



III-V MULTIJUNCTION Solar cells

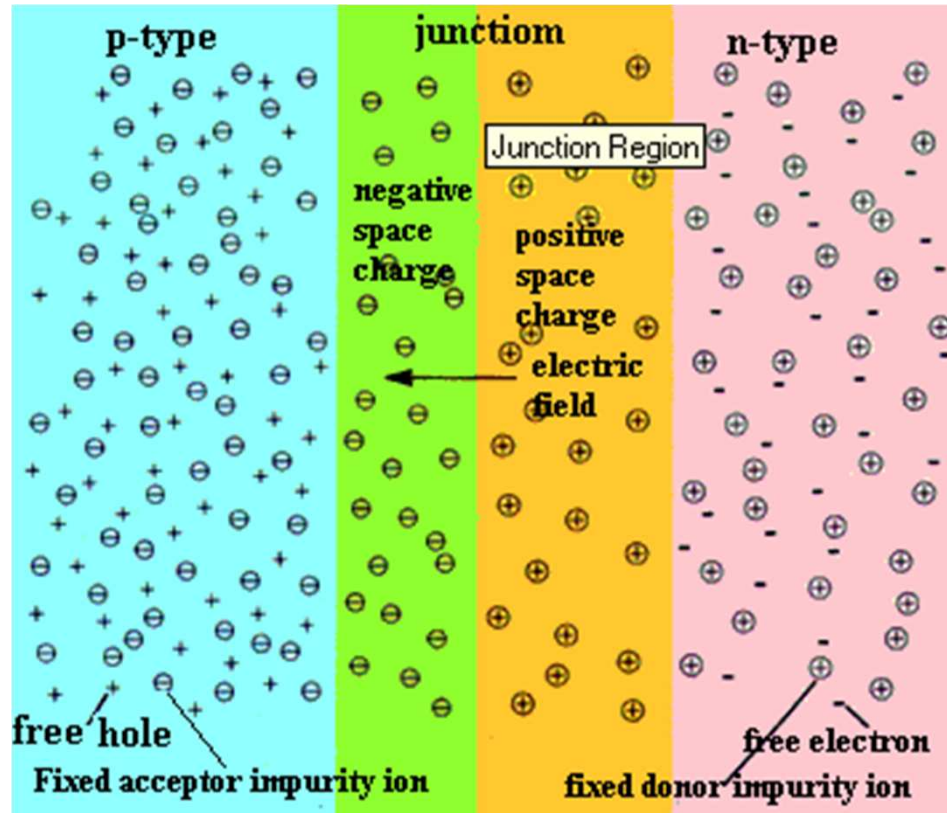
Structure and method of operation

MAY 17, 2019

Franco Gelardi
DIPARTIMENTO DI FISICA E CHIMICA
UNIVERSITÀ DI PALERMO

Giunzione p-n

Accoppiando un semiconduttore drogato-p con uno drogato-n si forma una cosiddetta giunzione p-n, schematizzata in figura



- le coppie elettrone-lacuna ($e^- - h^+$) che si creano nella zona di svuotamento verranno separate e le cariche **positive** e **negative** spinte fuori dalla quella zona in due versi opposti, le lacune verso la zona **p**, gli elettroni verso la zona **n**.

N.B. I due contributi alla corrente totale sono concordi

La fotocorrente

L'energia termica $kT \sim 25 \text{ meV}$ a $T=300 \text{ K}$ è molto minore dell'energia di gap E_g
MA

L'energia necessaria alla creazione di una coppia elettrone-lacuna può essere fornita da radiazione e.m. che abbia energia maggiore o uguale a E_g

$$h\nu \geq E_g$$

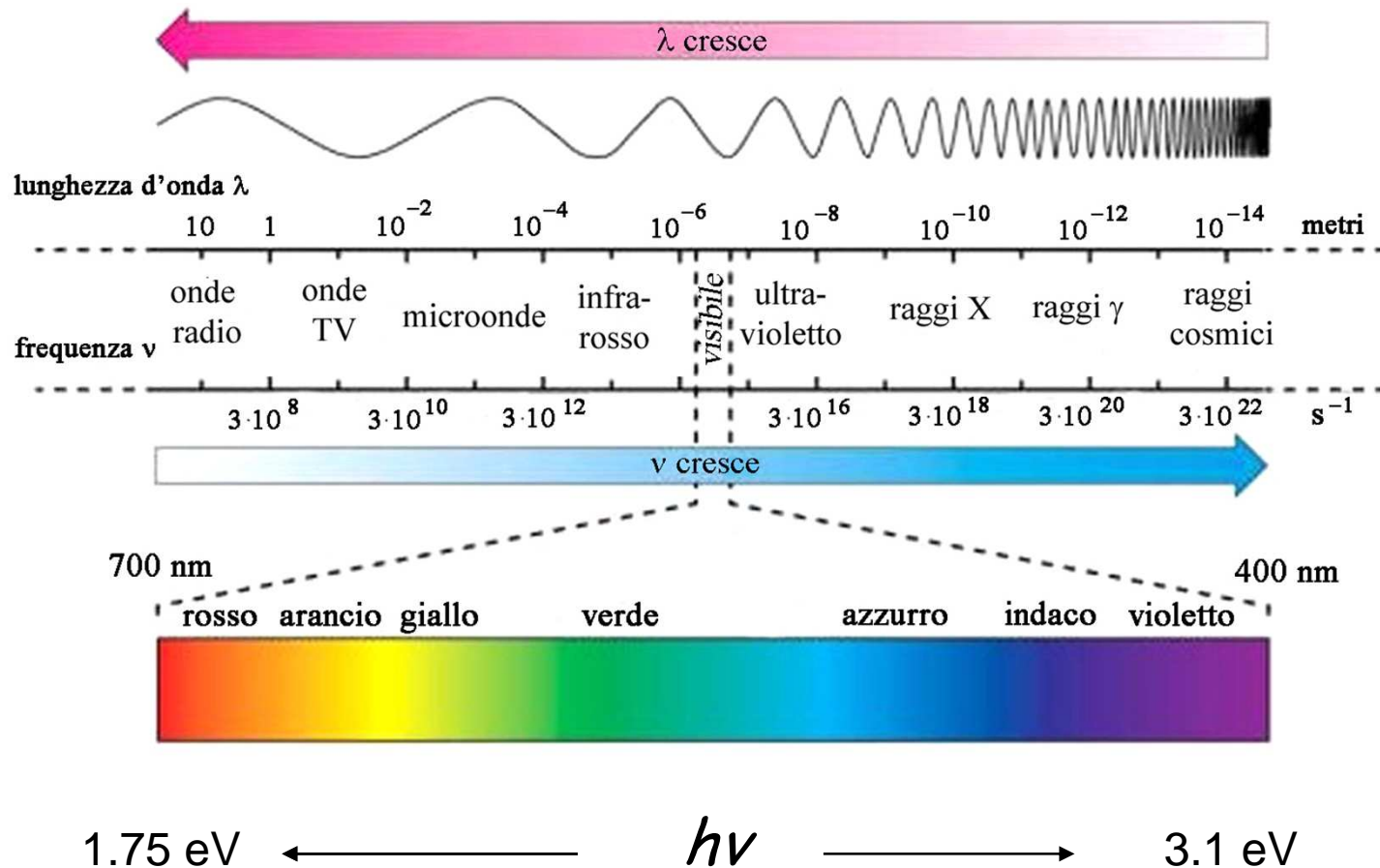
ABBIAMO "SCOPERTO" L'EFFETTO FOTOVOLTAICO E POSSIAMO AVERE UNA FOTOCORRENTE!!!!!!

