

# Indicazioni per allestire un progetto di massima e principali software

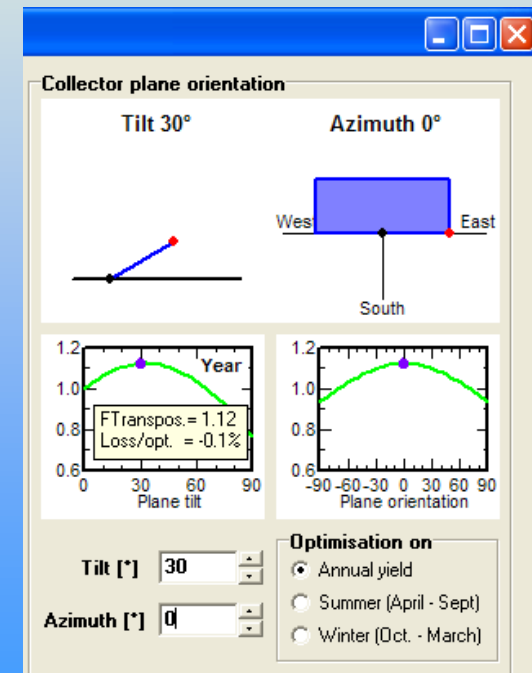
**Sandro Rezzonico**

# Disposizione moduli

- **Inclinazione:** 30-45°
- **Orientamento:** 0° SUD  $\pm$  30°  
Senza perdite notevoli!

Considerare anche:

- orizzonte,
- ombre,
- meteo particolare



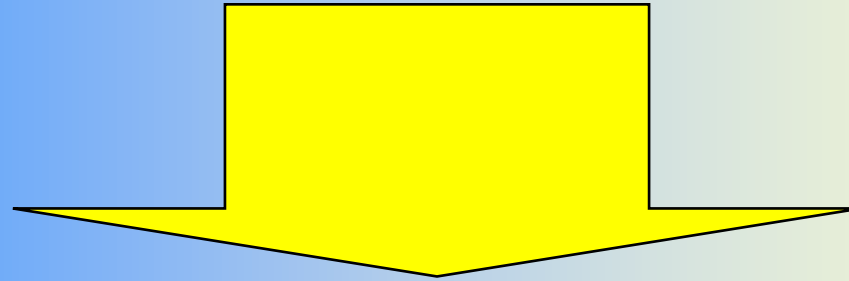
# Tipo moduli e ondulatore

- **Tipo moduli:** a-Si per T elevata o ombre, c-Si per spazio ridotto, ecc
- **P<sub>n</sub> ondulatore**  $\cong 0.8$  P<sub>n</sub> moduli (a STC)

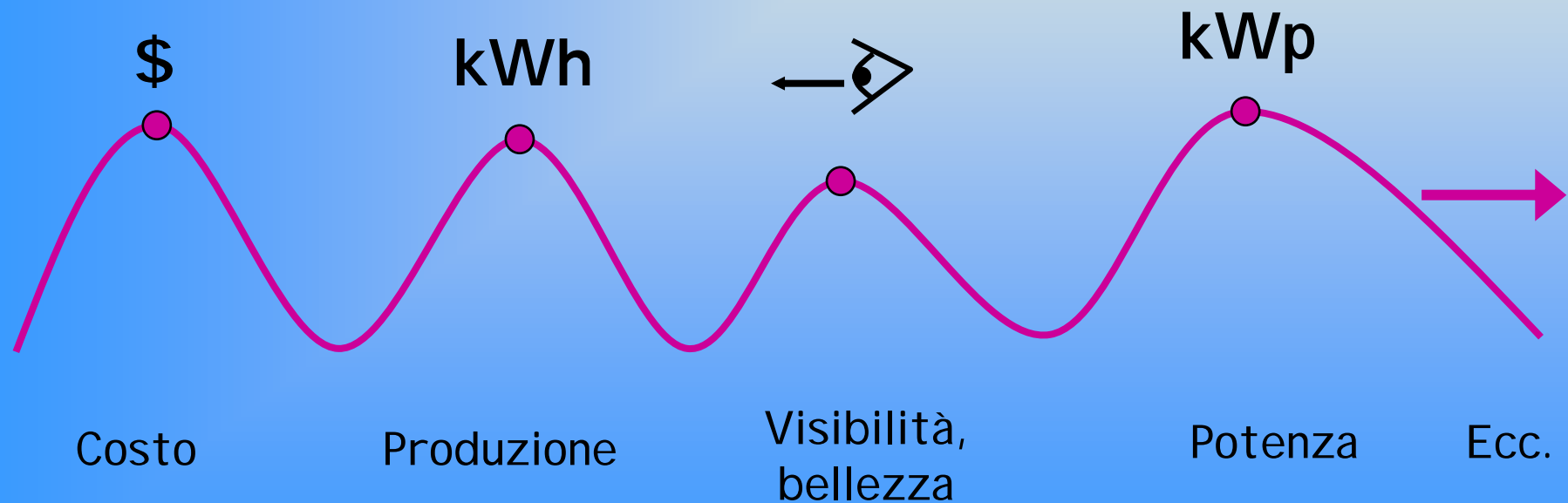
**Sovradimensionando il campo** rispetto all'ondulatore (!), si possono ottenere dei costi dell'ENERGIA inferiori

