

# PANNELLI SOLARI PV/T: STATO DELL'ARTE E PRIMI RISULTATI SPERIMENTALI

Candidato: Giacomo Argentero

Relatore: Prof. Paolo Gambino

20 Luglio 2010

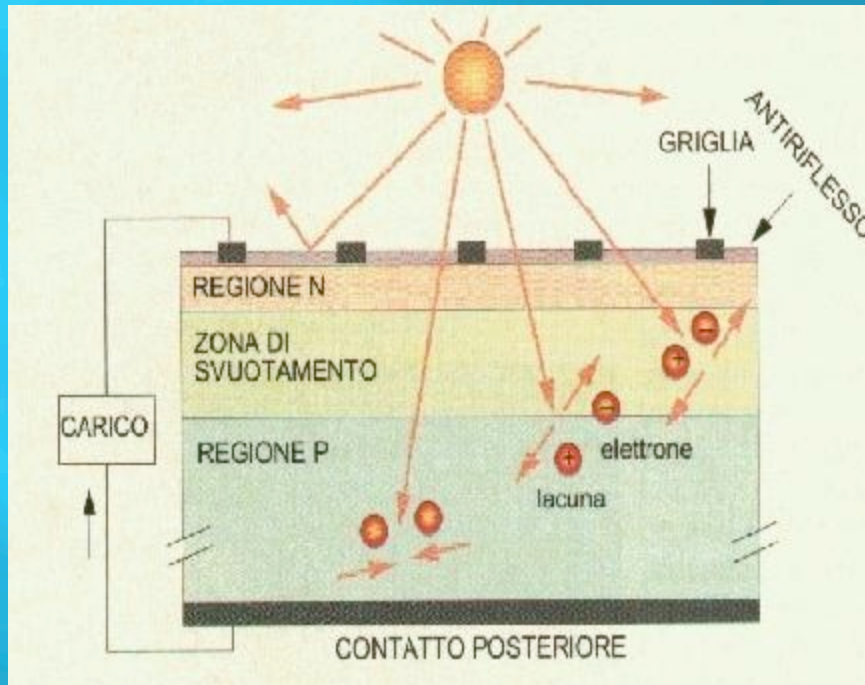
# Il pannello fotovoltaico

Converte l'energia luminosa proveniente dal sole in energia elettrica mediante effetto fotovoltaico.

È costituito da più celle fotovoltaiche realizzate con materiali semiconduttori. Il silicio è in assoluto l'elemento più utilizzato e può essere impiegato in diverse forme quali il monocristallino, il policristallino e l'amorfo.



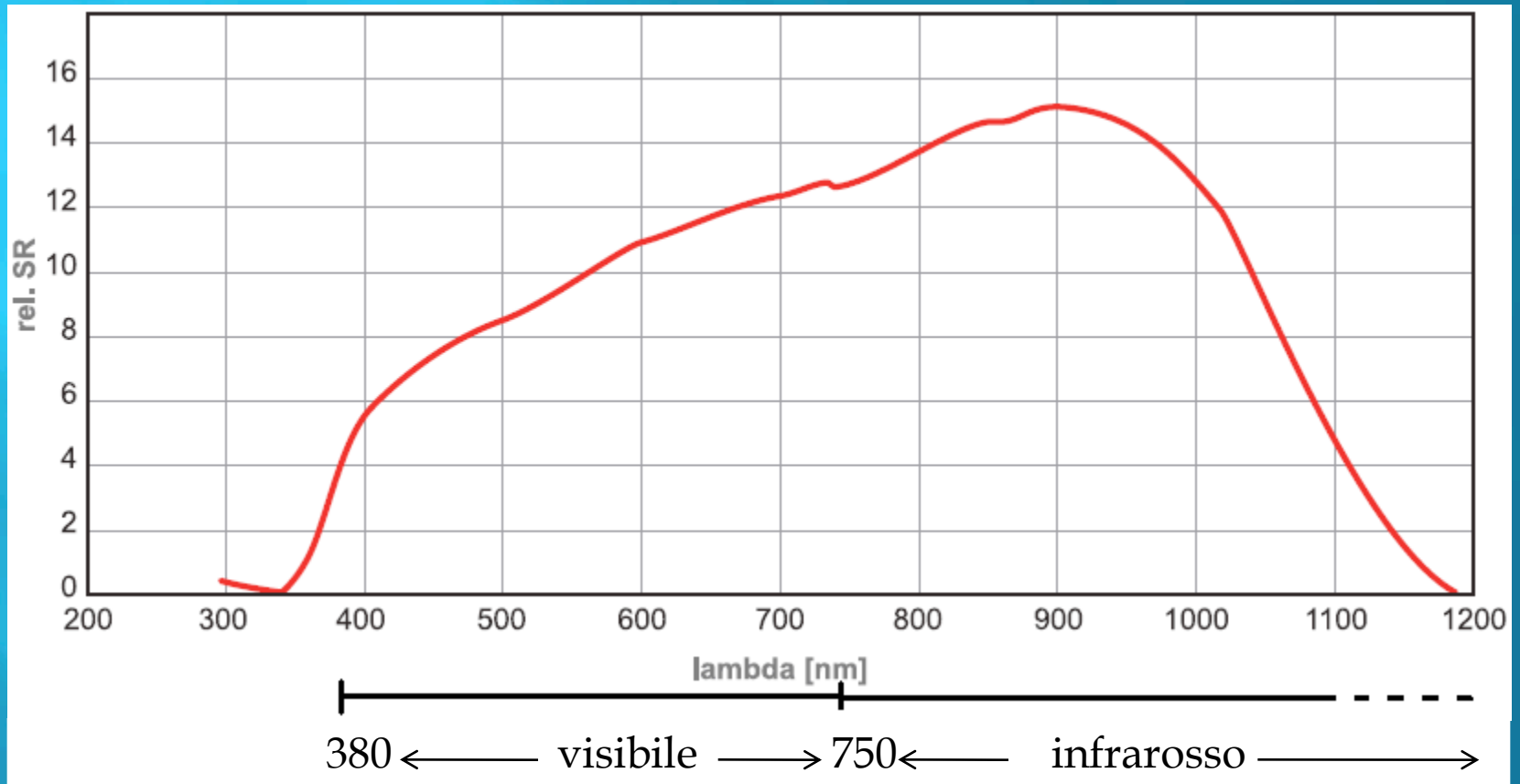
# L'effetto fotovoltaico



La radiazione solare fornisce una quantità di energia sufficiente a promuovere una certa quantità di elettroni in banda di conduzione creando un pari numero di coppie elettroni-lacune. Il campo elettrico di built-in caratteristico della giunzione p-n separa gli elettroni dalle lacune spingendoli in direzioni opposte lungo il circuito esterno dove è presente il carico. La somma dei flussi di lacune e elettroni determina la corrente totale che viene prodotta.

