



***ESERCITAZIONE***

***IMPIANTI FOTOVOLTAICI***

***APPROFONDIMENTO***



**I Valori di Radiazione si possono ottenere:**

- **Approssimati (tabelle, abachi)**
- **Stima dell'energia su piano orizzontale in base alla Latitudine del sito secondo i dati riportati nella normativa UNI 10349 (UNI 8477)**
- **In base a dati storici (misure reali)**

## ENERGIA MEDIA GIORNALIERA

|               | Valore medio Dic./Genn. | Valore medio Giu./Lug. | Valore medio |
|---------------|-------------------------|------------------------|--------------|
| Sud Italia    | 3,5                     | 7,1                    | 5,4          |
| Centro Italia | 2,7                     | 6,4                    | 4,7          |
| Nord Italia   | 1,3                     | 5,6                    | 3,6          |


Insolazione media espressa in  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{giorno}$

### Irradiazione giornaliera media mensile

Comune selezionato

Comune ROMA (RM)  
Latitudine [°] 41.9075 Longitudine [°] 12.4900 Altitudine [m] 20

Irradiazione sul piano orizzontale

Fonte UNI 10349   
Irradiazione annua [ $\text{MJ/m}^2$ ] 5 788.29  
Irradiazione giornaliera media mensile [ $\text{MJ/m}^2$ ]

| Gen  | Feb  | Mar   | Apr   | Mag   | Giu   | Lug   | Ago   | Set   | Ott   | Nov  | Dic  |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 6.30 | 9.20 | 13.70 | 18.90 | 23.60 | 25.70 | 27.10 | 23.30 | 17.60 | 12.20 | 7.30 | 5.40 |

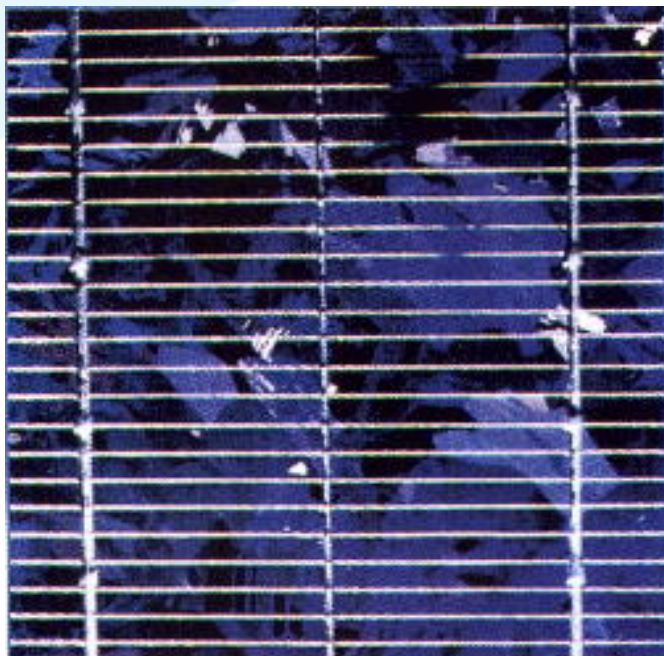
Località di riferimento 1

## Radiazione solare

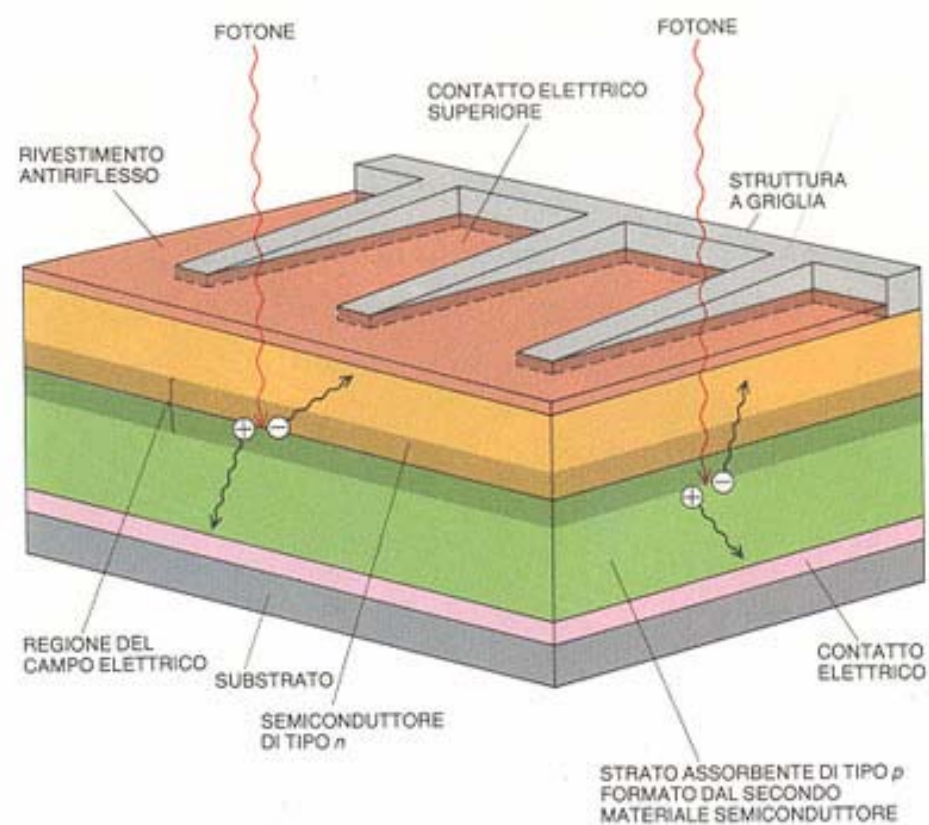
La quantità di energia solare incidente in un piano dipende:

- A) dall'inclinazione del piano (Tilt).
- B) dall'orientamento (Azimut).