In maniera complementare, in un processo di ricombinazione di coppie elettrone-lacuna un'energia E_g potrà essere rilasciata sotto forma di radiazione emessa.

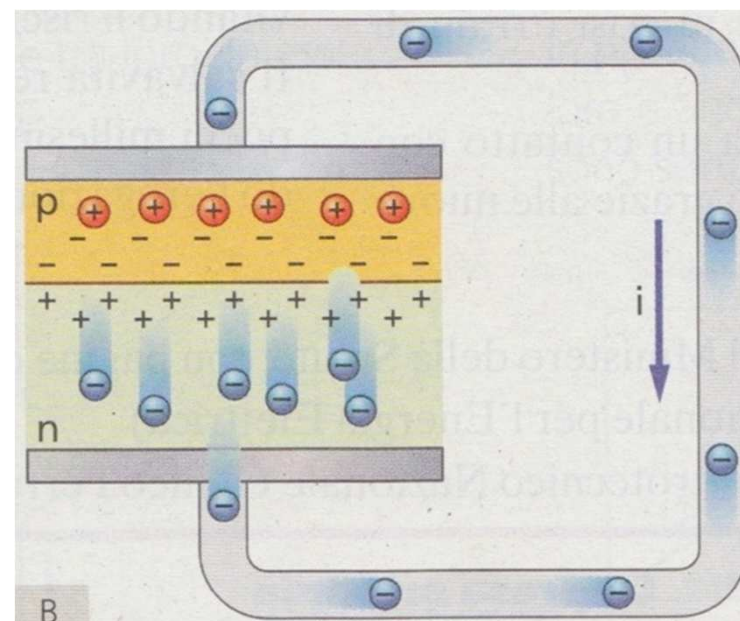
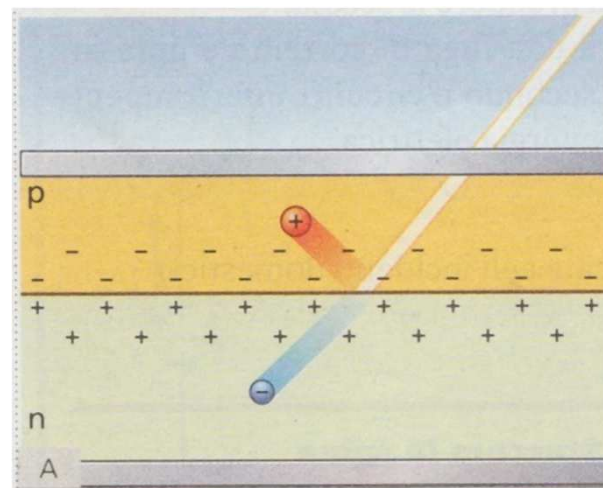
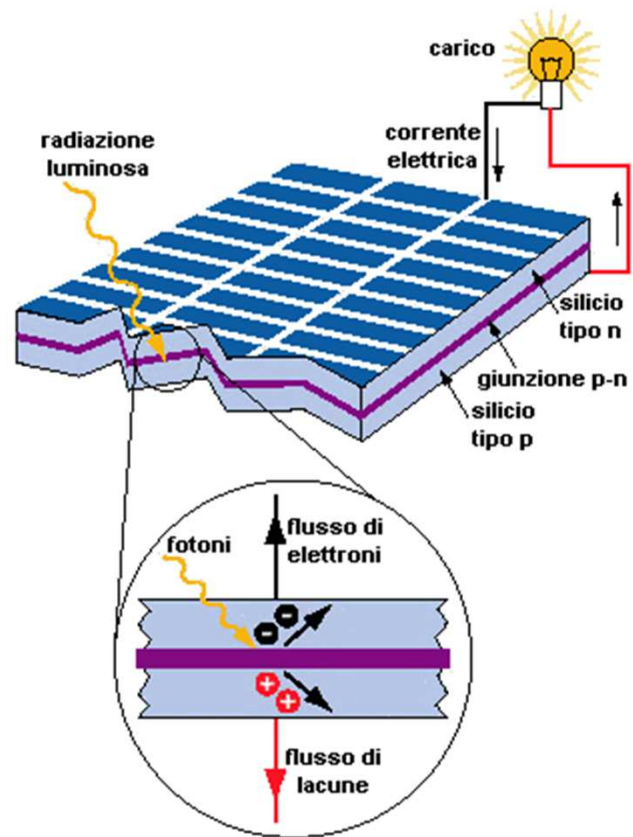
Sulla base di questi fenomeni, si potrà generare corrente facendo incidere sulla giunzione (o diodo) della luce (fotodiodo, cella fotovoltaica), ovvero si può fare emettere luce ad un semiconduttore (LED).

SIAMO FORTUNATI:

la radiazione e.m. visibile ha le caratteristiche che ci servono



PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA CELLA SOLARE

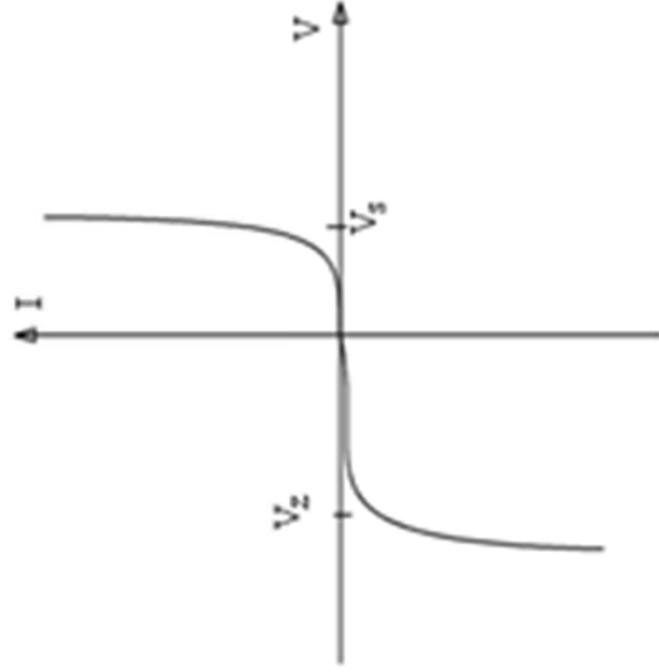


Corrente attraverso la giunzione

La dipendenza della corrente dalla d.d.p. esterna V è

$$I = I_0 \left(e^{\frac{Vq}{kT}} - 1 \right)$$

e tale dipendenza è rappresentata in figura



Caratteristica corrente tensione della cella FV

$$I = I_{SC} - I_0 \cdot \left(e^{q \cdot U / k \cdot T} - 1 \right)$$

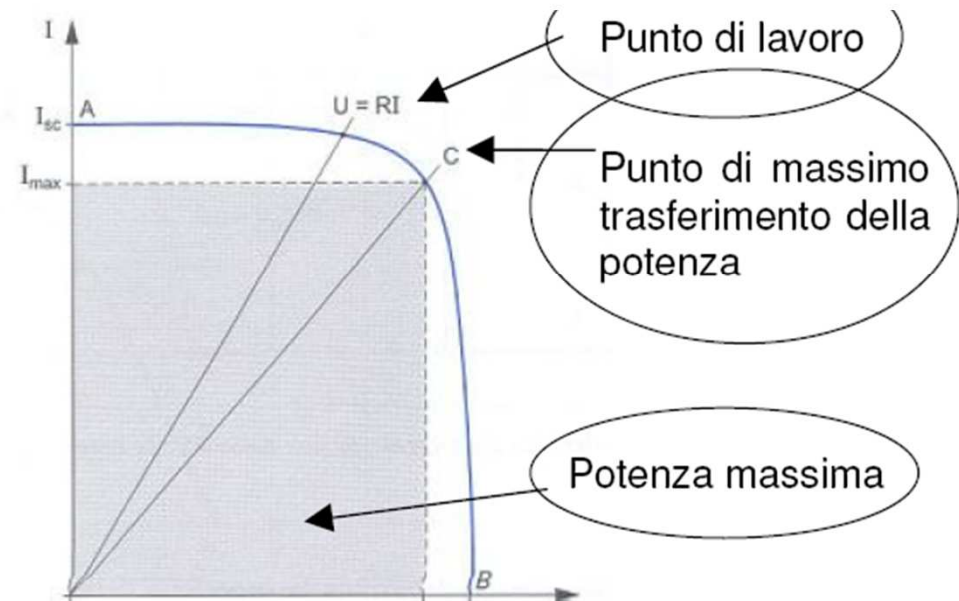
I_{SC} Corrente di corto circuito della cella fotovoltaica