Energy Gap Silicio = 1,1 eV  $\longrightarrow$   $\lambda \leq 1127$  nm  
Vicino infrarosso-Visibile

# Risposta spettrale del silicio





Silicio  
policristallino



Silicio  
monocristallino



Silicio  
amorfo



Le tecnologie sono caratterizzate da diversi rendimenti:

- 15% nei moduli in silicio monocristallino;
- 13% nei moduli in silicio policristallino;
- 6 - 8% nei moduli in silicio amorfo.

# Il fattore temperatura

L'efficienza di un pannello è influenzata dalla sua temperatura di lavoro. In particolare:

Grandezza	Effetto all'aumentare della temperatura	Coefficienti di temperatura caratteristici
Tensione	Diminuisce	$\sim (-0,2/-0,5\%) / ^\circ\text{C}$
Corrente	Aumenta poco	$\sim (+0,02/+0,08)\% / ^\circ\text{C}$
Potenza	Diminuisce	$\sim (-0,2/-0,5\%) / ^\circ\text{C}$
Efficienza	Diminuisce	$\sim (-0,2/-0,5\%) / ^\circ\text{C}$

Se l'efficienza di un pannello è 15% a 25°C, in certi casi, a 70°C si raggiunge solo l'11,6%, ovvero si riduce di più del 20%!

