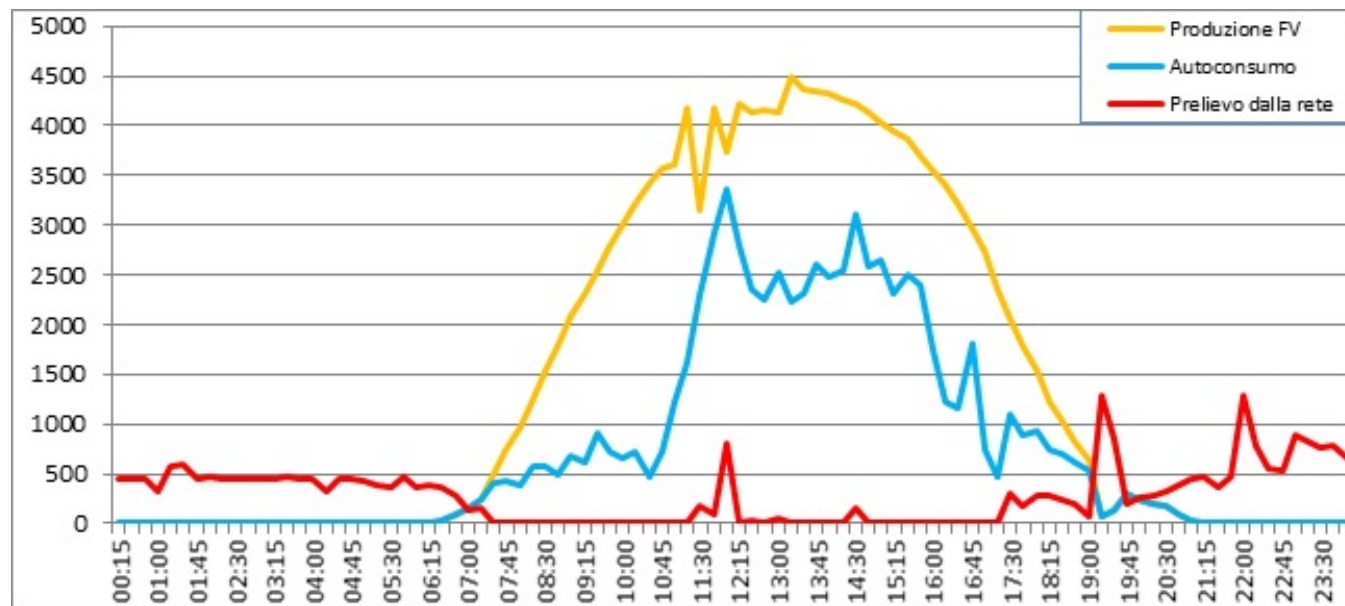
Il fabbisogno medio di energia elettrica di una famiglia italiana è pari a circa 3000 – 4500 kWh/anno.