# CRITERI

- Finanze [Fr]
- Potenza installata [kW]
- Spazio [m<sup>2</sup>]
- Energia [kWh] op. copertura fabbisogno (%)
- Costo potenza [Fr/kW] ; Costo energia [Fr/kWh]
- Costruzione (incl.°, orient.°, Tc [°C], architettura, ...)
- Luogo (meteo, orizzonte, ombre parziali)
- Periodo d'utilizzo ( $\Delta t$ )
- Visibilità ...



Tanti OPTIMUM  
a seconda dell'importanza che si dà ad ogni criterio



# Costo potenza – costo energia

(es. criterio 1)

$$C_P = \frac{CHF}{P_{n, stc}} \quad \left[ \frac{CHF}{Wp} \right] \quad \text{Costo "potenza"}$$

$$C_E = \frac{CHF}{E} \quad \left[ \frac{CHF}{kWh} \right] \quad \text{Costo "energia"}$$

Dove:

CHF: costo

E: Energia prodotta in un tempo (t)

P<sub>n, stc</sub>: Potenza nominale del campo PV

# Rendimento $\eta$ (es. criterio 2)

$$\eta = \frac{P_m}{G_i * A} \quad \left[ \frac{kW}{(kW / m^2) * m^2} \right]$$

Dove:

$P_m$ : Potenza del campo PV

$G_i$ : Irraggiamento  $\Rightarrow$   $G_{stc}$  standard = 1 kW/m<sup>2</sup>

$A$ : Area [m<sup>2</sup>]  $\Rightarrow$  Superficie moduli

Mette in relazione la potenza installata con la superficie occupata dai moduli.  $\eta_{stc}$  è sempre riferito alle condizioni standard di  **$G_i = 1kW/m^2$**

# Tutti chiedono un “rendimento” elevato ...

- Raramente il rendimento è un criterio valido per la scelta di un modulo.
- E importante solo dove si hanno esigenze di spazio limitate [m<sup>2</sup>] combinate con esigenze di potenza elevate [kW].
- Sul mercato i moduli con il rendimento “più elevato” sono quelli più costosi.

# Rendimento a STC e reale

A: Area campo;  $E_{AC}$ : Energia all'uscita dell'ondulatore

$$\eta_{stc} [-] = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{n, stc}}{G_{stc} \cdot A} = \frac{[kW]}{\left[\frac{kW}{m^2}\right][m^2]}$$

$$\eta_{reale} [-] = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{E_{AC}}{H \cdot A} = \frac{[kWh]}{\left[\frac{kWh}{m^2}\right][m^2]}$$

# Rapporto rendimenti: "Performance Ratio" (PR)

$$\frac{\eta_{reale}}{\eta_{stc}} [-] = \frac{\frac{E_{ac}}{H \cdot A}}{\frac{P_n}{G_{stc} \cdot A}} = \frac{\frac{E_{AC}}{H}}{\frac{P_n}{G_{stc}}} \equiv PR [-]$$

PR  $\Rightarrow$  perdite totali in condizioni reali di funzionamento

# Uso del PR

Nota: per il calcolo numerico,  $G=1$  [kW/m<sup>2</sup>]

- **Valutare un impianto:**

Quantificare le perdite

(PR tipico 65..85%, nei migliori impianti PR=80%)

Stimare la produzione energia

- **Confrontare impianti:**

Confronto PR  $\Leftrightarrow$  Confronto  $E/(P.H)$

# Confronto e resa energetica: Yf e PR (es. criterio 3)

$$Y_f = \frac{E}{P_{n, stc}} \left[ \frac{\text{kWh (t)}}{\text{kW}} \right] \quad \text{Final Yield}$$

$$PR = \frac{E \cdot G_{stc}}{P_{n, stc} \cdot H} = \frac{E}{P_{n, stc} \cdot H} \left[ \frac{\text{kWh} * \text{1kW} / \text{m}^2}{\text{kWh} / \text{m}^2 * \text{kW}} \right] [-] \quad \text{Performance Ratio}$$

Dove:

**E: Energia** prodotta in un tempo (t)

H: Insolazione incidente in un tempo (t)

P<sub>n, stc</sub>: Potenza nominale del campo PV

G<sub>stc</sub>: Irraggiamento standard = **1 kW/m<sup>2</sup>**

# Confronto



P1, H1, E1

$P1 \neq P1; E1 \neq E2$

?