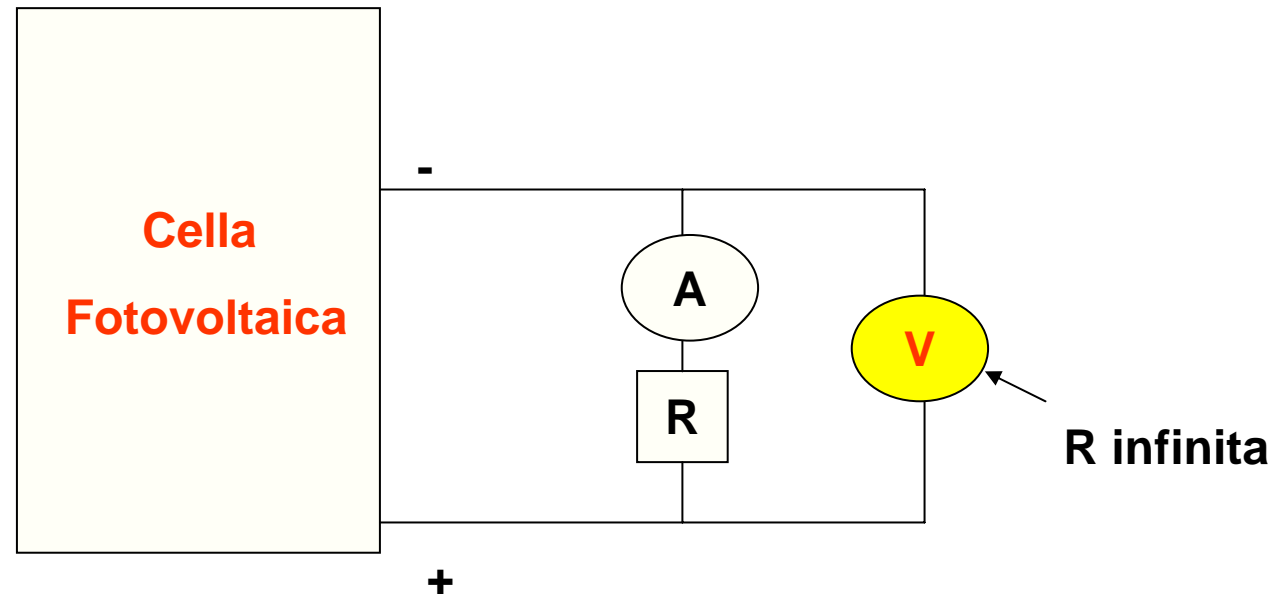




## Particolare di Cella in Silicio Policristallino



## SCHEMA IMPIANTO DI ANALISI (1000 W/mq)

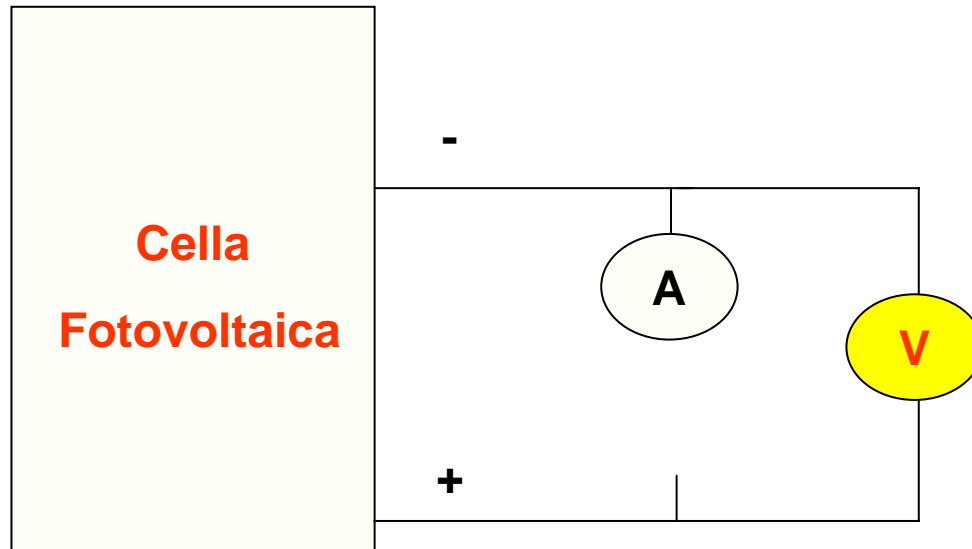


**A = Amperometro**

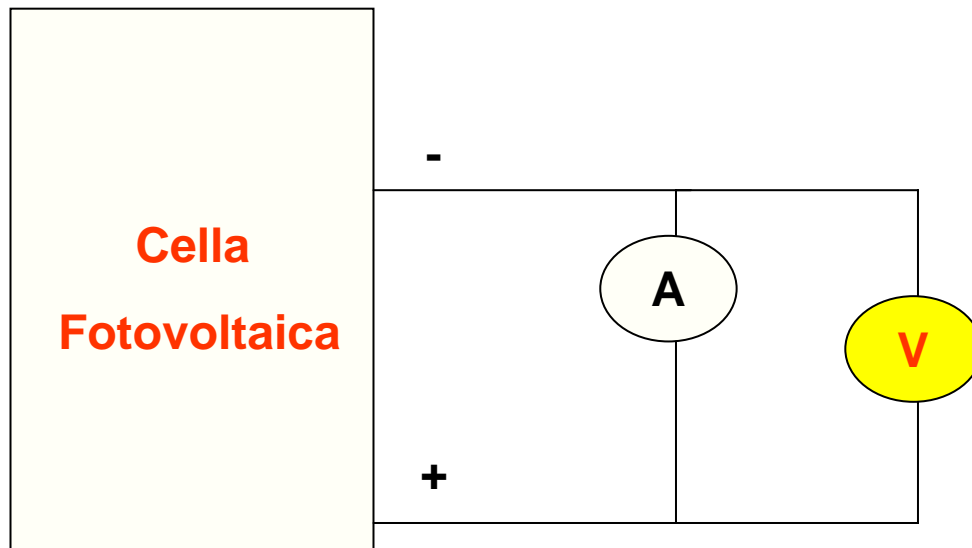
**V = Voltmetro**

**R = Carico elettrico o resistenza**

## COSTRUZIONE CURVA VI

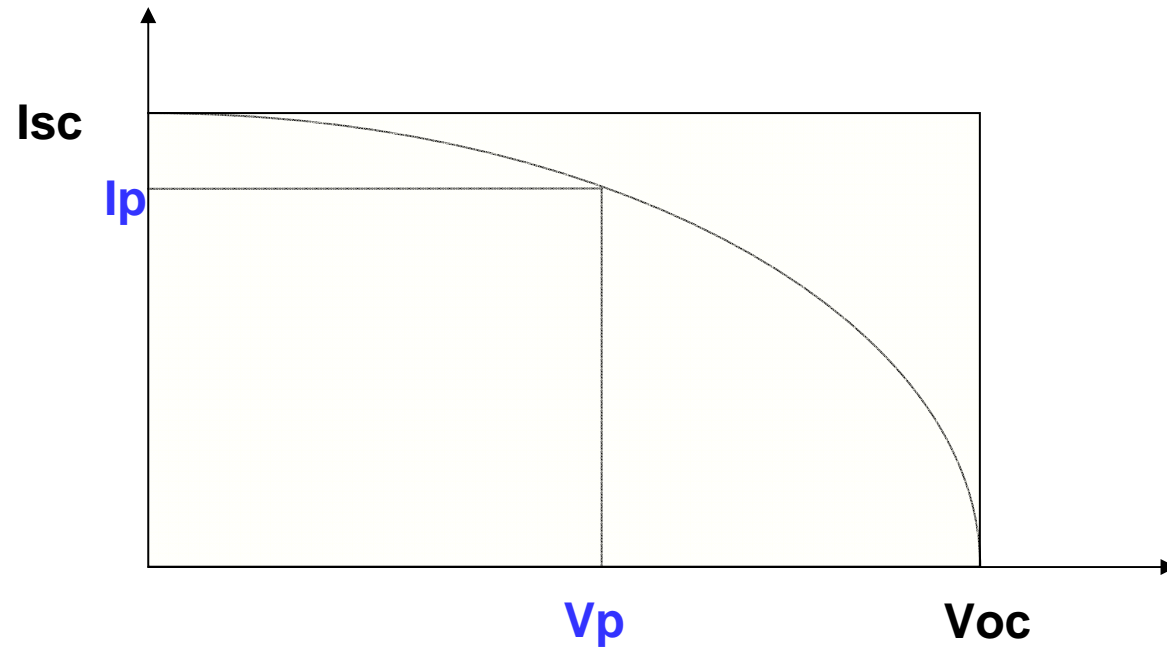