# Effetti all'aumentare della temperatura

La corrente rimane pressochè costante

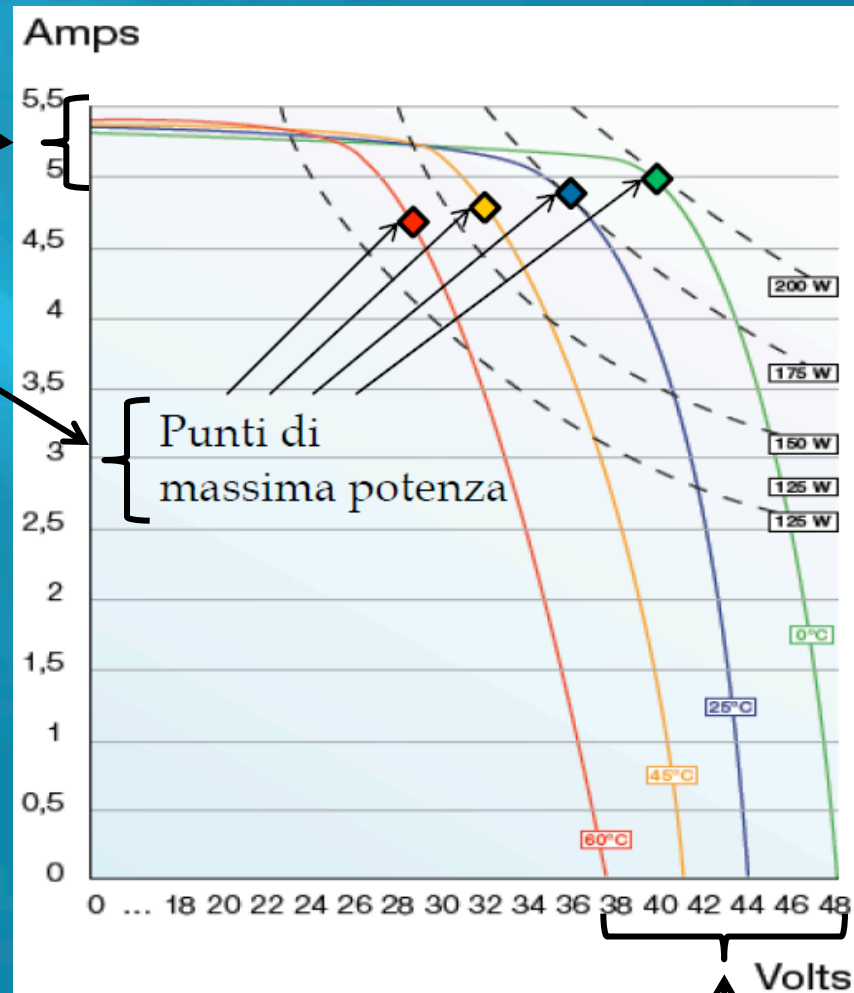
La potenza diminuisce

Verde = 0°C

Blu = 25°C

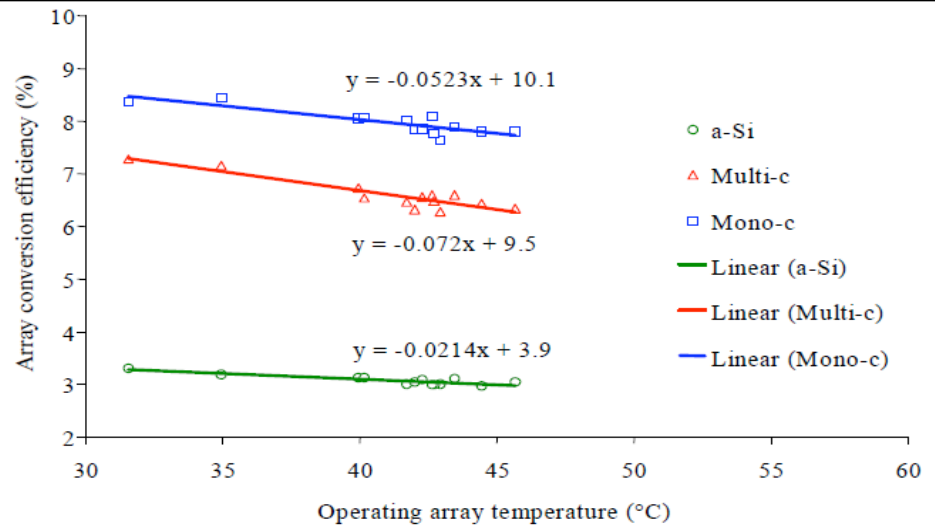
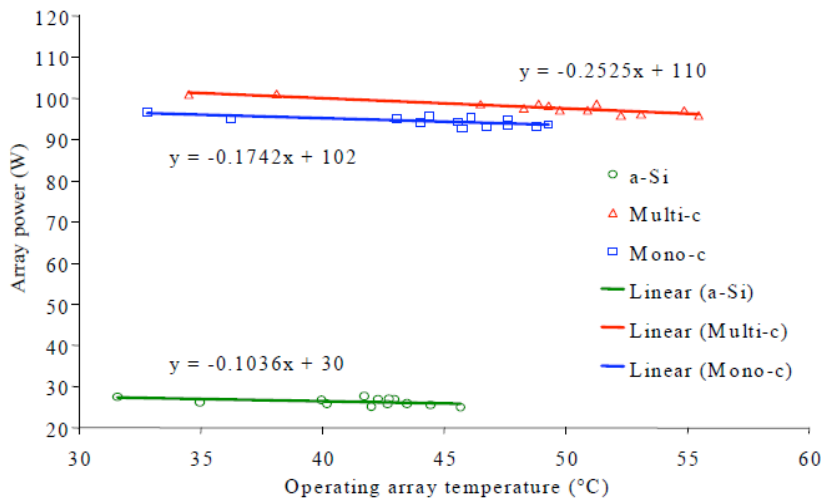
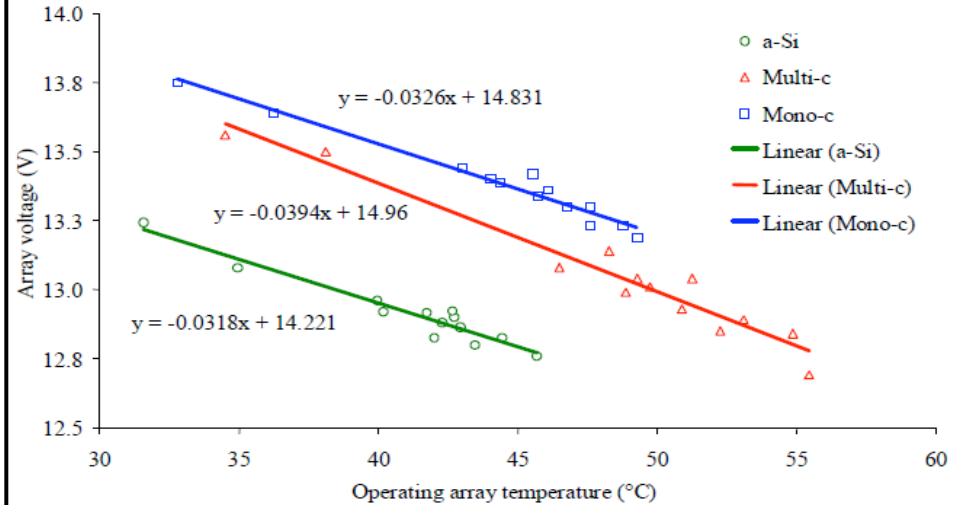
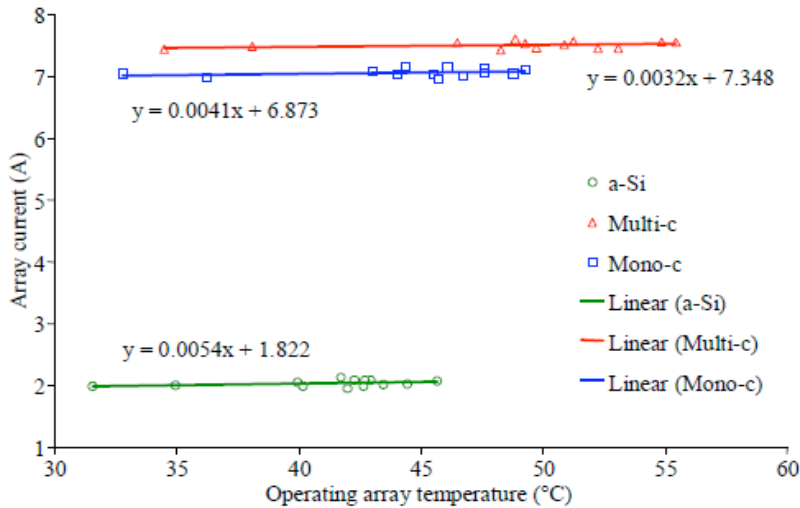
Arancione = 45 °C

Rosso = 60°C



La tensione diminuisce

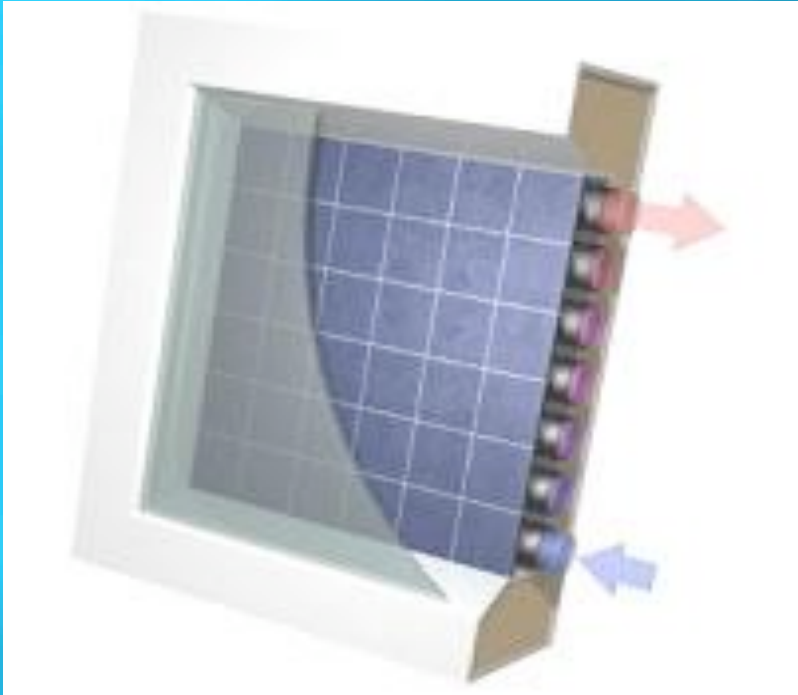
# Dipendenza dalla temperatura



[immagini tratte da: "The Temperature Dependence Coefficients of Amorphous Silicon and Crystalline Photovoltaic Modules" di Sulaiman Shaari et al., American Journal of Applied Sciences 6 (4) 586, 2009]



# Il pannello ibrido PV/T



Un pannello PV/T (photovoltaic/thermal) è un pannello che consente sia la produzione di energia elettrica per effetto fotovoltaico sia la conversione della radiazione solare in energia termica.