U_{OC} Tensione a vuoto della cella fotovoltaica

Il punto di funzionamento della cella collegata ad un carico R è data dall'intersezione tra la retta RI e la caratteristica della cella.

Nel punto C si ha il max trasferimento della potenza da parte del generatore FV data da

$$U_{OC} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{CS}}{I_0} + 1 \right)$$

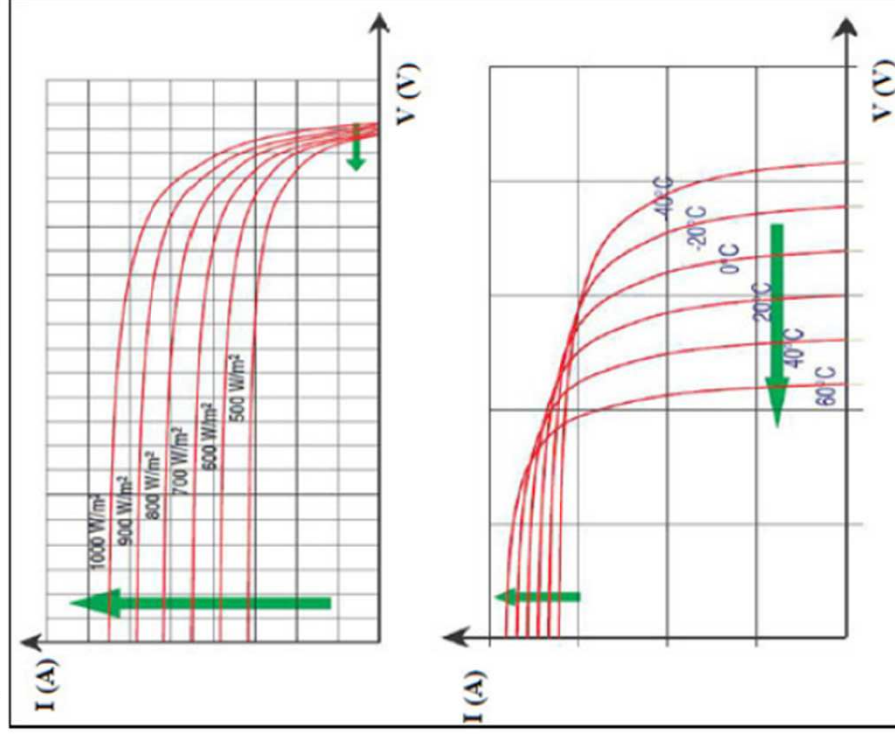


Fattore di riempimento (Fill Factor)

$$FF = \frac{U_{max} \cdot I_{max}}{U_{OC} \cdot I_{SC}}$$

Elevato significa caratteristica I-V "squadrata" ed è indicatore della qualità della cella (0,7 - 0,85).

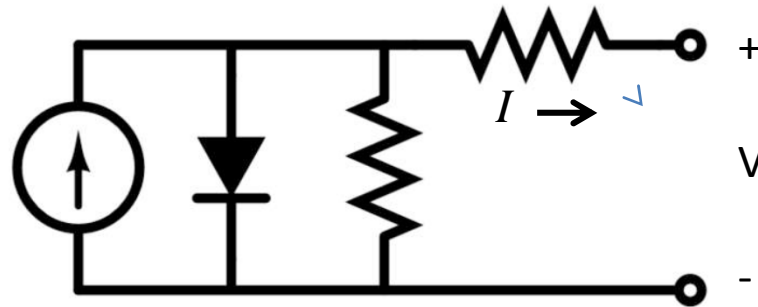
Variazione della caratteristica I-V



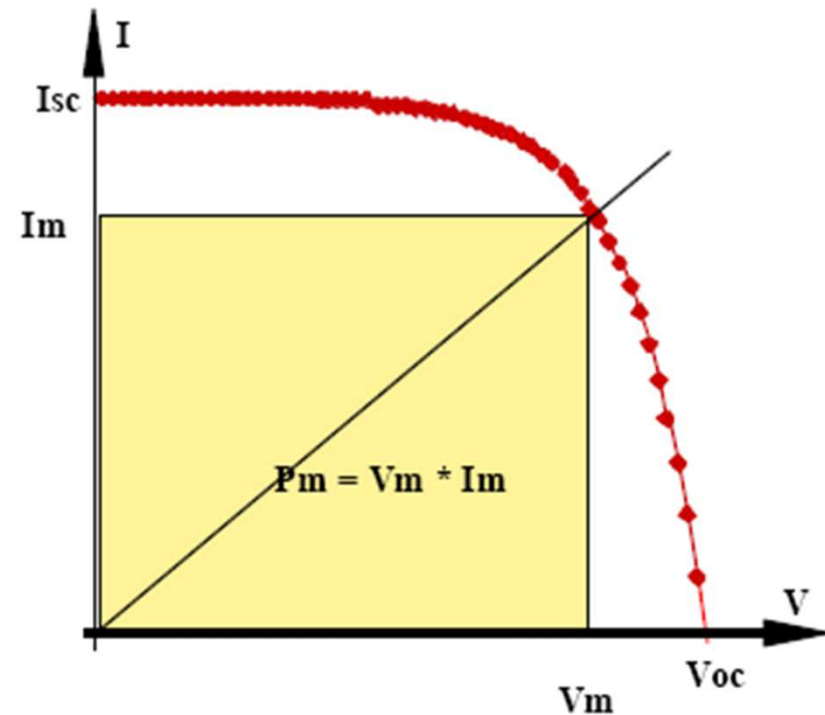
Aumenta irraggiamento (W/mq) cresce la corrente di corto circuito mentre la tensione a vuoto rimane pressochè costante. Complessivamente si ha aumento della potenza erogata dalla cella.

Aumenta temperatura diminuisce la tensione a vuoto mentre la corrente di corto circuito rimane quasi costante. Complessivamente si ha diminuzione della potenza erogata dalla cella.