**$V_{oc}$**   
Tensione a  
circuito aperto



**$I_{sc}$**   
Intensità di  
Corrente a  
circuito chiuso

## CURVA VI



## FATTORI DISCRIMINANTI DI PRESTAZIONE

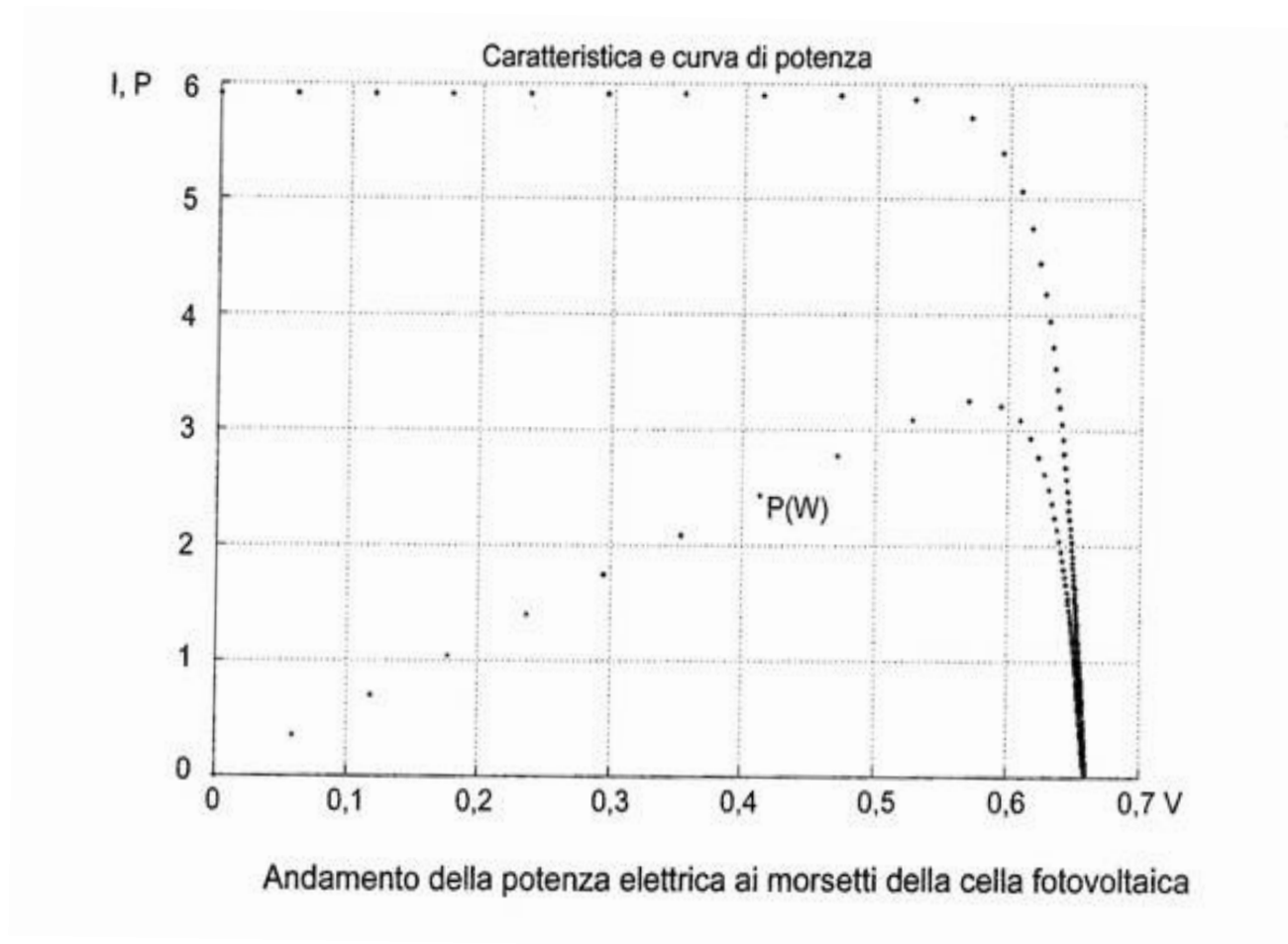
### Fill Factor

$$F = \frac{I_p \cdot V_p}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

### Potenza di Picco

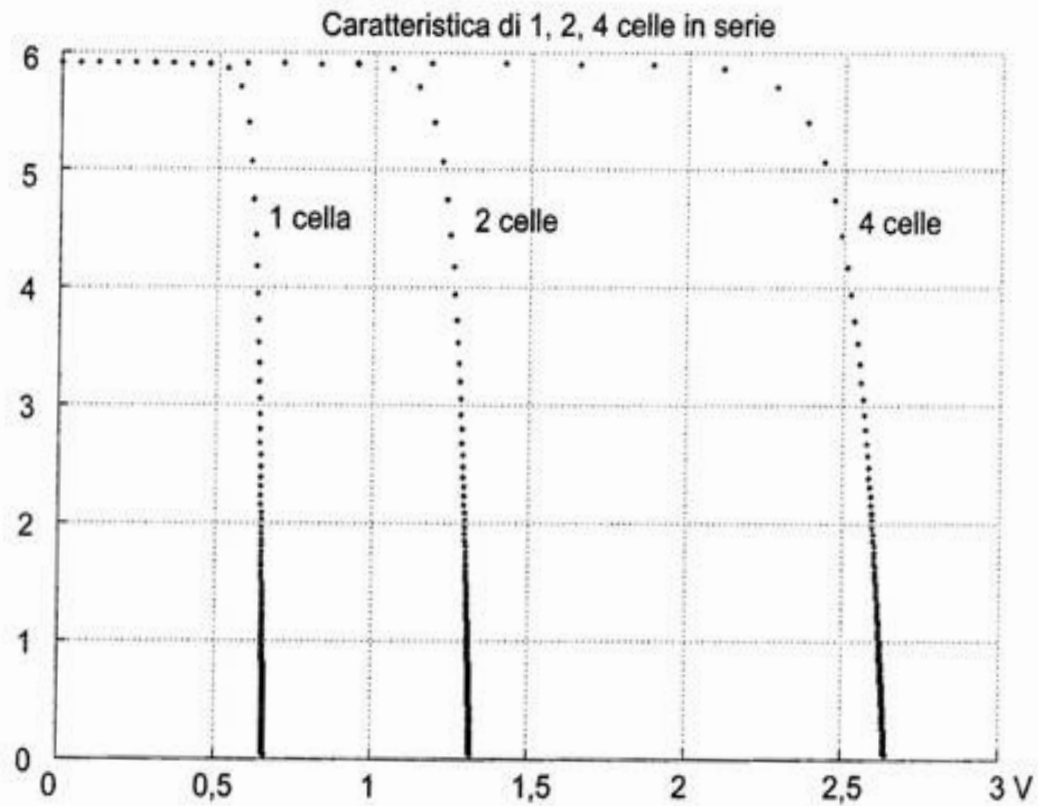
$$P_p = I_p \times V_p$$