$E1 \Leftrightarrow E2$

$$Y_f = \frac{E}{P}$$

Ideale se  $H1 = H2$



P2, H2, E2



P1, H1, E1

$P1 \neq P1 ; H1 \neq H2$

$E1 \neq E2$

?

$E1 \Leftrightarrow E2$

$$PR = \frac{E}{P \cdot H}$$

Difficile ottenere H ☹



P2, H2, E2

# Produzione energia (es. criterio 4)

In prima approssimazione:

$$E_{ac} = P_n \cdot H_{inc} \cdot PR$$

$$[kWh] = [kWp / kW / m^2] * [kWh / m^2] * [-]$$

Dove:  $0.65 < PR_{ac} < 0.85$

# Correzione della potenza (1/2)

$$P_{\text{eff}} [\text{W}] \cong P_{\text{n, stc}} \cdot \left( \frac{G_{\text{mis}}}{G_{\text{stc}}} \right) [\text{W}]$$

**Solo effetto  
irraggiamento**

$$P_{\text{n, stc}} [\text{W}] \cong \frac{P_{\text{eff}}}{\left( \frac{G_{\text{mis}}}{G_{\text{stc}}} \right)} [\text{W}]$$

# Correzione della potenza (2/2)

$$P_{\text{eff}} [\text{W}] \cong \left( P_{\text{n, stc}} + k \cdot (T_c - 25) \cdot P_{\text{n, stc}} \right) \left( \frac{G_{\text{mis}}}{G_{\text{stc}}} \right) [\text{W}]$$

$$P_{\text{eff}} [\text{W}] \cong P_{\text{n, stc}} \cdot (1 + k \cdot (T_c - 25)) \cdot \left( \frac{G_{\text{mis}}}{G_{\text{stc}}} \right) [\text{W}]$$

$$P_{\text{n, stc}} [\text{W}] \cong \frac{P_{\text{eff}}}{(1 + k \cdot (T_c - 25)) \cdot \left( \frac{G_{\text{mis}}}{G_{\text{stc}}} \right)} [\text{W}]$$

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta T} \cong -0.4\% / ^\circ\text{C}$$

Coefficiente di temperatura

**Effetto  
irraggiamento  
e  
temperatura**

Nota:  
approssimazione,  
occorre correggere  
I e V  
"separatamente"

# SPAZIO (valori tipici riferiti a 1m<sup>2</sup>)

Su un m <sup>2</sup> ...				
	Descrizione	Oss.	Unità	Valore tipico al m <sup>2</sup>
giunge...	Potenza solare globale, in un istante di bel tempo	Incl. 45°	W/m <sup>2</sup>	<b>1'000</b>
	Energia solare globale, durante un bel giorno	Incl. 45°	kWh/m <sup>2</sup> .d	<b>7</b>
	Energia solare globale, durante un anno	Incl. 45°	kWh/m <sup>2</sup> .a	<b>1300</b>
installo...	Potenza PV installabile: • sc-Si • mc-Si • a-Si triple junction • CdTe / CIS $P_{1mq} [W/m^2] = \eta(\%) \cdot 10$	$\eta = 12\%$	W/m <sup>2</sup>	<b>120</b>
		$\eta = 10.9\%$	W/m <sup>2</sup>	<b>109</b>
		$\eta = 6.2\%$	W/m <sup>2</sup>	<b>62</b>
		$\eta = 8.7\%$	W/m <sup>2</sup>	<b>87</b>
costa...	Costo moduli: • sc-Si • mc-Si • a-Si triple junction • CdTe / CIS $C_{1mq} [Fr/m^2] =$ $C_{1w} [Fr/W] \cdot P_{1mq} [W/m^2]$	(*)		
		6.7 Fr/W	Fr/m <sup>2</sup>	<b>804</b>
		6.0 Fr/W	Fr/m <sup>2</sup>	<b>654</b>
		5.3 Fr/W	Fr/m <sup>2</sup>	<b>329</b>
produce...	Energia dc prodotta durante un anno: • sc-Si • mc-Si • a-Si triple junction • CdTe / CIS $E_{1mq} [kWh/m^2.a] = Y_f \cdot P_{1mq}$ oppure $E_{1mq} [kWh/m^2.a] = PR \cdot H_{1mq} \cdot P_{1mq}$	Incl. 45°		
		1010 Wh/W	kWh/m <sup>2</sup> .a	<b>121</b>
		1000 Wh/W	kWh/m <sup>2</sup> .a	<b>109</b>
		1140 Wh/W	kWh/m <sup>2</sup> .a	<b>71</b>
		1120 Wh/W	kWh/m <sup>2</sup> .a	<b>97</b>