**Raffreddamento del modulo → miglioramento dell'efficienza elettrica**

**Riscaldamento dell'acqua → recupero di energia termica**

**Sovrapposizione dei moduli → economia di spazio**

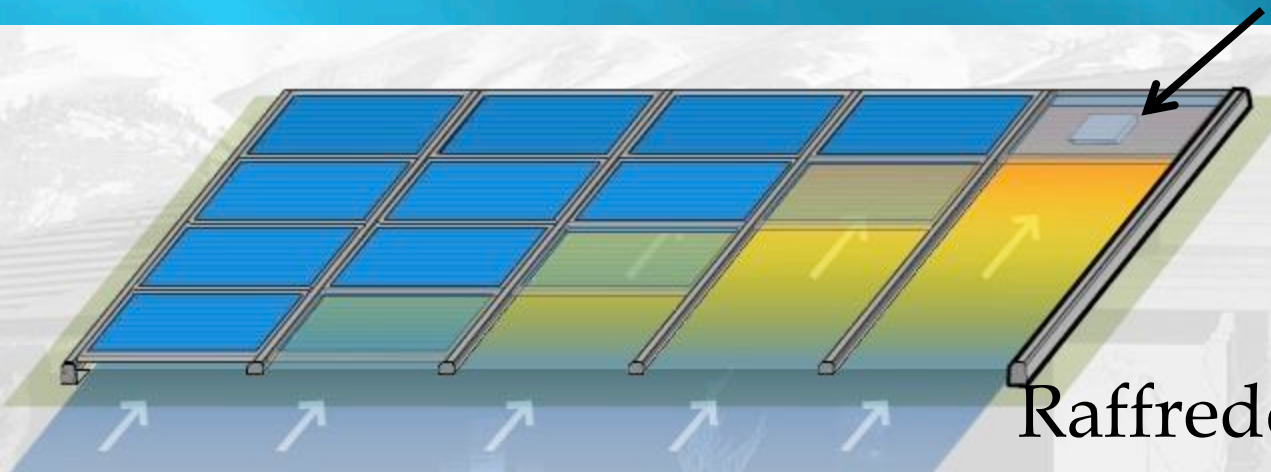
**Riduzione degli stress termici → allungamento della vita del pannello**

# Altre soluzioni:

## Inversione dei moduli

Strato d'acqua superiore

Pannello fotovoltaico inferiore



Collettore di aria calda comunicante con l'interno dell'abitazione

Raffreddamento ad aria

# IL NOSTRO IMPIANTO

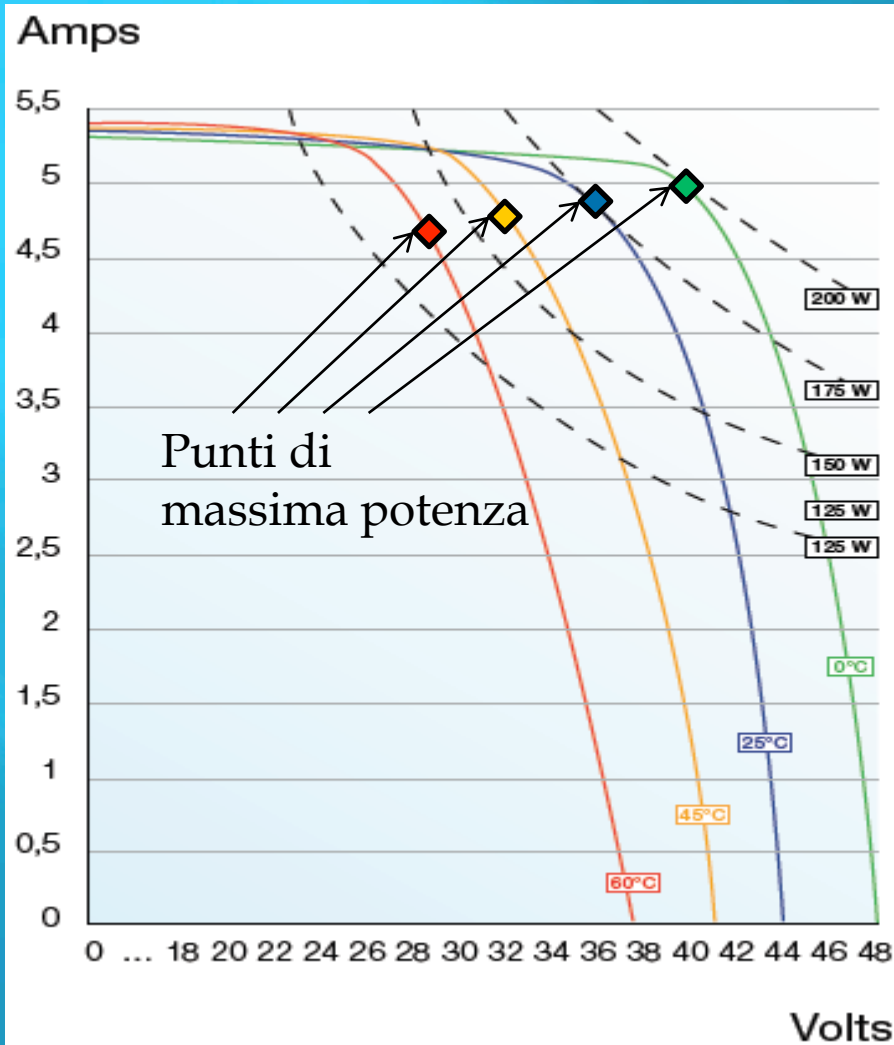




# Il lavoro sperimentale

L'obiettivo della nostra indagine è quello di verificare la dipendenza dalla temperatura delle caratteristiche elettriche di un modulo fotovoltaico, misurare tensione e corrente erogate da un pannello PV/T, quantificare il miglioramento nelle prestazioni elettriche e calcolare il rendimento termico di questa tecnologia per confrontare poi i risultati con quelli dei moduli tradizionali.

# Le misure effettuate: misure elettriche



Misure su singolo modulo:

- 1) Tensione a circuito aperto ( $V_{OC}$ )
- 2) Corrente di corto circuito ( $I_{SC}$ )

Potenza prodotta

$$P = V_{max} \times I_{max}$$



# Le misure effettuate: misure termiche

- 1) Temperatura di ingresso dell'acqua nel pannello ( $T_{IN}$ )
- 2) Temperatura di uscita dell'acqua dal pannello ( $T_{OUT}$ )
- 3) Portata dell'acqua ( $\gamma$ )

L'efficienza si esprime attraverso la relazione:

$$\eta = \frac{\gamma C_{H_2O} (T_{OUT} - T_{IN})}{G A_p}$$

dove:

$C_{H_2O}$  è il calore specifico dell'acqua, 4186 (J/(Kg\*K))

$G$  è l'irraggiamento solare (W/m<sup>2</sup>)

$A_p$  è la superficie del pannello (m<sup>2</sup>)

# La strumentazione

Multimetri digitali



termocoppie



Errori:

Tensione: 1% lettura + 0,03 mV

Corrente: 2% lettura

Errore:

Temperatura: 0,1 °C



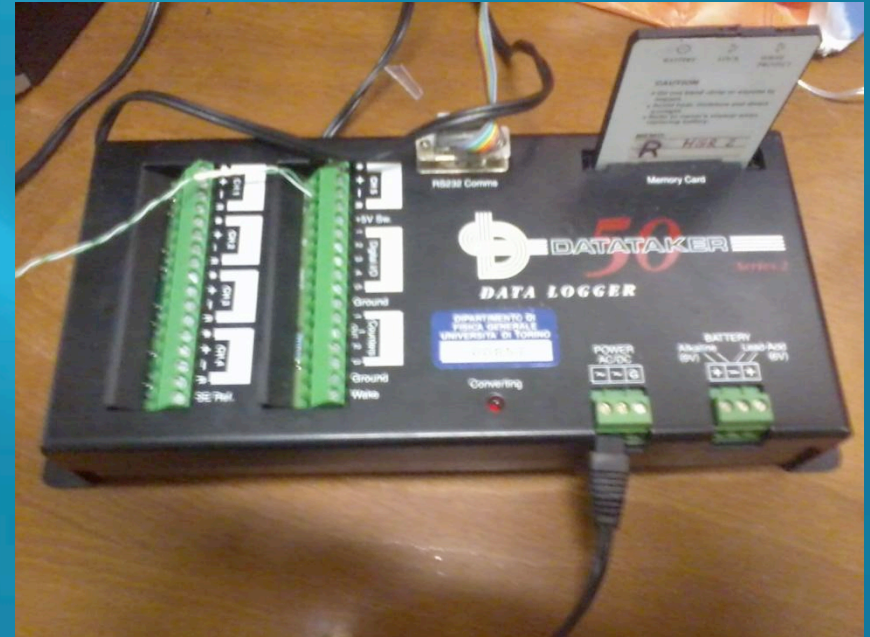
# La strumentazione

Solarimetro



Errore:  
Irraggiamento: 3% lettura + 5 W/m<sup>2</sup>

Datataker



Errore: << errori strumenti

# Pannello in silicio amorfo (Thin Film)

MODULO  
TRADIZIONALE



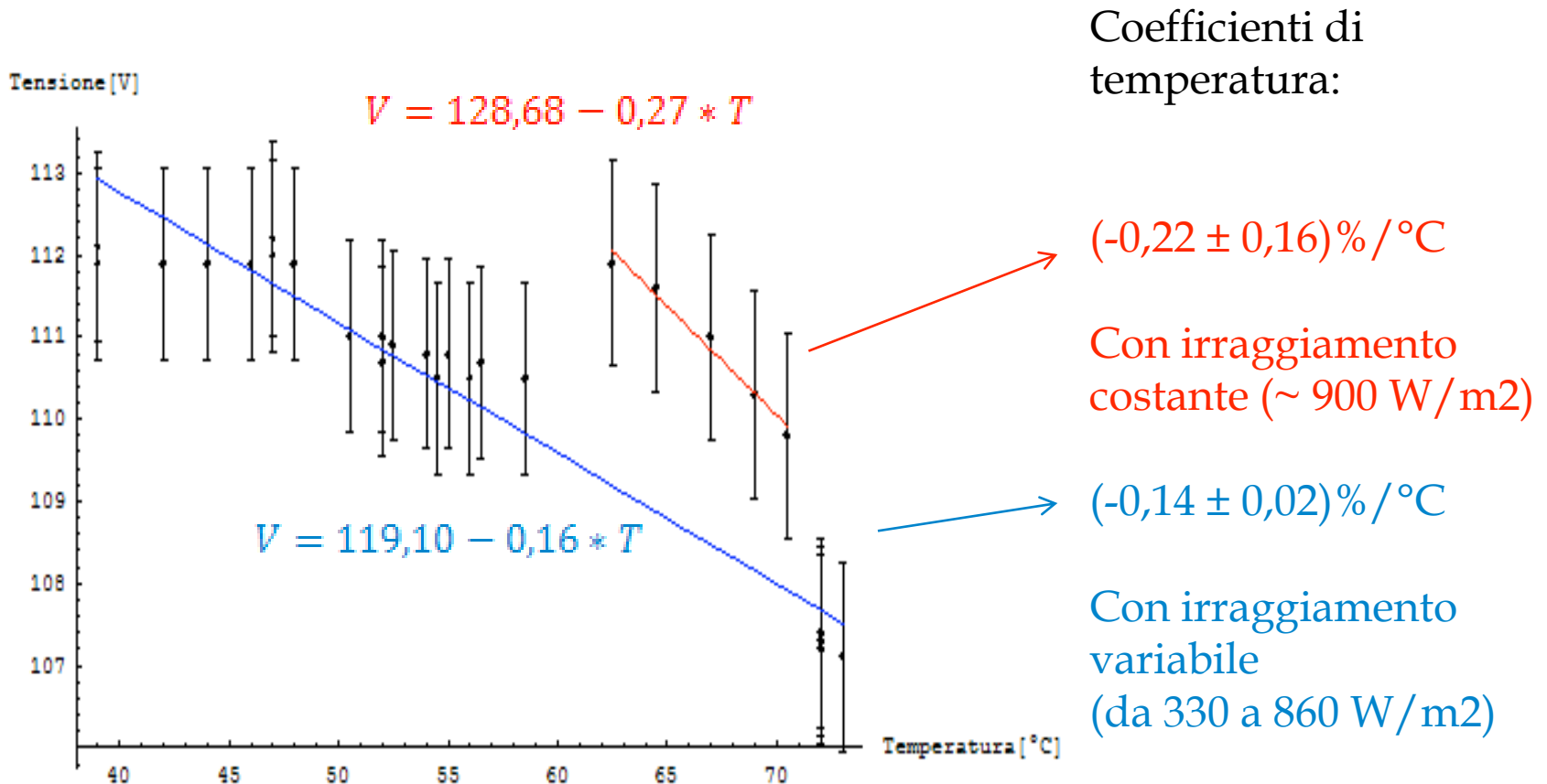
MODULO IBRIDO



Si tratta dello stesso modulo fotovoltaico montato in due configurazioni diverse, con e senza serpentina di raffreddamento sul retro.