## CURVA VI E POTENZA DI PICCO



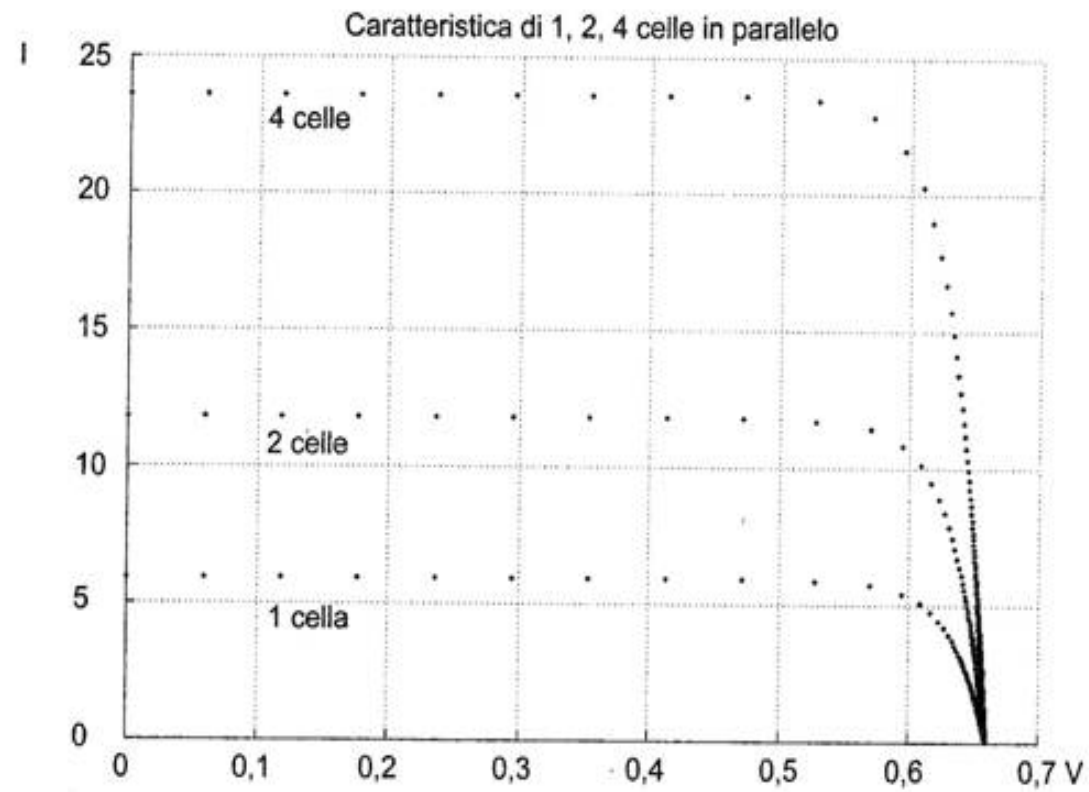
$$P = V \times I$$

## CURVA VI: CELLE IN PARALLELO



Aumento della tensione della curva caratteristica collegando 2 e 4 celle in serie

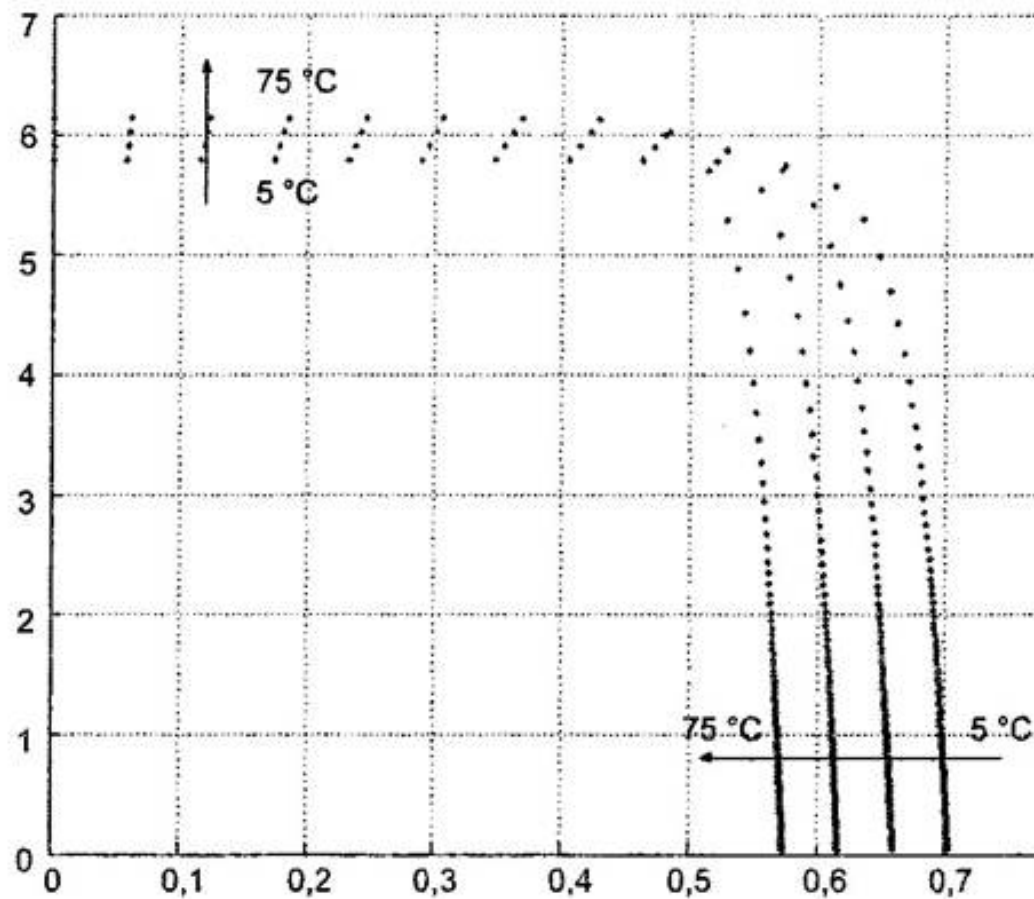
## CURVA VI: CELLE IN SERIE



Aumento della corrente della curva caratteristica collegando 2 e 4 celle in parallelo