SCHEMA ELETTRICO E CARATTERISTICA I-V DI UNA CELLA FOTOVOLTAICA

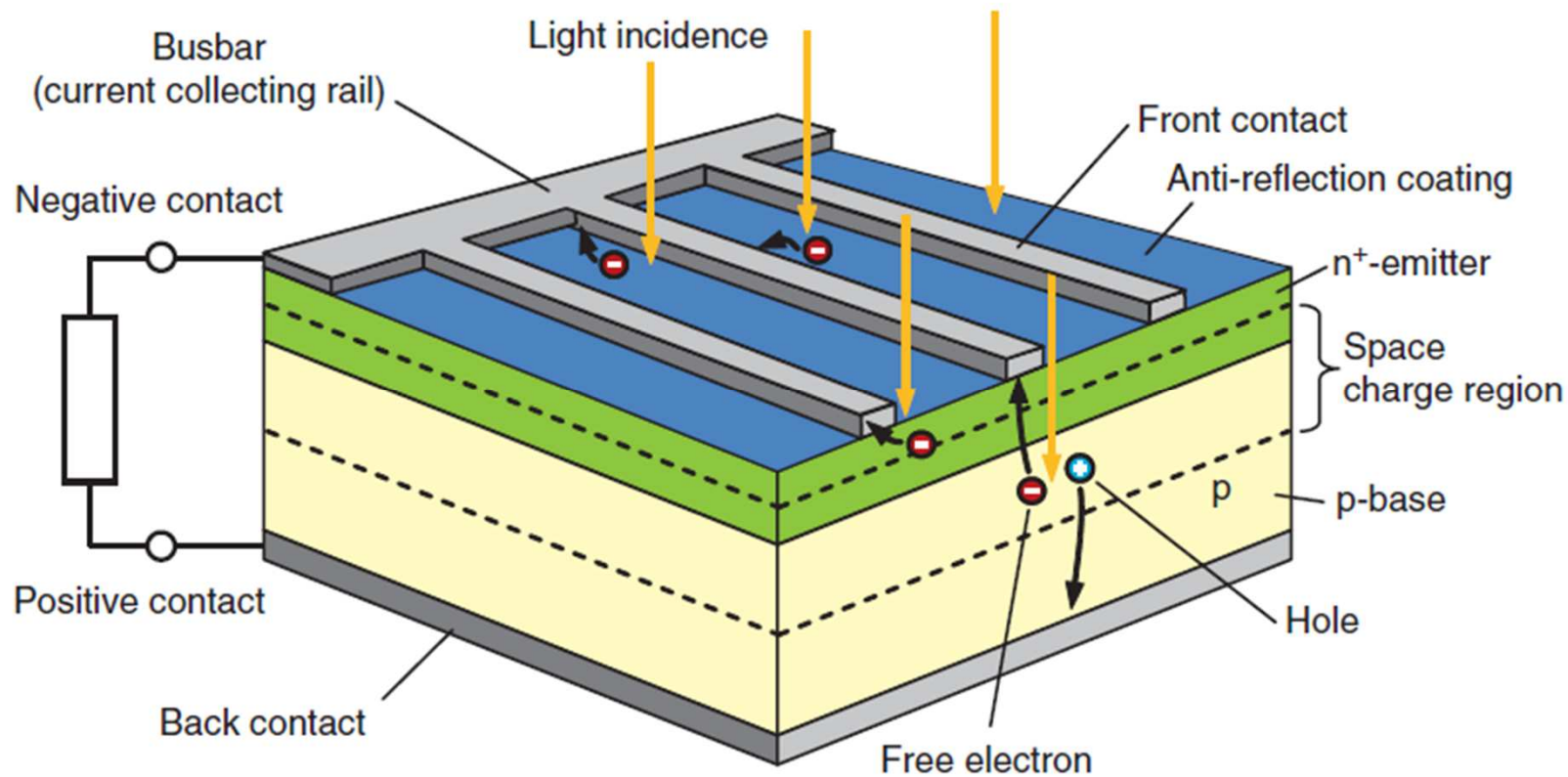


- La caratteristica elettrica corrente-tensione (I-V) della cella è caratterizzata da:
- **Isc**: corrente di corto circuito
- **Voc**: tensione a circuito aperto
- **Imax**: corrente nel punto di massima potenza
- **Vmax**: tensione nel punto di massima Potenza