# Risultati del confronto

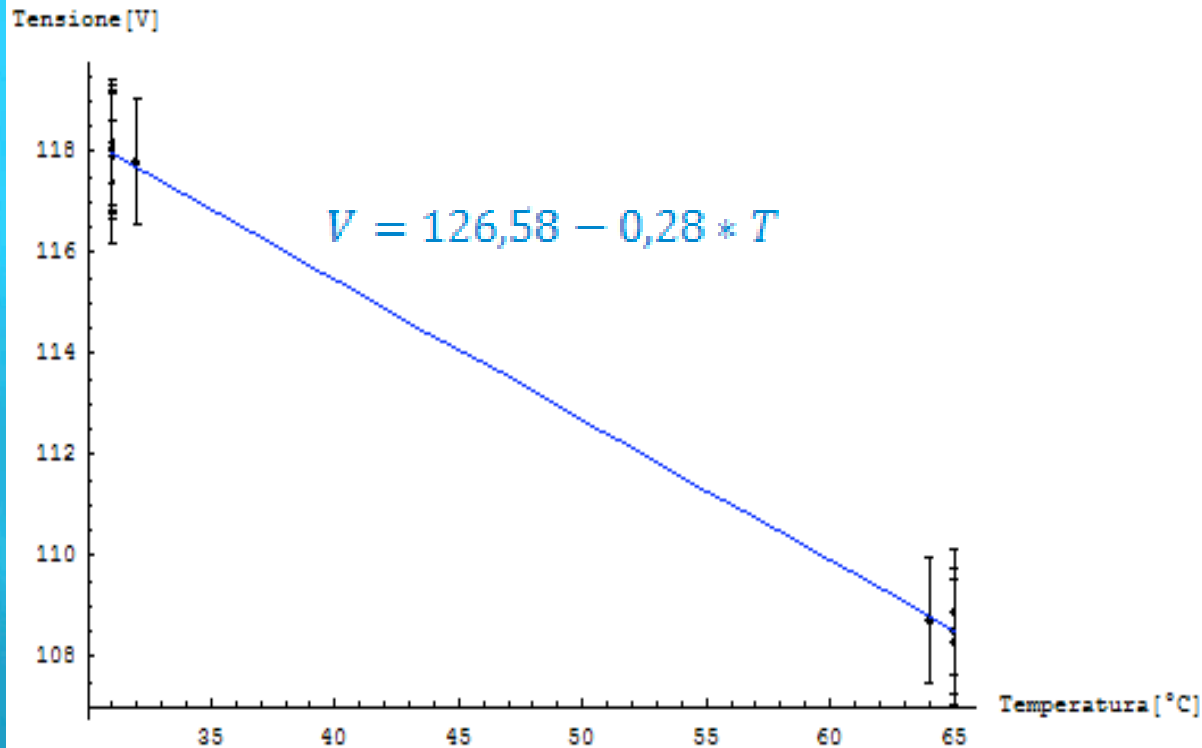
## MODULO TRADIZIONALE





# Risultati del confronto

## MODULO IBRIDO



Coefficiente di  
temperatura:

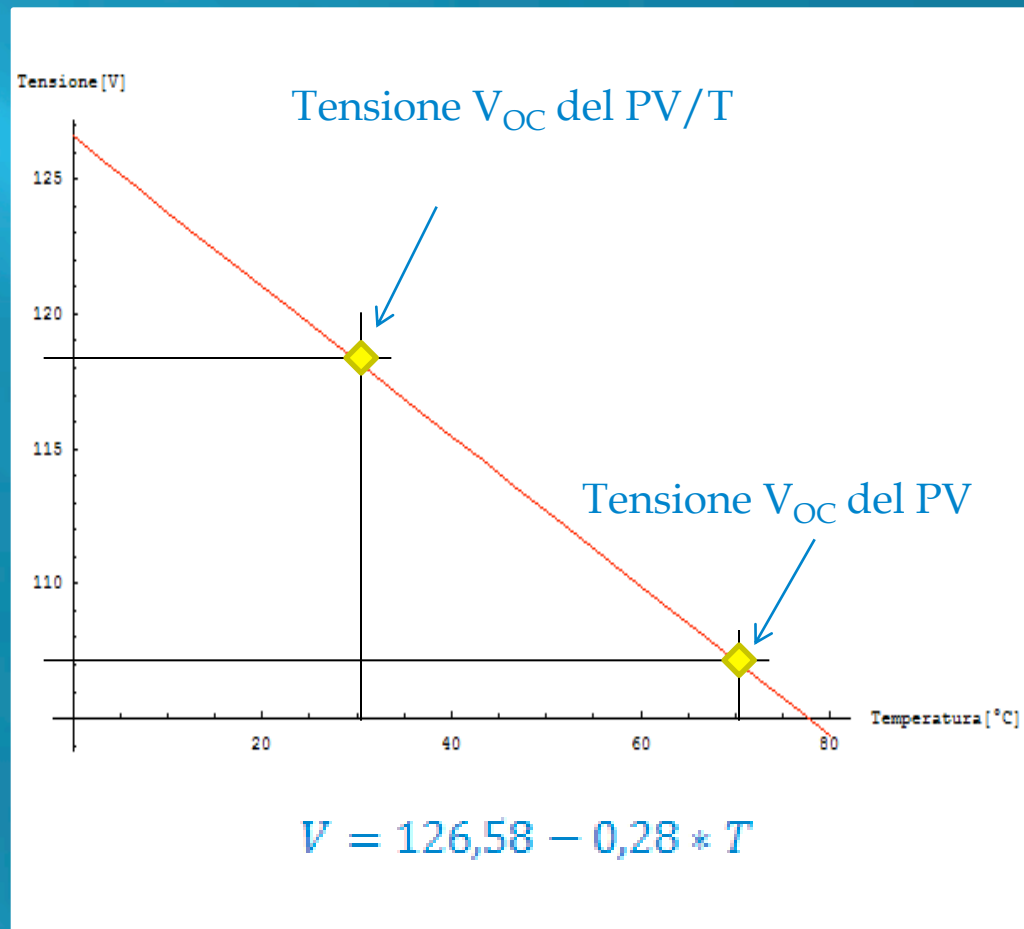
$(-0,23 \pm 0,02)\% / ^\circ\text{C}$

Con irraggiamento costante  
(800-900 W/m<sup>2</sup>)