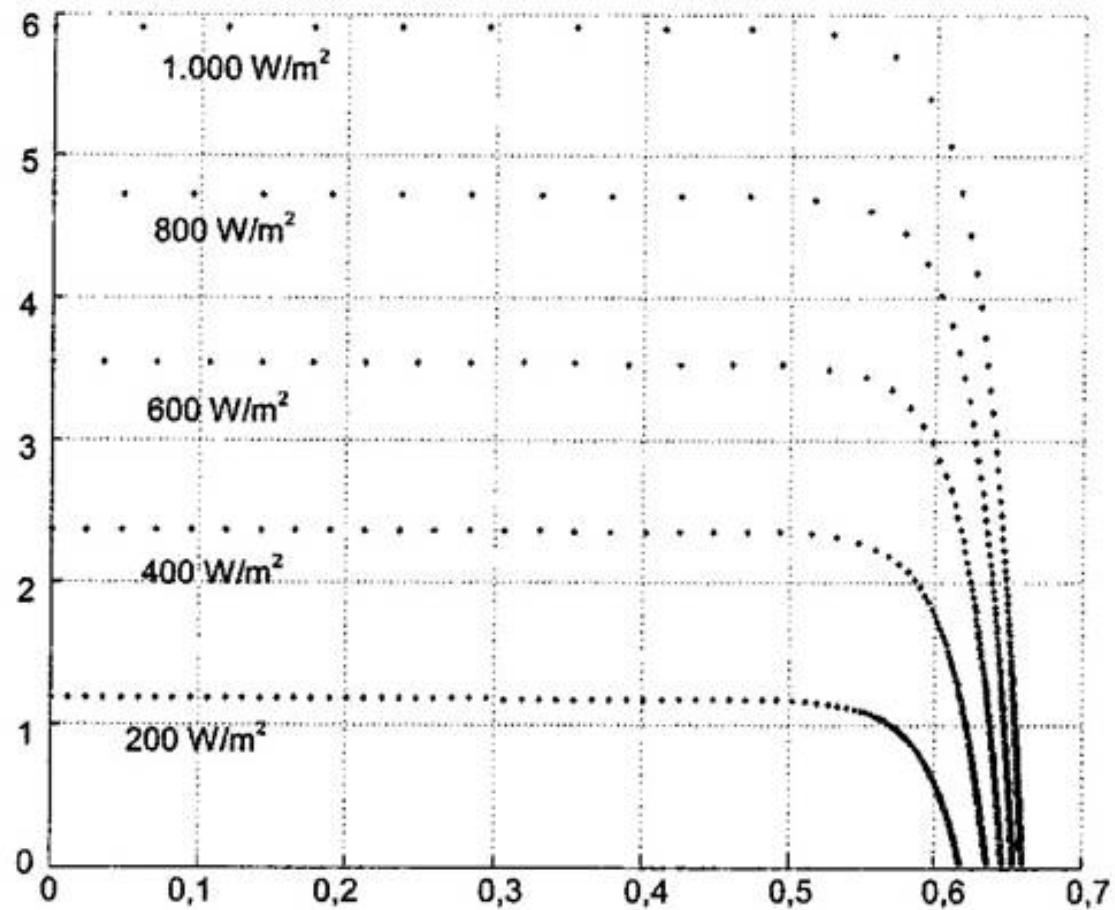
## CURVA VI: TEMPERATURA

Variazione della Curva  
Volt-Amperometrica con la temperatura



## CURVA VI: RADIAZIONE INCIDENTE

Variazione della Curva  
Volt-Amperometrica con la radiazione solare



## Perchè si testano i pannelli con 1000 W/mq?


$$1000 \text{ W/mq} : P_p (\text{W}) = E_{in} (\text{kWh/mq a}) : E_p (\text{kWh/a})$$

$P_p$  = Potenza di picco

$E_{in}$  = Energia solare incidente (all'anno)

$E_p$  = Energia elettrica prodotta (all'anno)

- $E_p = P_p (\text{W}) \times E_{in} (\text{kWh/mq a}) / 1000 \text{ W/mq}$



- $E_p (\text{Wh}) = P_p \times E_{in}$

**Quanta energia elettrica mi produce un pannello da 100 Wp in un anno?**

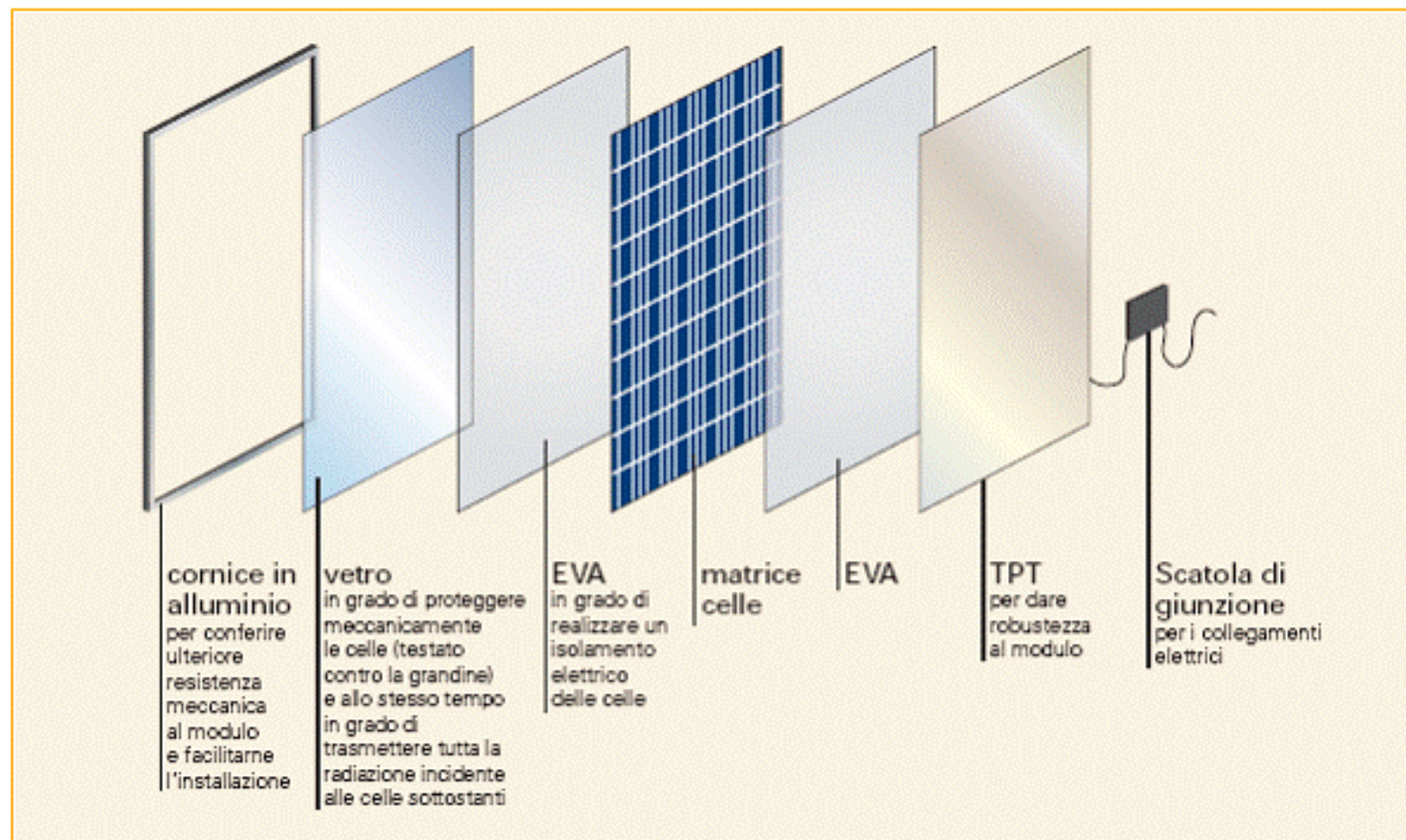
- $E_p (\text{Wh}) = 100 \text{ W} \times 1300 \text{ kWh/mq a} = 130.000 \text{ Wh/anno} (130 \text{ kWh/anno})$



N.B. 1 kWp produce un quantitativo di energia elettrica pari a quella captata durante il medesimo periodo di tempo.