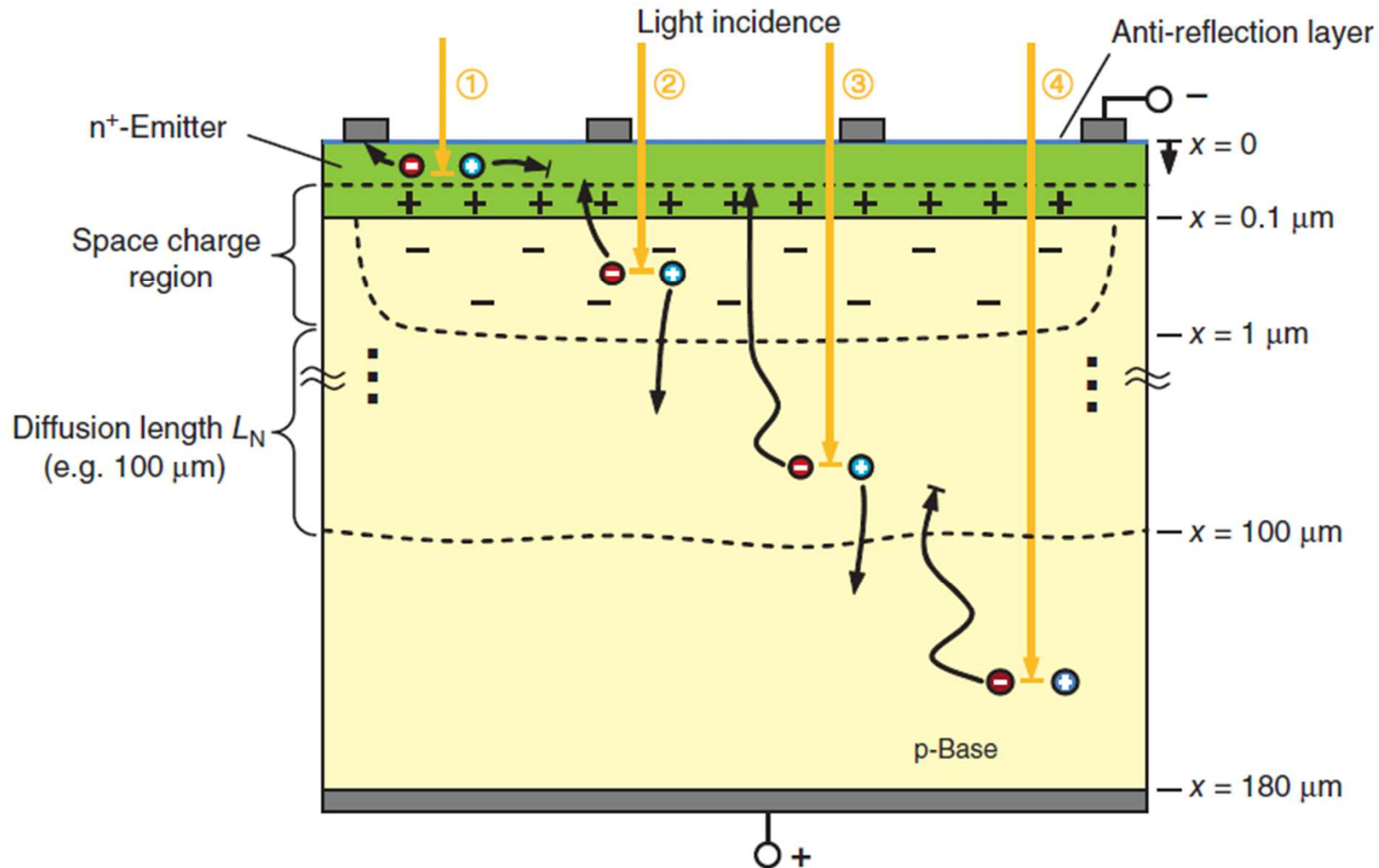
Silicon Solar Cell

The structure

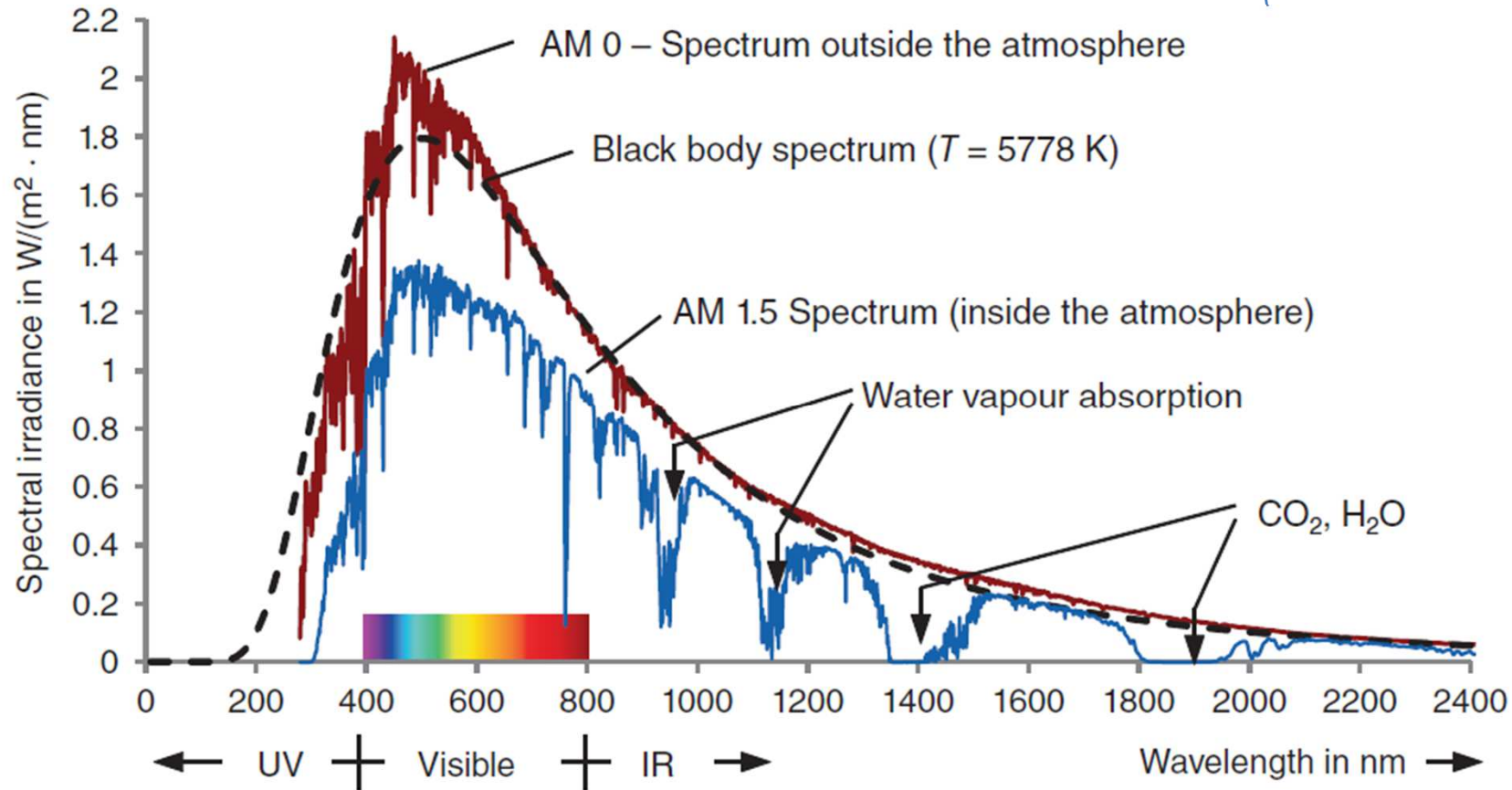


Silicon Solar Cell

The operation

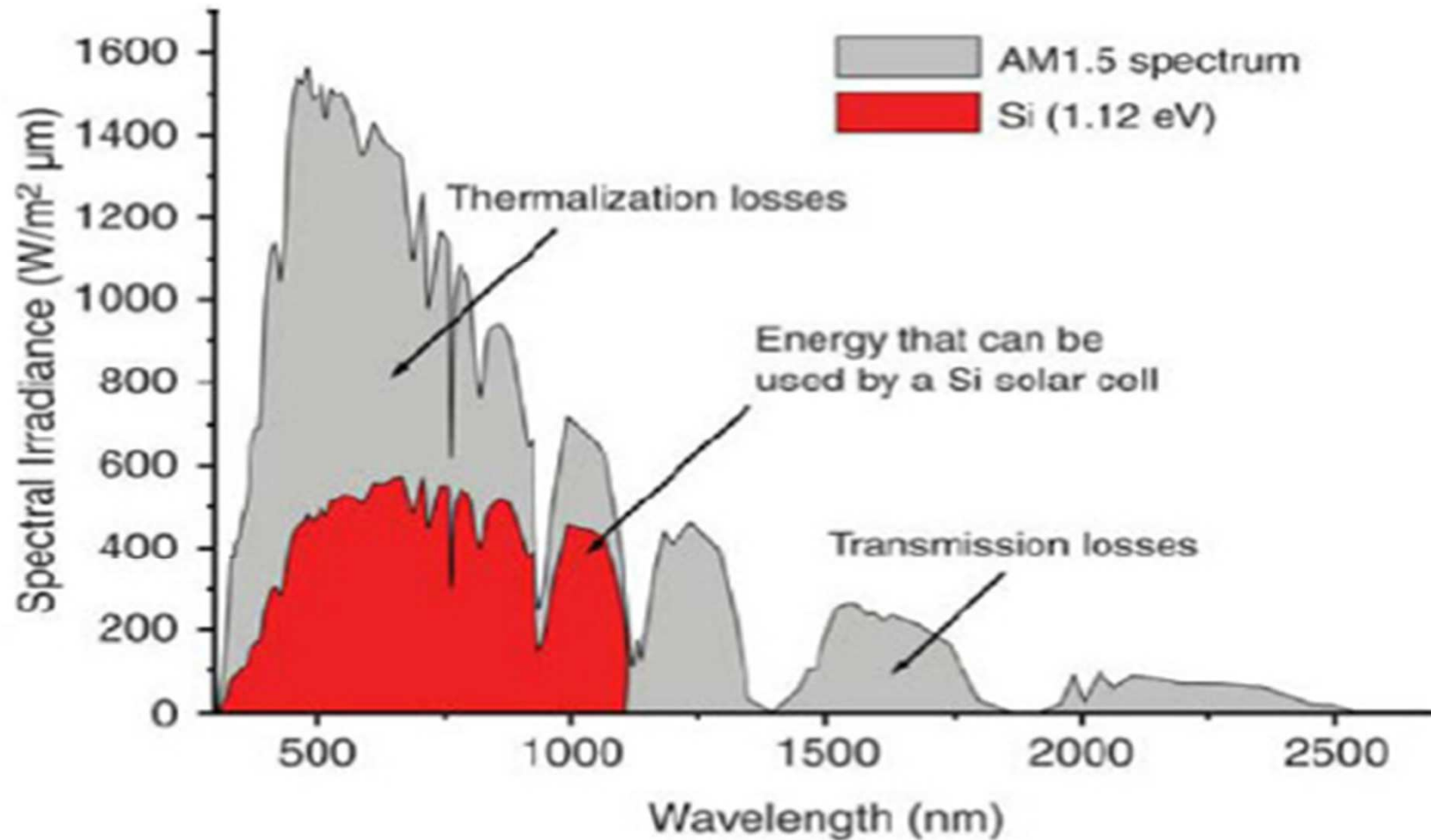


Spectrum of the Sun



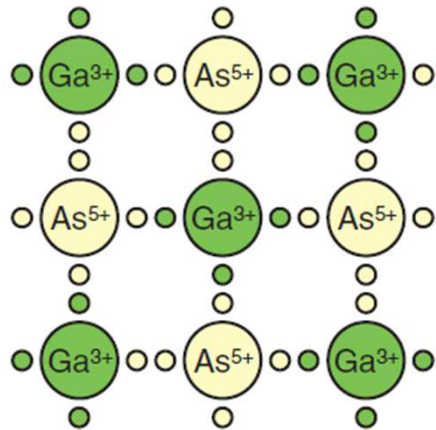