# SODDISFACIMENTO CARICO E ALIQUOTE

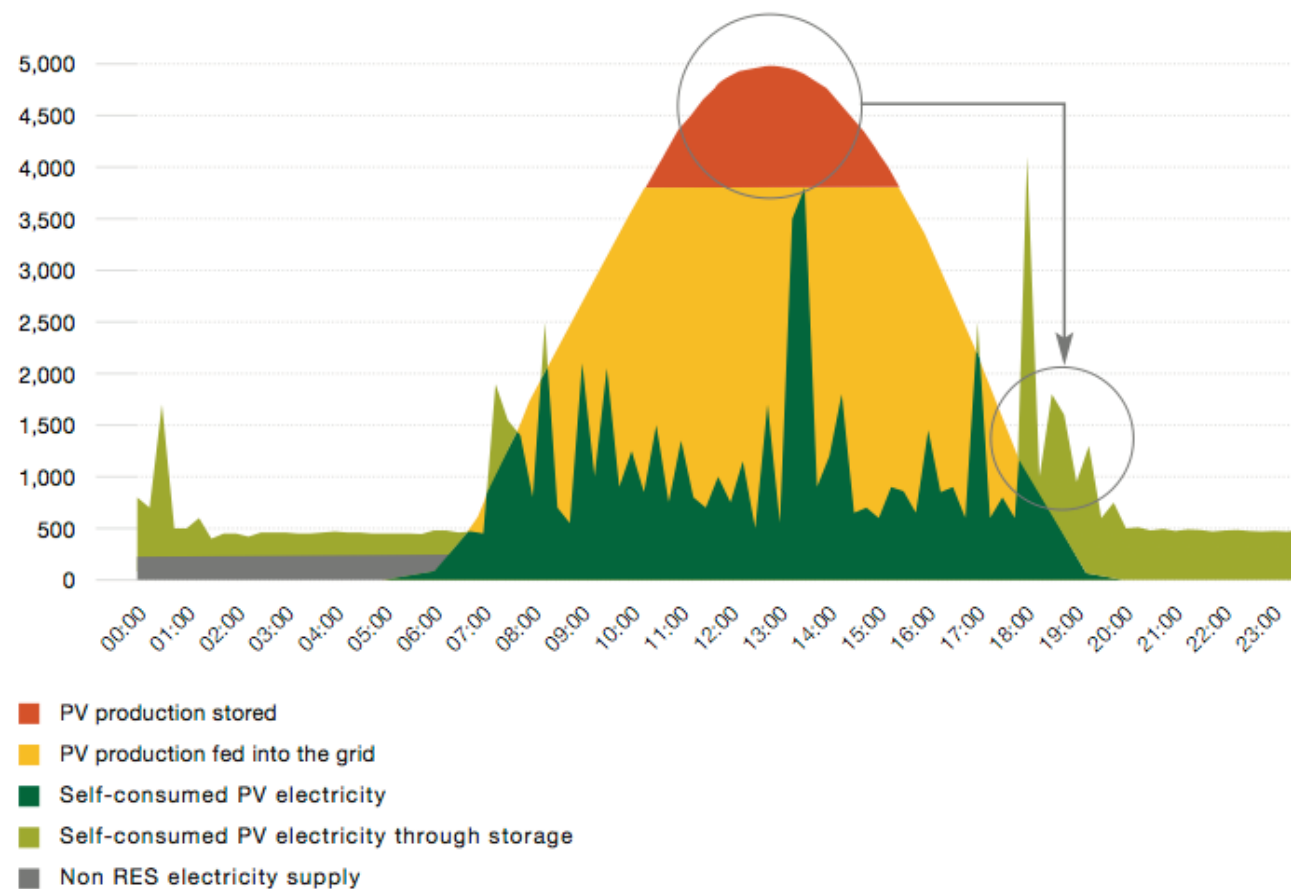


## Aliquote energetiche

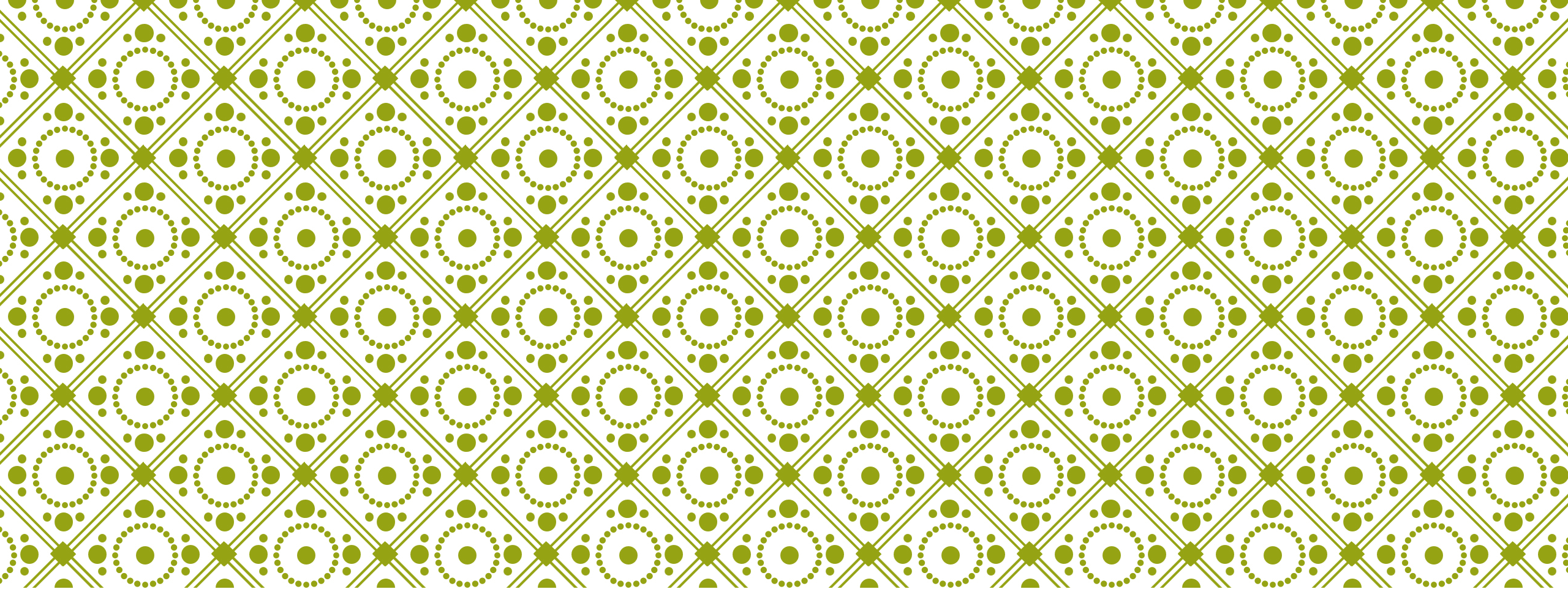
- autoconsumo
- prelievo dalla rete
- immissione in rete



# ACCUMULO — STORAGE ON GRID



source: EPIA, based on SMA analysis, 2012



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI INTEGRATI NEGLI EDIFICI



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Gli interventi di *integrazione architettonica* si distinguono a seconda del tipo di superficie dell'edificio utilizzata:

- ❖ tetto piano (terrazza)
- ❖ tetto inclinato