(\*) Costo moduli: costo medio mod. acquistati I SAAC; (\*\*) Costo energia: su 25 anni, senza computo interessi

# POTENZA (valori tipici riferiti a 1W)

Un Watt ...				
	Descrizione	Oss.	Unità	Valore tipico al W
<b>occupa...</b>	<u>Potenza PV installabile:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sc-Si</li> <li>• mc-Si</li> <li>• a-Si triple junction</li> <li>• CdTe / CIS</li> </ul>	$A_{1W} [m^2 / W] = 1 / (\eta(\%) \cdot 10)$	$\eta = 12\%$ $m^2 / W$ $\eta = 10.9\%$ $m^2 / W$ $\eta = 6.2\%$ $m^2 / W$ $\eta = 8.7\%$ $m^2 / W$	<b>0.00834</b> <b>0.00917</b> <b>0.01613</b> <b>0.01149</b>
<b>costa...</b>	<u>Costo moduli:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sc-Si</li> <li>• mc-Si</li> <li>• a-Si triple junction</li> <li>• CdTe / CIS</li> </ul>	$C_{1w} [Fr/W]$	(*) 6.7 Fr/W 6.0 Fr/W 5.3 Fr/W 4.5 Fr/W	<b>6.7</b> <b>6.0</b> <b>5.3</b> <b>4.5</b>
<b>produce...</b>	<u>Energia dc prodotta durante un anno:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sc-Si</li> <li>• mc-Si</li> <li>• a-Si triple junction</li> <li>• CdTe / CIS</li> </ul>	$E_{1w} [kWh/a.W] = Y_f / 1'000$	Incl. 45° 1010 Wh/W 1000 Wh/W 1140 Wh/W 1120 Wh/W	<b>1.01</b> <b>1.00</b> <b>1.14</b> <b>1.12</b>
<b>"resa" ...</b>	<u>Costo medio dell'energia prodotta durante 25 anni:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sc-Si</li> <li>• mc-Si</li> <li>• a-Si triple junction</li> <li>• CdTe / CIS</li> </ul>	$R_{1w} [Fr/kWh] = C_{1w} [Fr/W] / 25 [a] E_{1w} [kWh/a W]$	Incl. 45° (**) 1010 Wh/W 1000 Wh/W 1140 Wh/W 1120 Wh/W	<b>0.27</b> <b>0.24</b> <b>0.19</b> <b>0.16</b>

(\*) Costo moduli: costo medio mod. acquistati I SAAC; (\*\*) Costo energia: su 25 anni, senza computo interessi

# Come reperire i dati meteo?

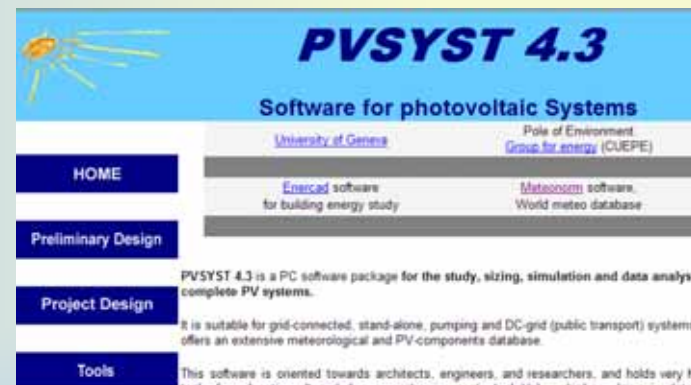
[www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)



- Software Meteonorm versione 6.0
- Costo: 650 Fr
- Versione demo per 10 giorni

# Quali strumenti per il dimensionamento?

[www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)



- Software PVSYST versione 4.3
- Costo 900 Fr (500 Fr vers. ridotta pre-design +tools)
- Prezzo speciale per corsisti: 750 Fr
- Versione demo per 10 giorni
- Inoltre: Meteo + componenti + Tools

# Altri software per il predimensionamento (gratuiti)

**[www.sma.de/solar](http://www.sma.de/solar)**

- Genau 7.43 (foglio excel)
- Sunny Design v. 1.44

**[www.solarmax.com](http://www.solarmax.com)**

- MaxDesign 2.4

**<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>**

- **PVGIS** (Photovoltaic Geographical Information System)

# Banche dati prodotti PV (moduli, inverter,...)



<http://www.photon.de/shop>

[http://www.zeroemission.it/pages/rivista\\_FV.asp](http://www.zeroemission.it/pages/rivista_FV.asp)

# Per progettazioni più accurate...

- Reperire indirizzi e dati tecnici di componenti PV
- Valutare l'affidabilità dei dati dei fabbricanti
- Progettazioni più accurate, consulenze, monitoraggi
- Altri controlli su moduli o impianti

Rivolgetevi alla  
Centrale ISAAC

[www.isaac.supsi.ch](http://www.isaac.supsi.ch)