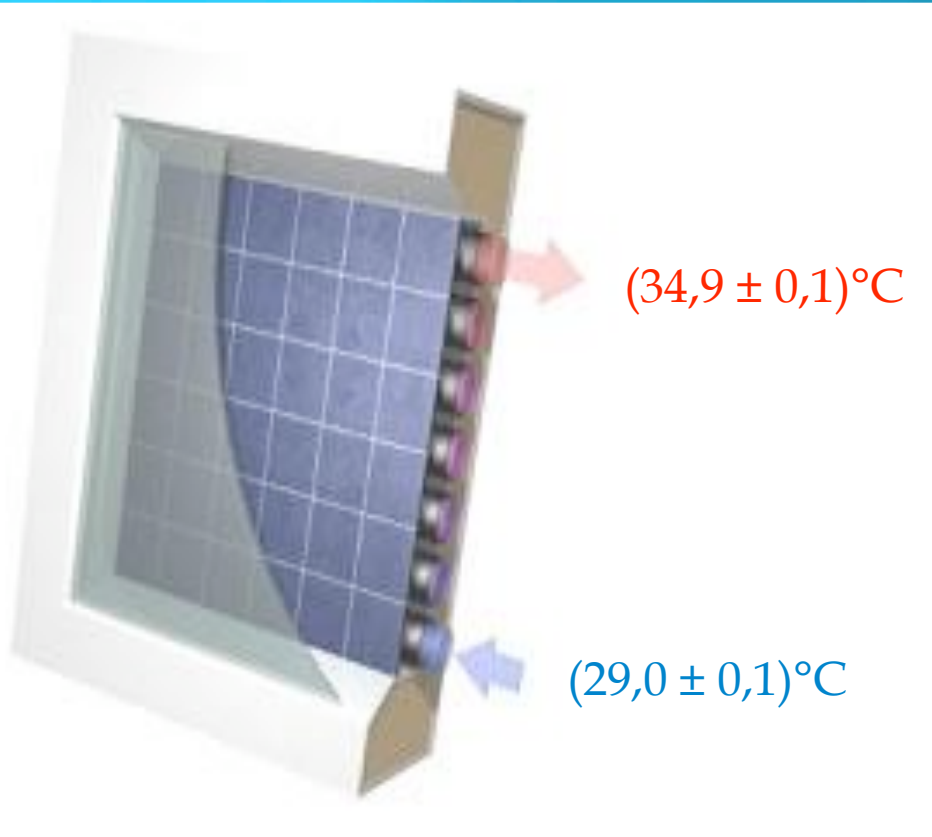
# Risultati del confronto

I parametri delle due rette per i due moduli a irraggiamento costante sono compatibili tra loro, in particolare lo sono i coefficienti di temperatura.

Da questo confronto emerge il risultato che il pannello ibrido ha, durante le ore più calde del giorno, una temperatura media di circa 30 gradi, mentre il pannello tradizionale ha una temperatura di circa 70 gradi. In queste condizioni il pannello ibrido eroga una tensione di circuito aperto più grande di  $(10,5 \pm 3,1)\%$  rispetto a quella erogata dal pannello tradizionale.



# Prestazioni termiche

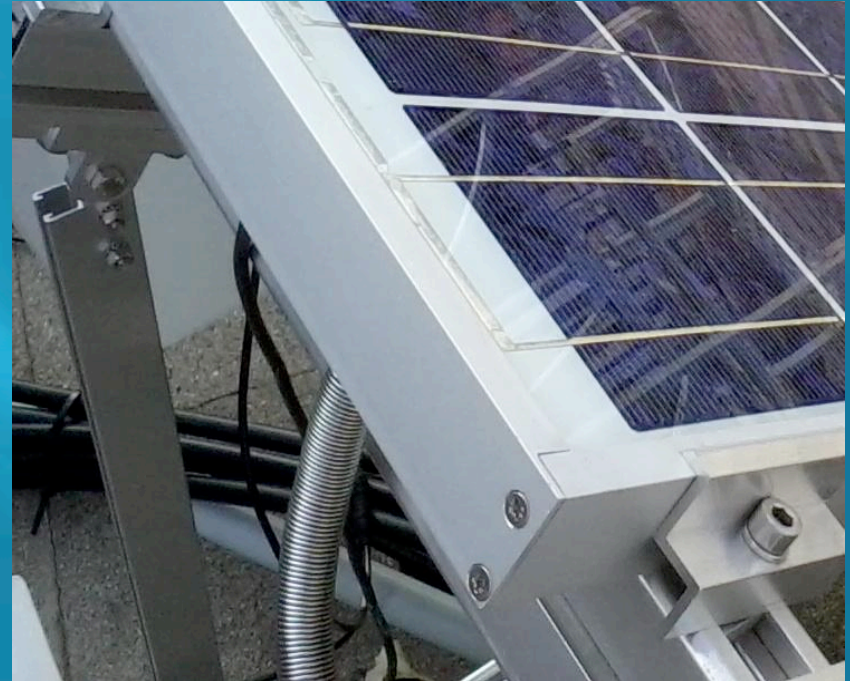
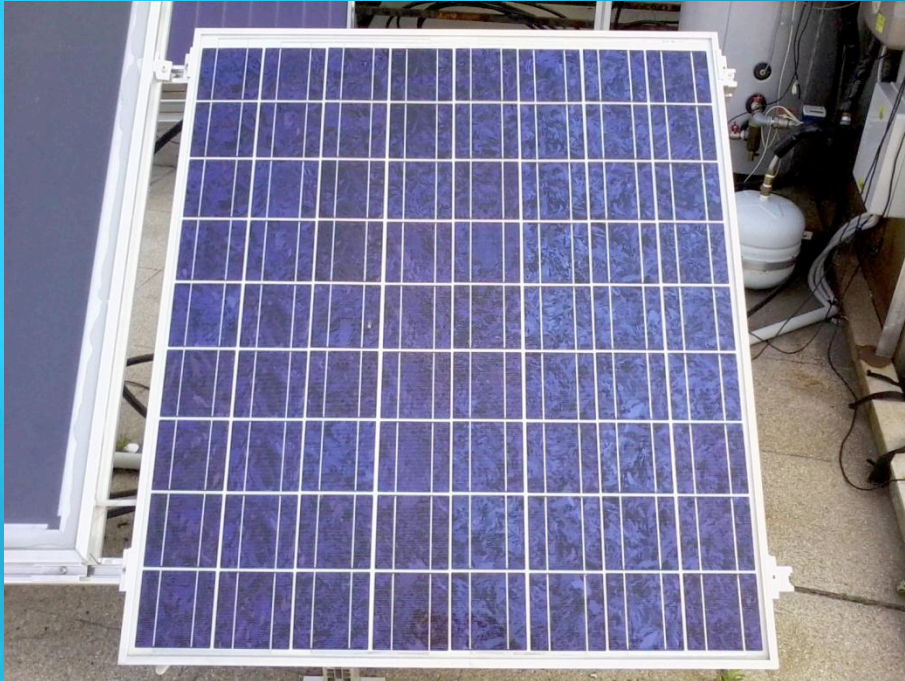


Serie di 27 misure con:

- Irraggiamento medio:  
 $(865 \pm 31) \text{ W/m}^2$
- Portata:  
 $(1,35 \pm 0,07) \text{ l/min}$
- Area pannello:  
 $(1,338 \pm 0,002) \text{ m}^2$
- $\Delta T$  medio:  
 $(5,9 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$