Silicon Solar Cell

The Losses

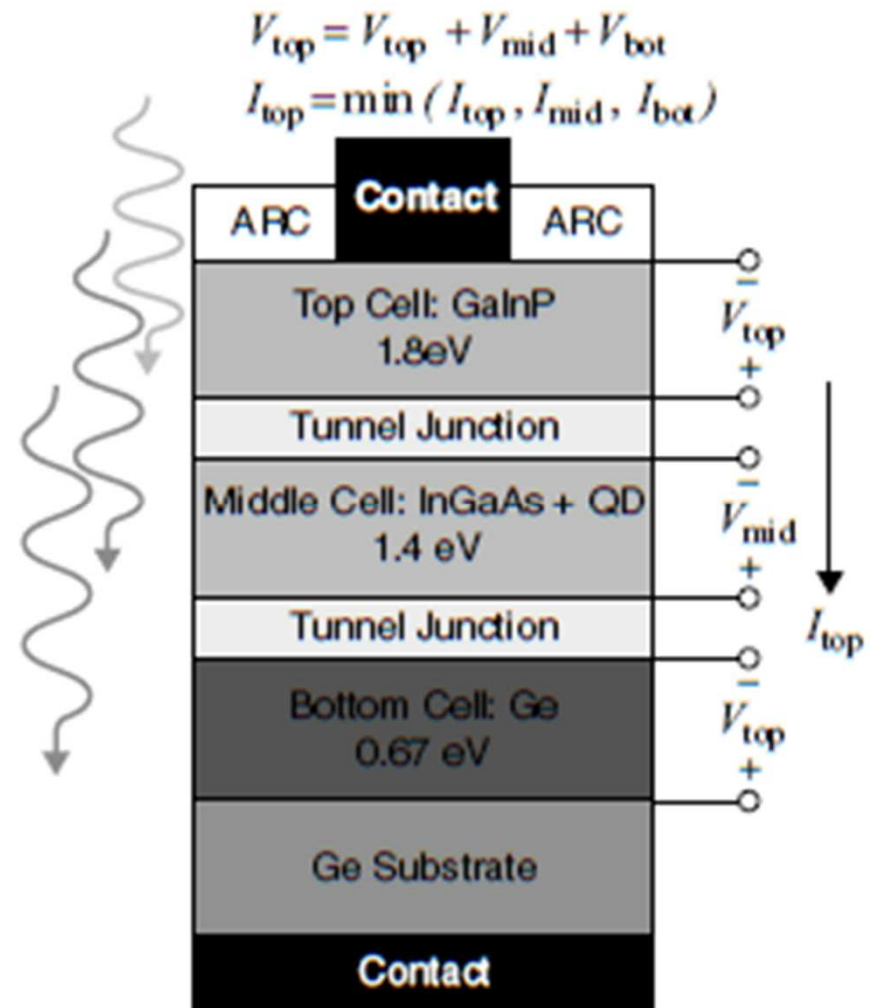


III-V Semiconductor Compounds

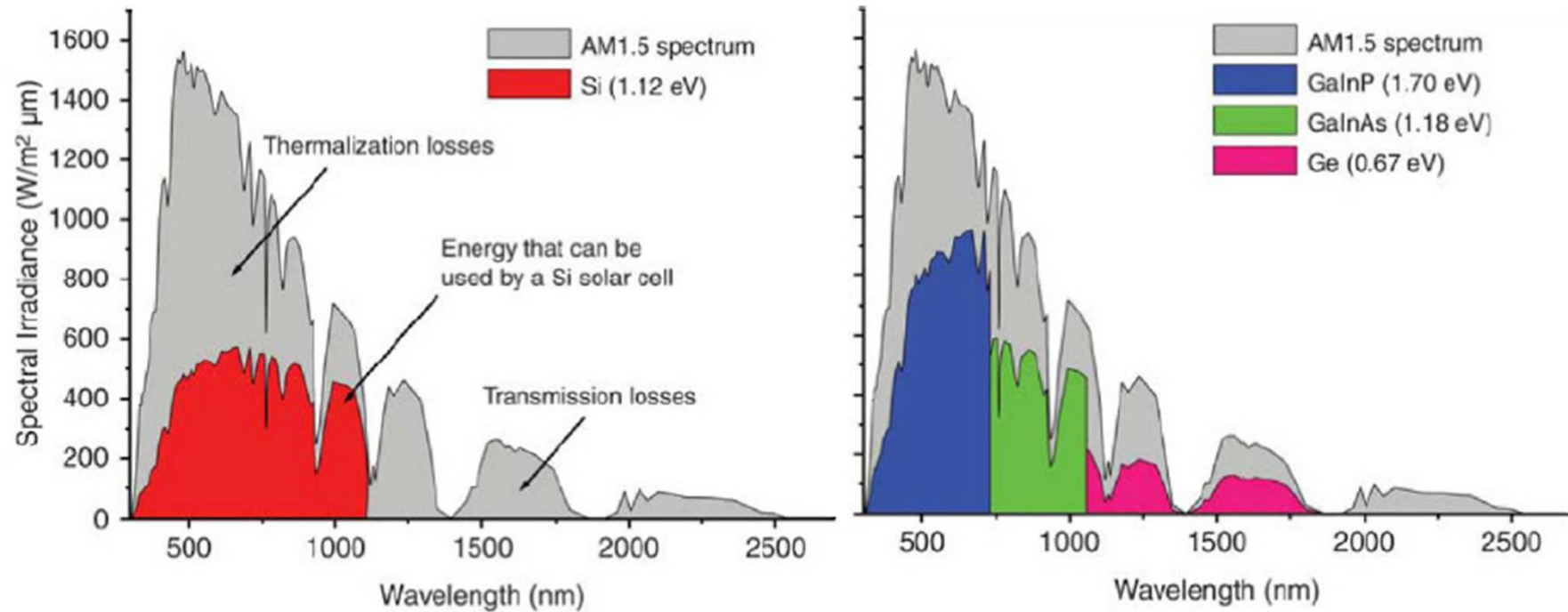
	I	II	III	IV	V	VI
			B	C	N	O
			Al	Si	P	S
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	