- $E_p = 1000 \text{ W} \times 1300 \text{ kWh/mq a} / 1000 \text{ W} = 1300.000 \text{ Wh/a} = 1300 \text{ kWh/anno}$

## Il modulo



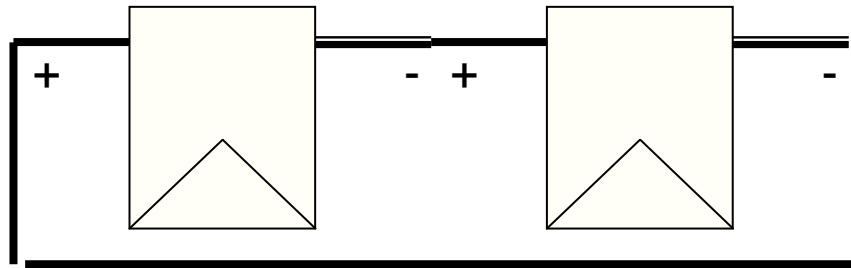
*Schema del modulo*

### Strato Ricoprente in EVA Vinil-Acetano di Etilene

- Evitare contatto diretto vetro-cella
- Isolare elettricamente
- Evitare che si formino interstizi di aria tra cella e vetro

## Il modulo

### Collegamento in Serie



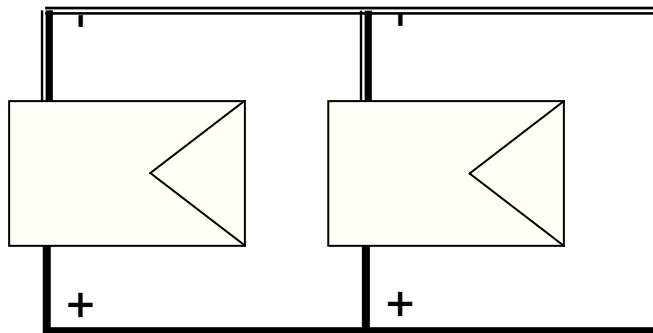
#### DEFINIZIONE

**STRINGA** di N. modul  
Sono N moduli in serie

Tensione Totale = Somma delle tensioni di ciascun modulo

Corrente totale = Corrente di un Modulo

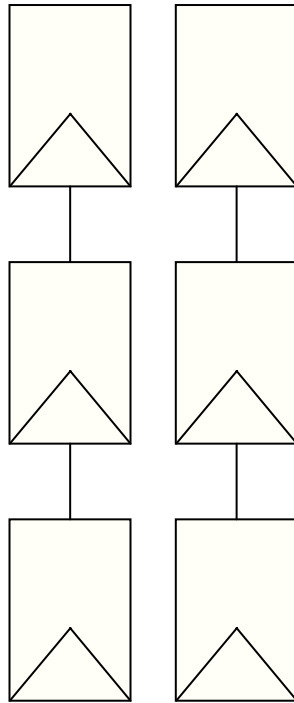
### Collegamento in Parallelo



Tensione Totale = Tensione di un Modulo

Corrente Totale = Somma delle correnti di ciascun modulo

## Collegamento Moduli



### **Modulo XY**

$$P_p = 100 \text{ W}$$

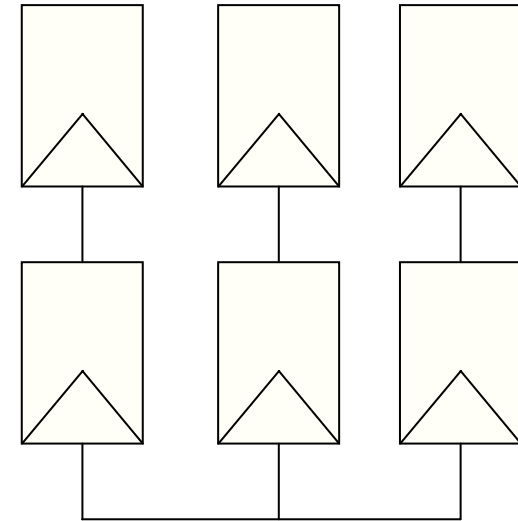
$$V_{oc} = 40 \text{ Volt}$$

$$I_{sc} = 8 \text{ A}$$

$$V_p = 30 \text{ Volt}$$

$$I_p = 7 \text{ A}$$

$$6 \text{ moduli} = \mathbf{600W}$$



### **Configurazione 2 stringhe da 3 moduli**

$$\text{Totale } V_{oc} = 40 \text{ Volt} \times \underline{3} = 120 \text{ Volt}$$

$$\text{Totale } I_{sc} = 8 \text{ A} \times \underline{2} = 16 \text{ A}$$

$$\text{Totale } V_p = 30 \text{ Volt} \times \underline{3} = 90 \text{ Volt}$$

$$\text{Totale } I_p = 7 \text{ A} \times \underline{2} = 14 \text{ A}$$

$$6 \text{ Moduli} = \mathbf{600W}$$

### **Configurazione 3 stringhe da 2 moduli**

$$\text{Totale } V_{oc} = 40 \text{ Volt} \times \underline{2} = 80 \text{ Volt}$$

$$\text{Totale } I_{sc} = 8 \text{ A} \times \underline{3} = 24 \text{ A}$$

$$\text{Totale } V_p = 30 \text{ Volt} \times \underline{2} = 60 \text{ Volt}$$

$$\text{Totale } I_p = 7 \text{ A} \times \underline{3} = 21 \text{ A}$$

$$6 \text{ Moduli} = \mathbf{600W}$$

## Esempio Impianto (base)

Ricordiamo che:

$$1000 \text{ W/mq} : P_p (\text{W}) = E_{in} (\text{kWh/mq a}) : E_p (\text{kWh/ a})$$

- NOTA ESPOSIZIONE PANNELLI (azimut e Tilt) (sud -30°)
- NOTA LA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE **UTILE** (es  $E_{in} = 1300 \text{ kWh/mq all'anno}$ )
- NOTO IL CONSUMO ANNUALE DI ENERGIA ELETTRICA ( $EC = 2600 \text{ Kwh/ anno}$ )
- IPOTESI CHE QUANTO SI VOGLIA PRODURRE QUANTO SI CONSUMA DURANTE L'ANNO ( $EC=E_p$ )