Rendimento termico:  $(48,2 \pm 3,2) \%$

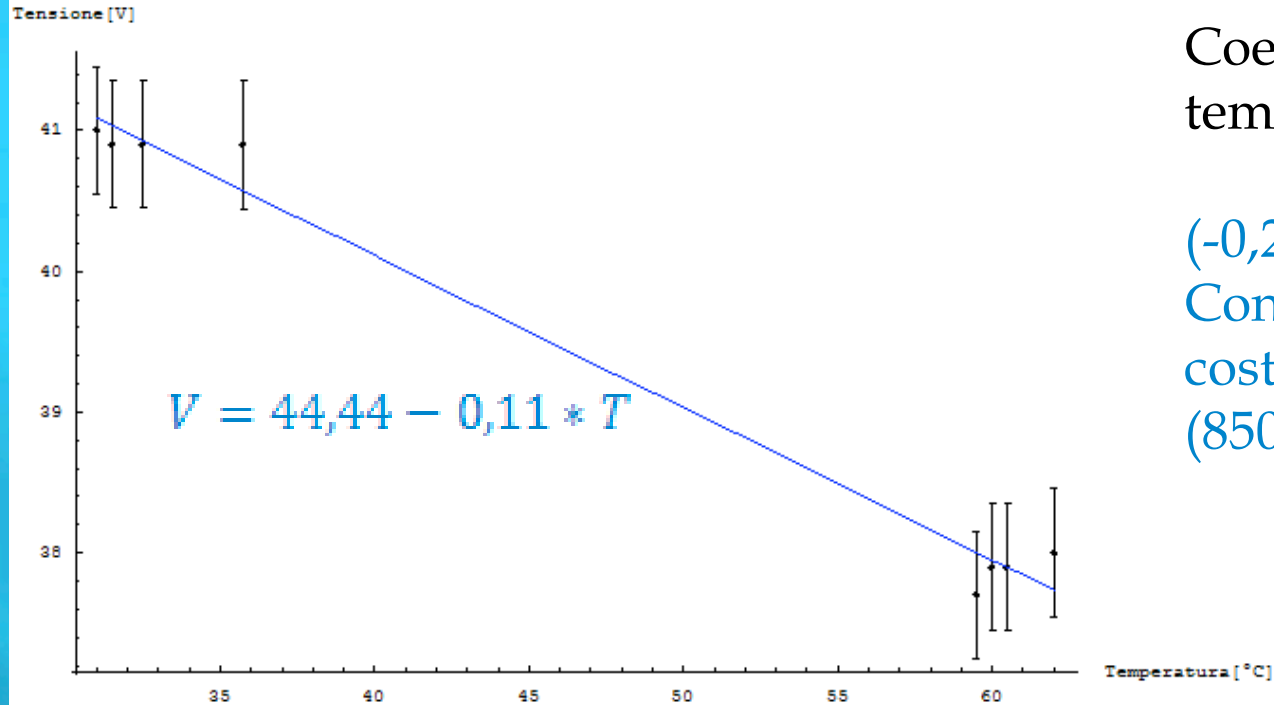
# Pannello ibrido in silicio policristallino



Tubo per l'ingresso dell'acqua nel pannello



# Prestazioni elettriche



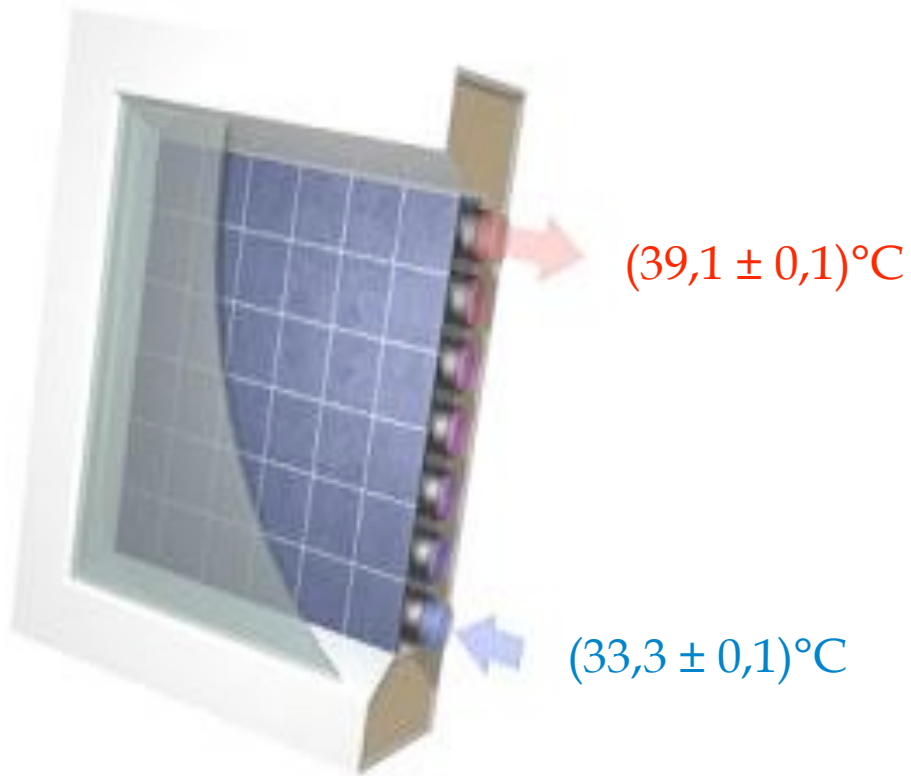
Coefficiente di temperatura:

$(-0,26 \pm 0,02)\% / ^\circ\text{C}$   
Con irraggiamento costante  
(850-900 W/m<sup>2</sup>)

Quando il modulo passa da una temperatura di 70 °C a una temperatura di 30 °C la tensione di circuito aperto prodotta sale del  $(12,0 \pm 3,1)\%$



# Prestazioni termiche



Serie di 27 misure con:

- Irraggiamento medio:  
 $(865 \pm 31) \text{ W/m}^2$
- Portata:  
 $(1,14 \pm 0,05) \text{ l/min}$
- Area pannello:  
 $1,338 \text{ m}^2$
- $\Delta T$  medio:  
 $(5,8 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$

Rendimento termico:  $(39,6 \pm 2,3) \%$

# Conclusioni

## PANNELLO IBRIDO AMORFO

- ▣ Miglioramento nelle prestazioni elettriche:  
~ +10% di  $V_{OC}$  prodotta  
 $I_{SC} \sim$  costante

- ▣ Rendimento termico aggiuntivo:  
 $\eta_{th} \sim 48\%$

## PANNELLO IBRIDO POLICRISTALLINO

- ▣ Miglioramento nelle prestazioni elettriche:  
~ +12% di  $V_{OC}$  prodotta  
 $I_{SC} \sim$  costante

- ▣ Rendimento termico aggiuntivo:  
 $\eta_{th} \sim 40\%$

Pannello termico tradizionale:  $\eta_{th} = (41,8 \pm 4,5)\%$

[Home](#)[Blog](#)[Gallery](#)[About Us](#)[Contact Us](#)

## Minilab ENERGETICAMENTE



The Minilab ENERGETICAMENTE is located on the roof of the Physics Department of the University of Torino. It is an equipped testing ground for solar photovoltaic and thermal panels. It was born out of the collaboration of the University with Enfasi, s.c.r.l. The Minilab tests and performs research on PV and PVT solar panels. We have been invited to present a new solar collector at the Energy Festival in Lecce, May 2009.

## Categories

[The Collaboration](#)[PV, PVT resources](#)[Experimental results](#)[Equipment](#)[Theses](#)[Calendar](#)

## Minilab News

[» 21-06-2010](#)[Sessione di prova](#)



# Ringraziamenti