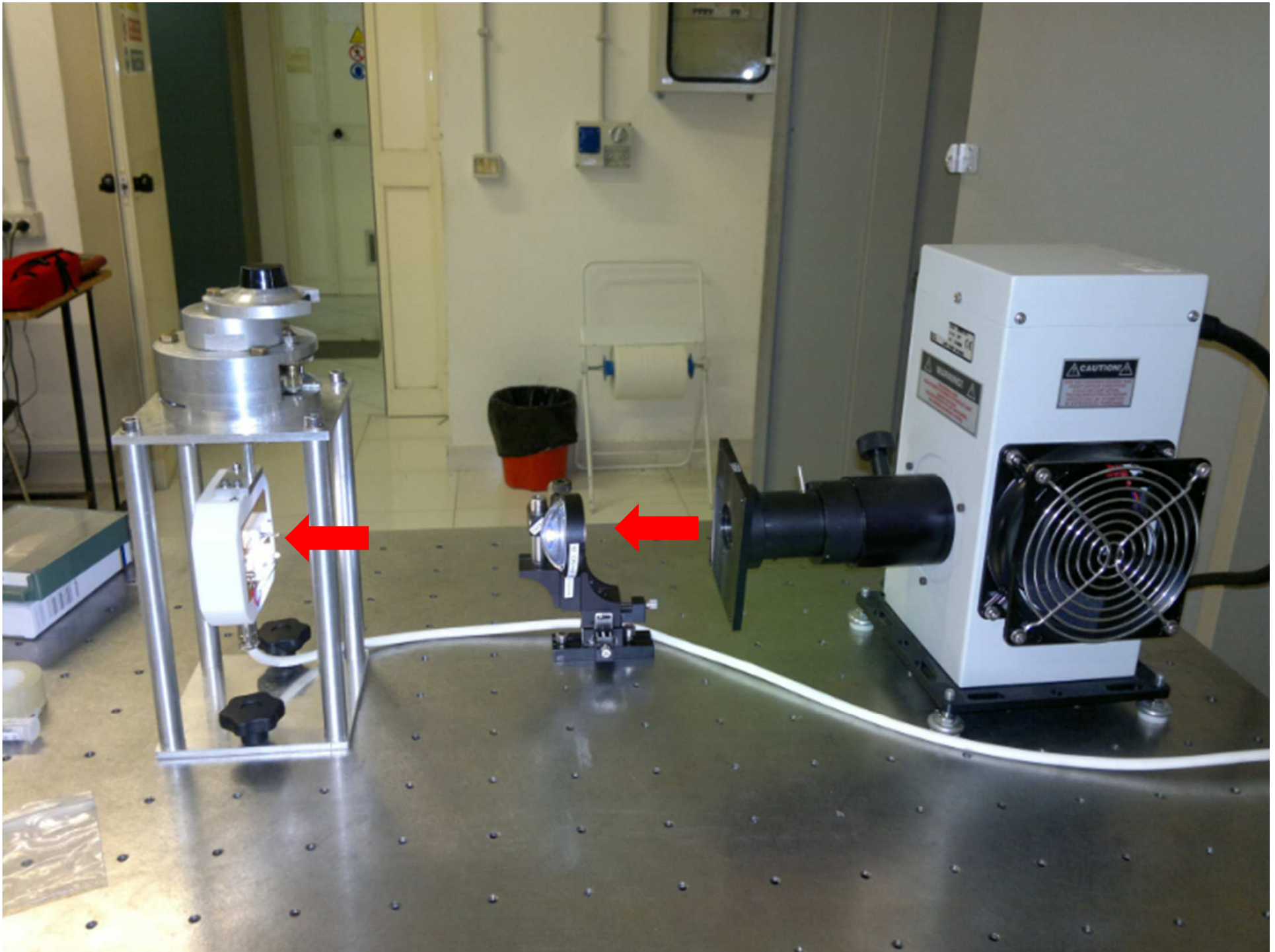


Properties	Si	GaAs	InP	GaP
Band gap [eV]	1,12	1,42	1,35	2,26
Type	Indirect	Direct	Direct	Indirect
Lattice	fcc	fcc	fcc	fcc

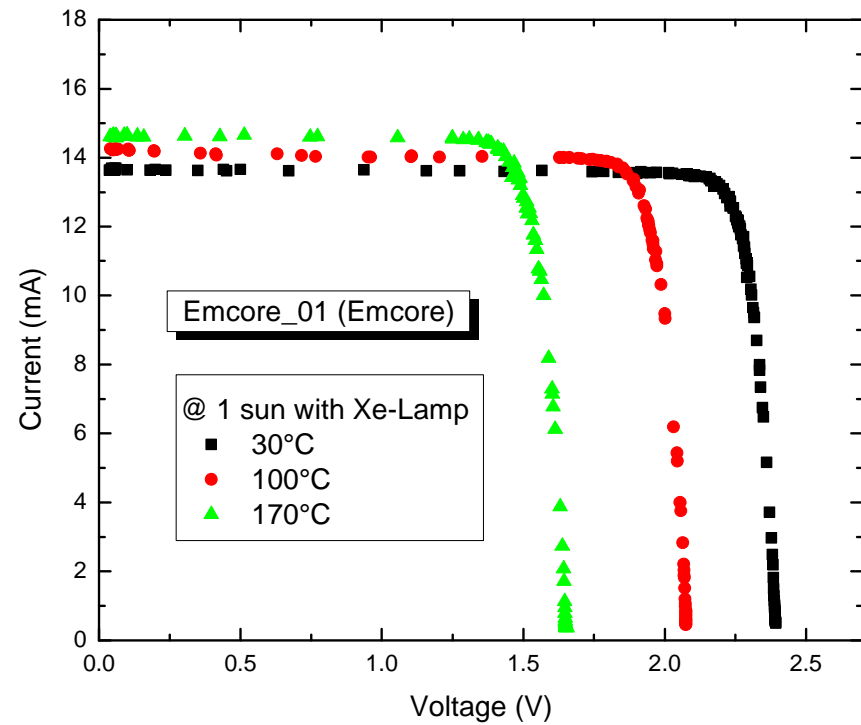
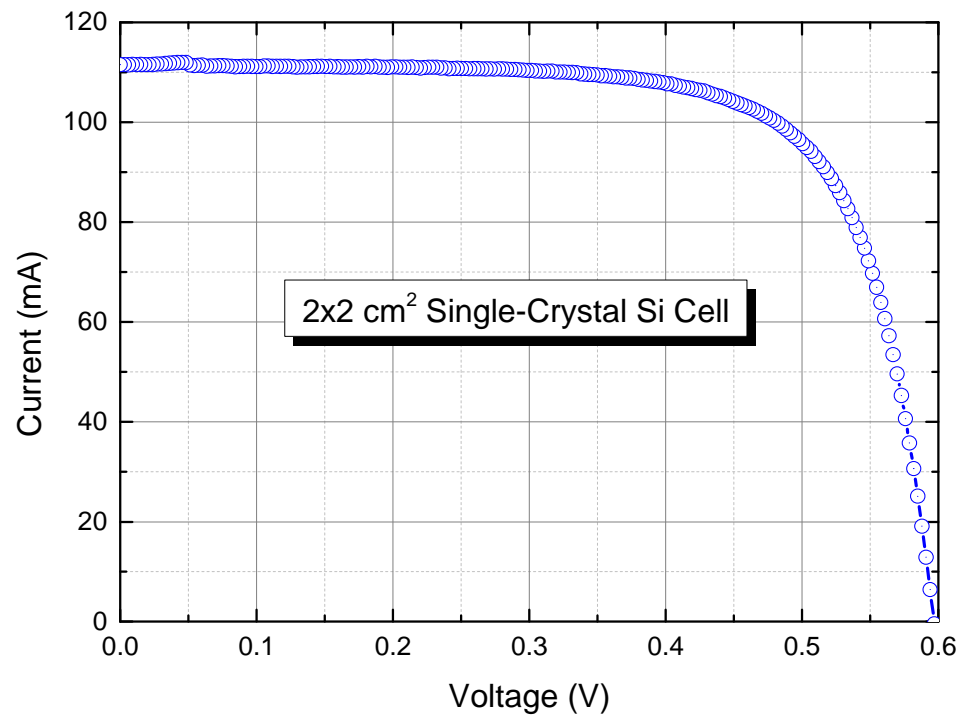