- $\text{Potenza (W)} = 2600 \text{ kwh/anno} (E_p=EC) \times 1000 \text{ W/mq} / 1300 \text{ kWh/mq anno}(E_{in})$

$$\text{Potenza (W)} = 2000 \text{ W} = 2 \text{ kWp}$$

**Nel caso in cui ho moduli da 100 W dovrò comprare 20 moduli**


## MOULI FOTOVOLTAICI

| <b>Modulo</b>                   | <b>SEproject<br/>180S</b> | <b>Kyocera<br/>KC125G</b> | <b>Eurosolare<br/>P 500 D</b> | <b>Atersa</b> |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------|
| Tensione di lavoro (V)          | 12                        | 12                        | 24                            | 12            |
| Tipo di modulo (silicio)        | monocr.                   | multicr.                  | policr.                       | policr.       |
| Potenza di picco (Wp)           | 180                       | 125                       | 95                            | 5             |
| Corrente di corto circuito (A)  | 10,46                     | 8                         | 3,2                           | 0,34          |
| Tensione a circuito aperto (V)  | 22,55                     | 21,7                      | 42,2                          | 21,6          |
| Tensione di max potenza (V)     | 17,82                     | 17,4                      | 34,0                          | 17            |
| Corrente di max potenza (A)     | 10,10                     | 7,2                       | 2,8                           | 0,29          |
| Dimensioni (h in mm)            | 1.580                     | 1.425                     | 1.340                         | 303           |
| Dimensioni (l in mm)            | 790                       | 652                       | 670                           | 206           |
| Dimensioni (spessore in mm)     | 34                        | 36                        | 57                            | 38            |
| Peso (kg)                       | 15                        | 12,2                      | -                             | 1             |
| Tensione max di sistema (V)     | 600                       | 750                       | 600                           | 600           |
| Rendimento (%)                  | 14,4%                     | 13,5%                     | 10,6%                         | -             |
| Coefficiente temperatura (%/°C) | -0,4%                     | -0,38%                    | -0,36%                        | -0,38%        |
| Grado di isolamento (IP)        | 65                        | 65                        | 65                            | 65            |
| Tolleranze sui dati tecnici (%) | 5                         | 5                         | 5                             | 5             |
| Garanzie di potenza             | >80%                      | >80%                      | >80%                          | >80%          |
|                                 | 25 anni                   | 25 anni                   | 25 anni                       | 25 anni       |

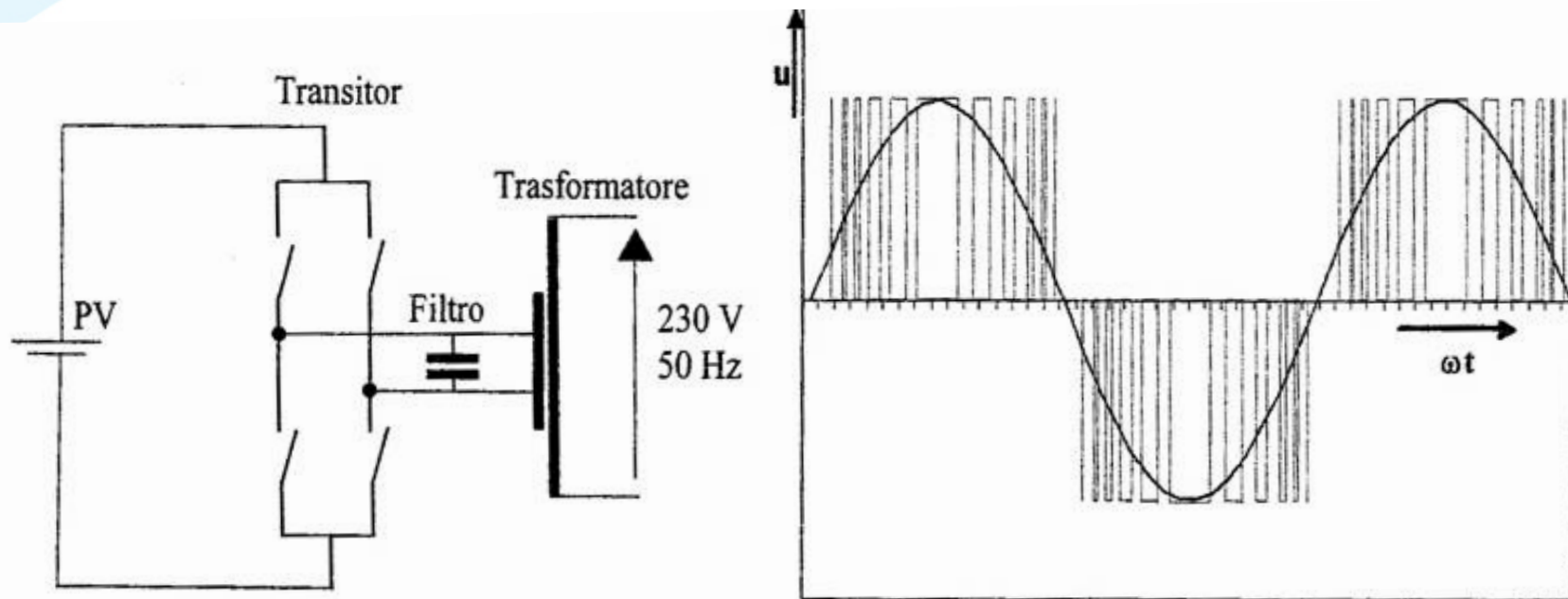
Caratteristiche di alcuni pannelli fotovoltaici commerciali



# ***Impianto Fotovoltaico***

- ***Generatore Fotovoltaico***
  - ***Inverter***
  - ***Quadro***
- 

## INVERTER



Circuito e forme della tensione in entrata e in uscita di un inverter PWM

Pulse Width Modulation

Corrente generata in continuo



All'utenza Corrente Alternata (50Hz)

## Compatibilità con il generatore fotovoltaico:

1.  $V_{oc} \text{ max stringa (T min)} < V_{in} \text{ max inverter}$
2.  $V_p \text{ (max pot.) min stringa (T max)} > V_{in} \text{ min inverter}$
3.  $P \text{ nom inv (95\%)} < P \text{ nom campo FV} < P \text{ nom inverter (115\%)}$
4.  $\text{Corrente del campo} < \text{Corrente Max inverter}$