- ❖ facciata

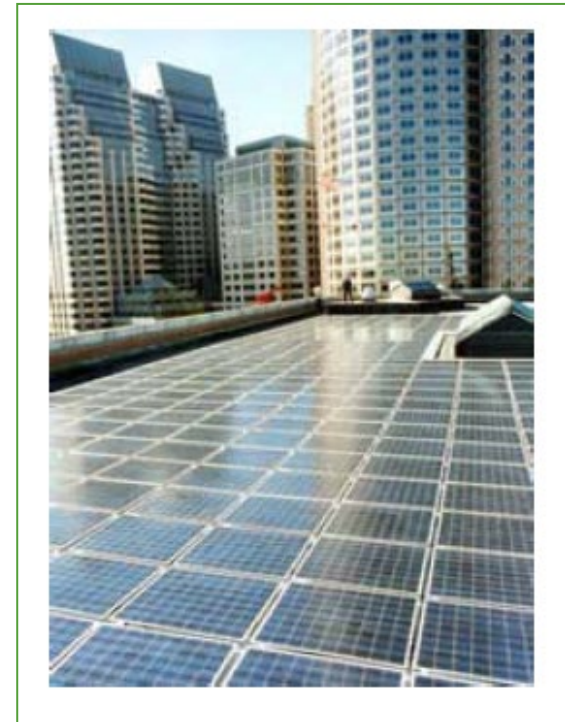
Distinguiamo inoltre casi di retrofit, in cui i sistemi vengono applicati in contesti edilizi già esistenti, o casi con sistemi integrati ideati fin dalla fase di progettazione dell'edificio.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

## Impianti su superfici piane

Se necessario, si può provvedere ad inclinare ed orientare in maniera ottimale il sistema FV in maniera da massimizzare la resa energetica, sostenendolo con strutture di supporto diverse da quelle dell'edificio.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

## Impianti su superfici inclinate

La loro inclinazione ed il loro orientamento non sono liberi e la resa energetica può non essere ottimale, ma non vi è necessità di strutture portanti, con il risultato di una maggiore armonizzazione estetica tra edificio e impianto

Si possono usare tegole fotovoltaiche.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

## Impianti su facciate

L'installazione sulla facciata consente di realizzare impianti di elevata valenza estetica, soprattutto combinando i moduli con altri elementi, come superfici vetrate. La resa, però, non è ottimale.





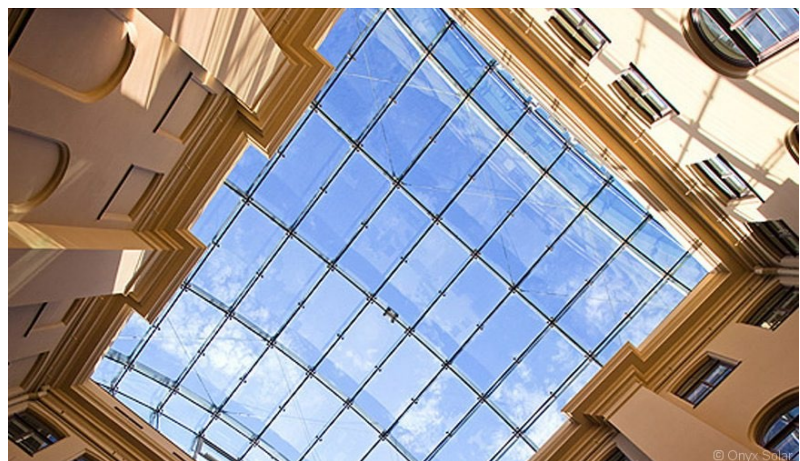
# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

## Building Integrated Photovoltaic

In alcuni casi gli impianti fotovoltaici possono essere utilizzati in sostituzione di componenti dell'involucro edilizio, quale facciate, tetti, vetri, ecc.



# IMPIANTI FOTOVOLTAICI



Moduli fotovoltaici inseriti negli edifici come elementi di rivestimento in sostituzione di componenti tradizionali