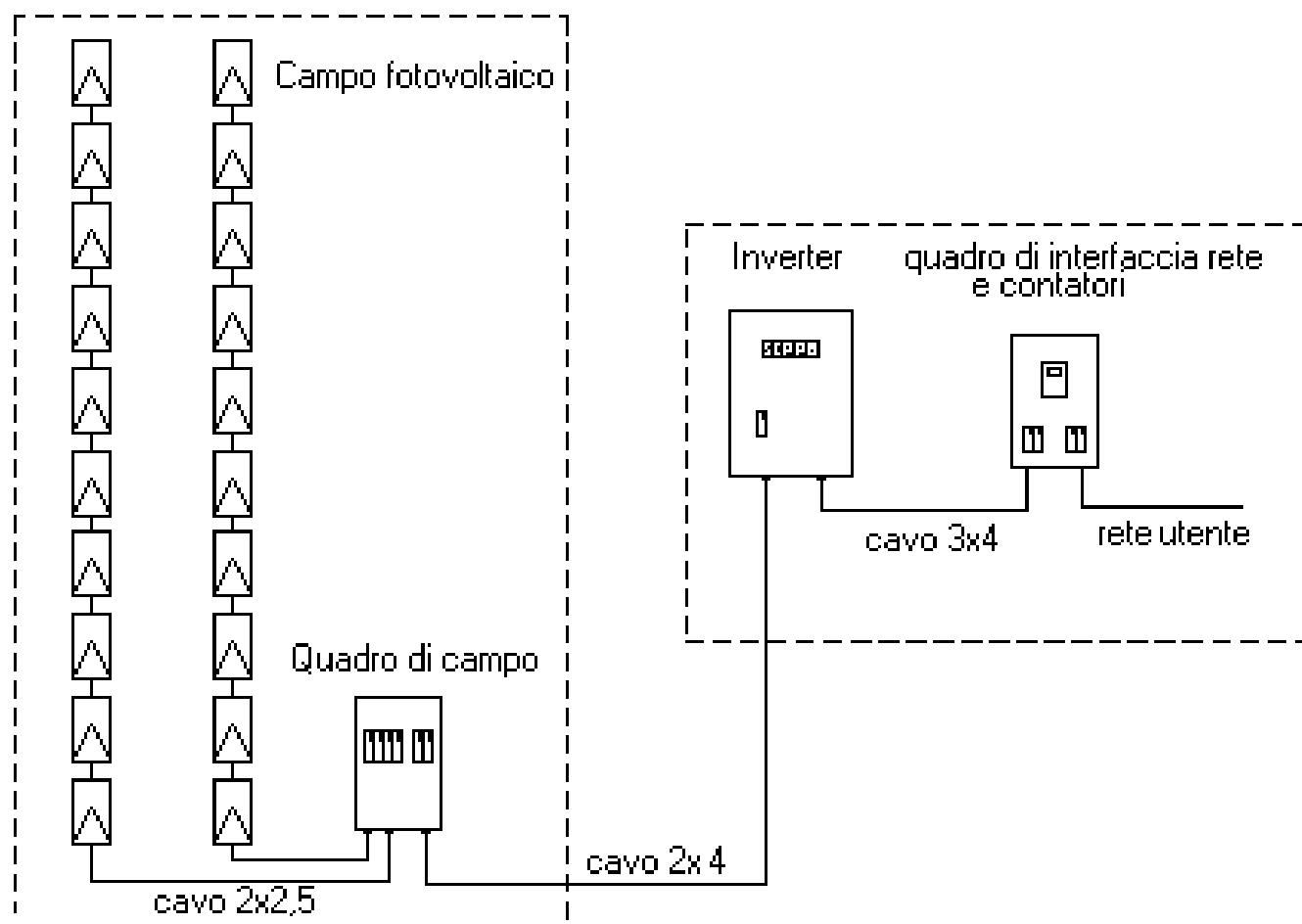
Es. di 10 moduli in serie:

$$V_{oc} 22,5 \times 10 = 225 \text{ V};$$

$$V_p 17,8 \times 10 = 178 \text{ V};$$

Inverter 100-300 V

## CAMPO FOTOVOLTAICO



**Schema Unifilare**

## CAMPO FOTOVOLTAICO

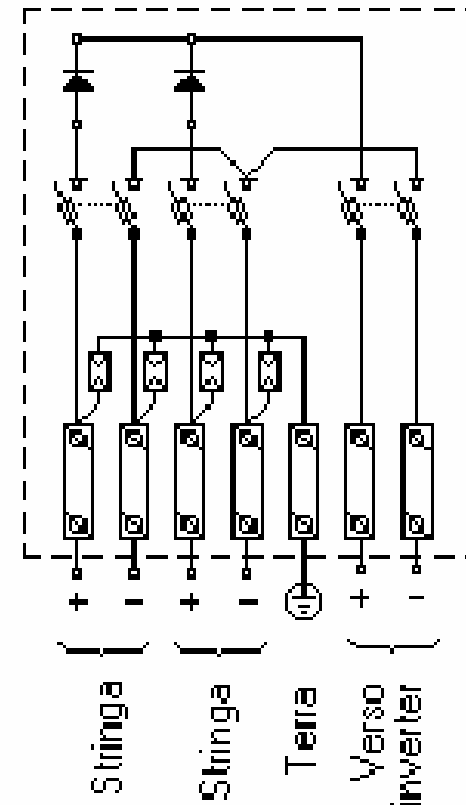
### **Il quadro di campo**

Il quadro di campo accoglierà i cavi provenienti dalle stringhe, i sezionatori di stringa, i diodi di blocco, i dispositivi di protezione dalle sovratensioni, ed il sezionatore generale secondo lo schema in figura.

- L'entrata e l'uscita dei cavi del quadro di campo deve essere effettuata con gommini pressacavo in modo tale che venga garantito il grado di protezione del quadro che comunque non deve essere inferiore a IP65. Deve essere predisposto un cavo per la protezione contro le scariche atmosferiche collegato alla locale terra disposta con analogo scopo.

Il quadro ha disposto su un livello tre sezionatori di manovra (sezionatori a fusibile), due che aprono in ingresso la tensione dal campo fotovoltaico ed uno che apre l'uscita dal campo fotovoltaico all'inverter.

L'accesso alla parte interna del quadro deve essere effettuata solo da personale qualificato ai sensi del lavoro sotto tensione. Il sezionamento delle stringhe può avvenire solo ad impianto spento e con sezionatore verso inverter aperto



## CONNESSIONE ALLA RETE

### DISPOSITIVO DI INTERFACCIA

- Solitamente interno all'inverter;
- Se sono presenti più inverter, la norma CEI 11-20,V1 consente di raggiungere un numero massimo di 3 inverter in parallelo per impianti di potenza inferiori a 20kW senza richiesta di installazione di un sistema di interfaccia esterno e comune a tutti gli inverter.

All'uscita dell'inverter si ha corrente alternata

- Monofase 230 V – Connessione BT con P max 6kVA (no connessione a MT)
- Trifase 400 V – Connessione Pmax illimitata
- Se potenza impianto FV < 50 kW connessione in BT (ENEL DK 5940)
- Se potenza impianto FV > 75 kW connessione in MT

## RENDIMENTO DELL'IMPIANTO- BOS

La corrente continua prodotta da un generatore fotovoltaico e' maggiore dei quella immessa nella rete o consumata in quanto vi sono diverse perdite

| Balance of system (BOS)   |                                       |                   |
|---|---------------------------------------|-------------------|
| Perdite   |                                       |                   |
|   | Nome                                  | Valore [%]        |
| a   | Perdite per riflessione               | 3.10              |
| b   | Perdite per ombreggiamento            | 3.30              |
| c   | Perdite per mismatching               | 5.70              |
| d   | Perdite per effetto della temperatura | 7.60              |
| e   | Perdite nei circuiti in continua      | 1.20              |
| f   | Perdite negli inverter                | 4.00              |
| g   | Perdite nei circuiti in alternata     | 2.00              |
| Totale perdite* [%]   |                                       | 25.03             |
| (*) Totale perdite [%] = $[1 - (1 - a - b) \times (1 - c - d) \times (1 - e) \times (1 - f)] + g$ |                                       |                   |
| Determina da perdite <input checked="" type="checkbox"/>  |                                       | Balance of system |
| BOS [%]   |                                       | 74.97             |

**Da 1 kW si otterrà una corrente all'utenza pari  $BOS \times E_{in}$  (kWh/mq)**

## IL RISPARMIO DI COMBUSTIBILE

- Vita media dell'impianto 25 anni
  - Energy pay back time 5 anni
  - Energia annua prodotta 1.300 kWh/kW
  - Energia prodotta in 20 anni 26.000 kWh/kW
  - 1 kg di combustibile: 4 kWh<sub>e</sub>
  - Risparmio di combustibile 6.500 kg/kW
- 
- CO<sub>2</sub>/kWh 0,8 kg
  - Emissioni evitate 21.000 kg/kW