FACCIATA FOTOVOLTAICA IN UN EDIFICIO DELL'UNIVERSITÀ "LA SAPIENZA" DI ROMA

# IMPATTO AMBIENTALE



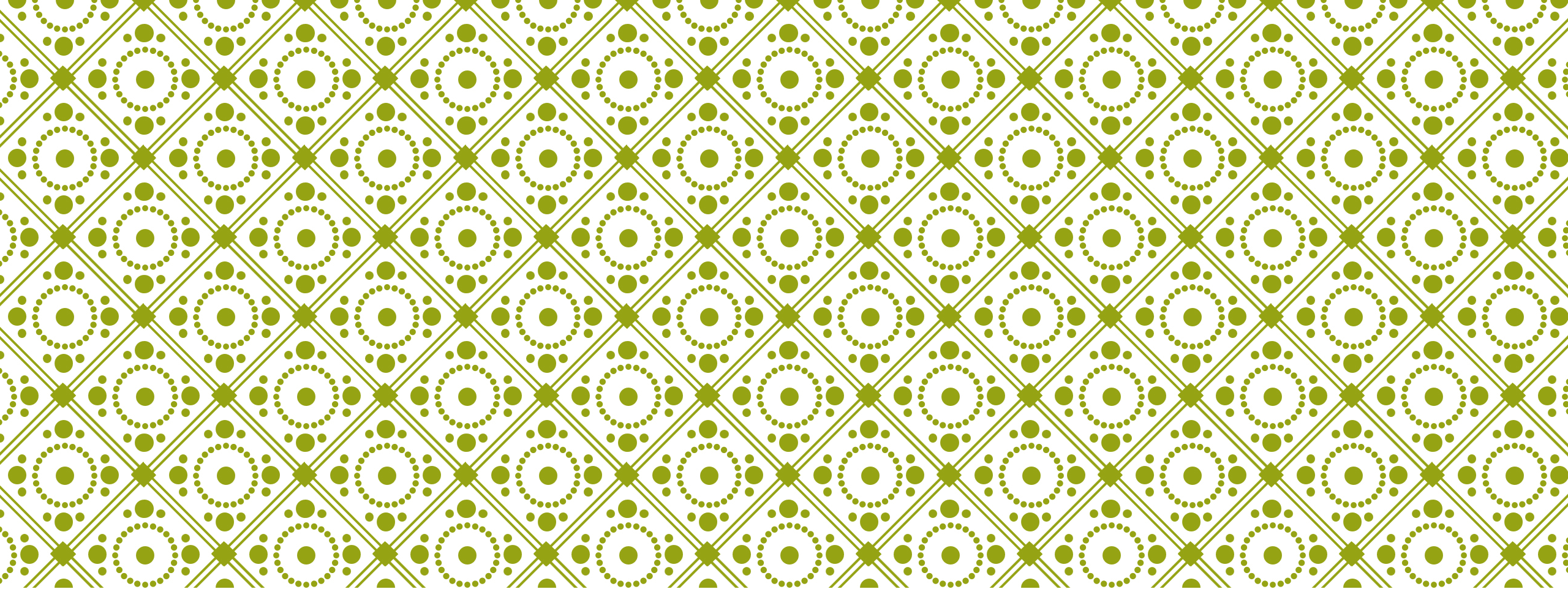
La conversione fotovoltaica dell'energia solare ha caratteristiche tali da essere ritenuta la fonte rinnovabile più rispettosa dell'ambiente.

Gli impianti FV non generano emissioni inquinanti e, per la loro modularità, possono assecondare la morfologia dei siti di installazione. Inoltre, producono energia in prossimità dei carichi elettrici evitando perdite di trasmissione.

Il loro impatto ambientale, tuttavia, non può essere considerato nullo, in quanto vi è certamente un impatto inquinante derivante dal processo produttivo

Inoltre, soprattutto per impianti non integrati negli edifici, vi sono impatti per quanto riguarda l'utilizzazione del territorio, impatti visivi, su flora, fauna e clima locale.

La dimensione di questi impatti è tuttavia decisamente inferiore di quella di altre tecnologie energetiche convenzionali.



# INCENTIVI STATALI PER IL FV



# INCENTIVI STATALI

Per l'installazione di impianti fotovoltaici vi sono diversi meccanismi incentivanti. In ambito residenziale abbiamo:

- DETRAZIONI IRPEF: è possibile scaricare il 50% del costo di investimento nei 10 anni successivi
- SCAMBIO SUL POSTO: il contributo ripaga l'utente per l'energia che ha immesso in rete ed in più rimborsa parte dei servizi

Le due forme di incentivazione sono ***cumulabili***.



# SCAMBIO SUL POSTO

$$C_s = \min [O_e; C_{ei}]$$



- $O_e$  (*Contributo Onere dell'energia*), prezzo dell'energia elettrica prelevata dalla rete e pagata dall'utente (prodotto tra i kWh prelevati ed il prezzo unico nazionale, PUN). Il PUN è variabile in base ai prezzi di mercato ed è una media nazionale dei prezzi rilevati mensilmente in ogni regione.
- $C_{ei}$  (*Controvalore dell'energia immessa*), prezzo dell'energia immessa in rete (prodotto tra i kWh immessi ed il prezzo zonale  $P_z$  dell'energia sul "mercato del giorno prima")

E' previsto inoltre il pagamento delle eventuali eccedenze a fine anno

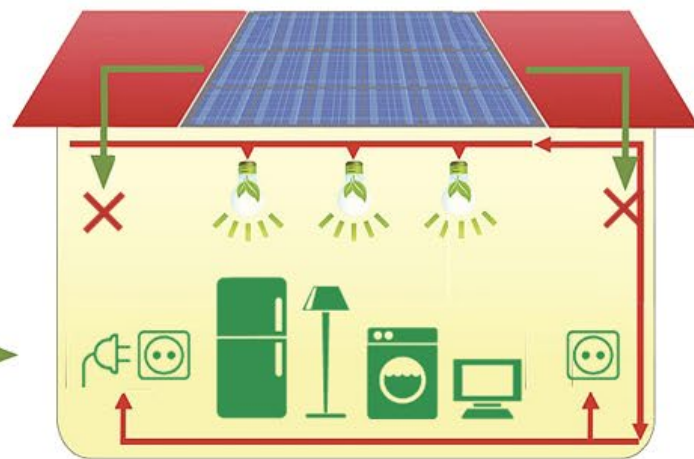
$$\text{Eccedenza} = C_{ei} - O_e = (P_z \times E_{out}) - (PUN \times E_{in})$$



Di giorno, i pannelli FV producono energia

quello che avanza viene immesso in rete

- la quota energia **immessa in rete** che copre quella **prelevata e pagata in bolletta** viene conteggiata per il contributo di scambio sul posto
- la quota energia **immessa in rete** che supera quella prelevata è eccedenza



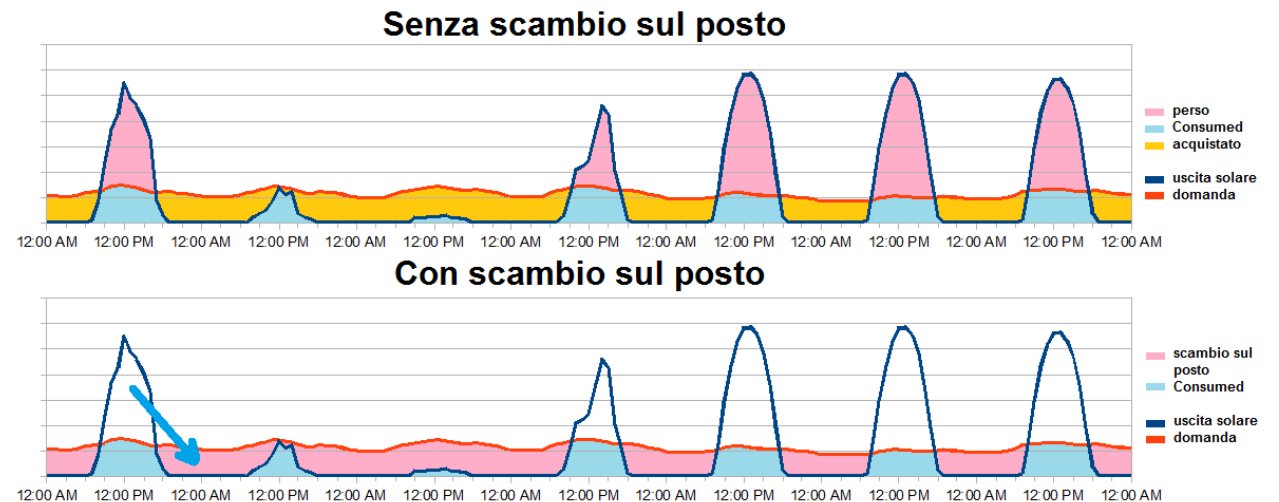
Di notte, si preleva l'energia dalla rete e si paga la bolletta

# SCAMBIO SUL POSTO

Vengono inoltre rimborsati in parte i servizi di rete (distribuzione, dispacciamento, misura e oneri del sistema), imposte escluse, versati per l'energia immessa e poi ri-prelevata (scambiata):

$$C_{usf} \times E_s$$

- $C_{usf}$  (Corrispettivo unitario di scambio forfettario): conteggia le tariffe di trasmissione, distribuzione, dispacciamento e alcuni oneri
- $E_s$  (Energia scambiata): i kWh prima immessi e poi ri-prelevati: corrisponde al minimo tra i kWh immessi e quelli prelevati durante l'anno



<https://www.mercatoelettrico.org/it/>