Spectral Effects: The comparison

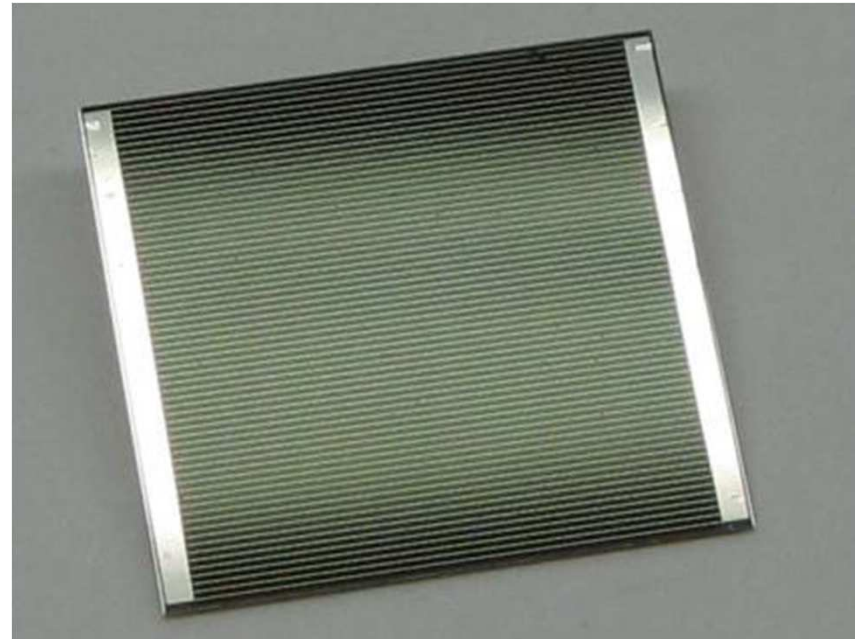
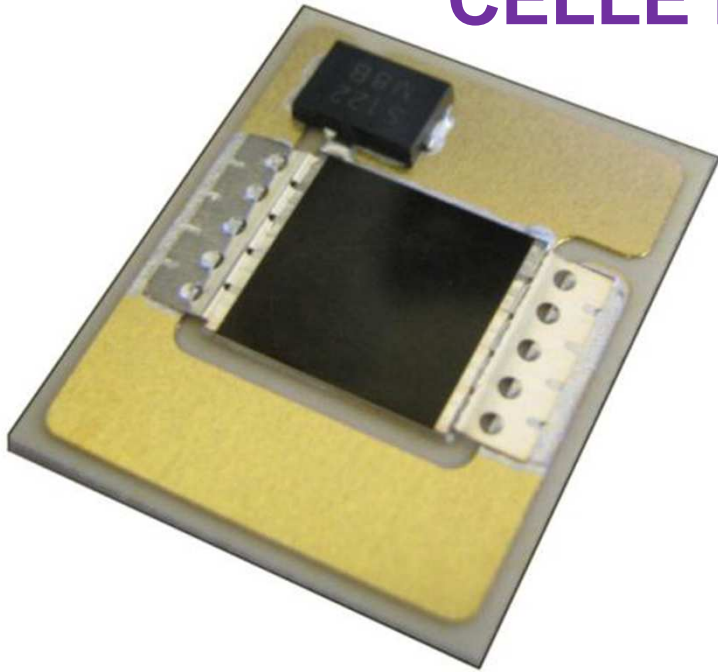




EXPERIMENTAL I-V CURVES



CELLE MULTIGIUNZIONE



Dimensioni tipiche ~ cm²

Problema : piccola superficie esposta alla radiazione

Soluzione: concentriamo la luce del sole

Impianti a concentrazione con celle a multigiunzione

Le celle a multigiunzione devono essere accoppiate con ottiche di concentrazione (lenti piane di plastica o specchi) e inseguitori solari, per ottenere impianti che abbiano rendimenti accettabili e bassi costi di installazione.



Concentrazione con ottica rifrattiva (x100)

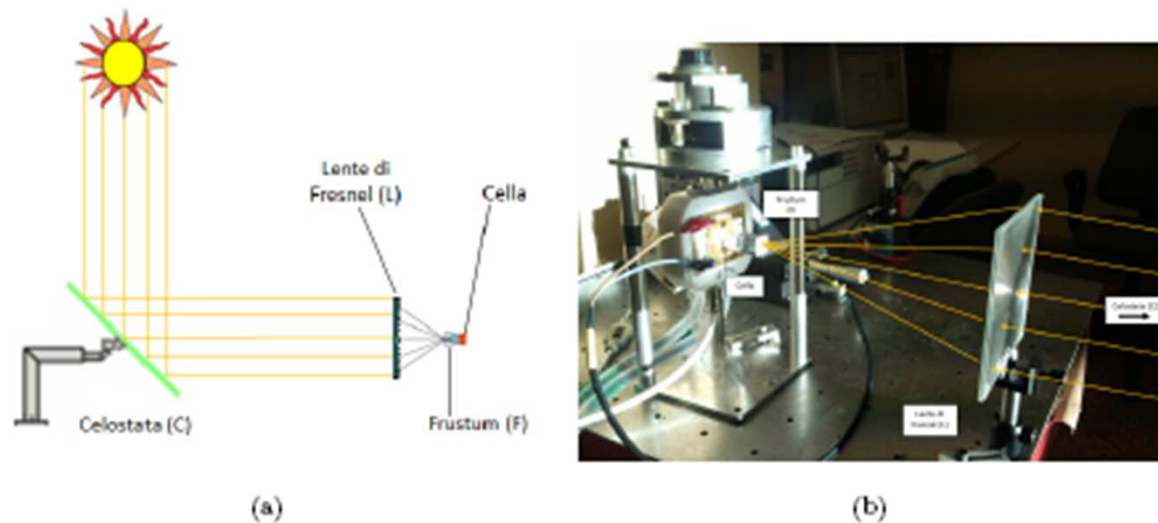
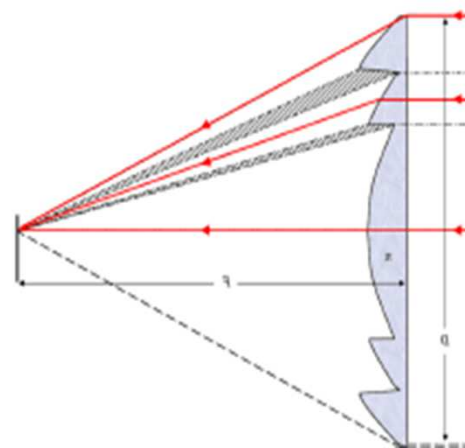
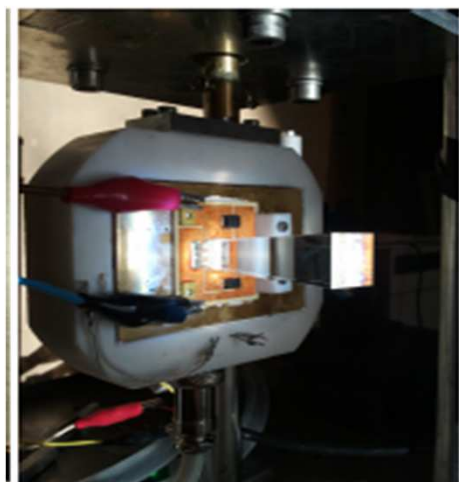
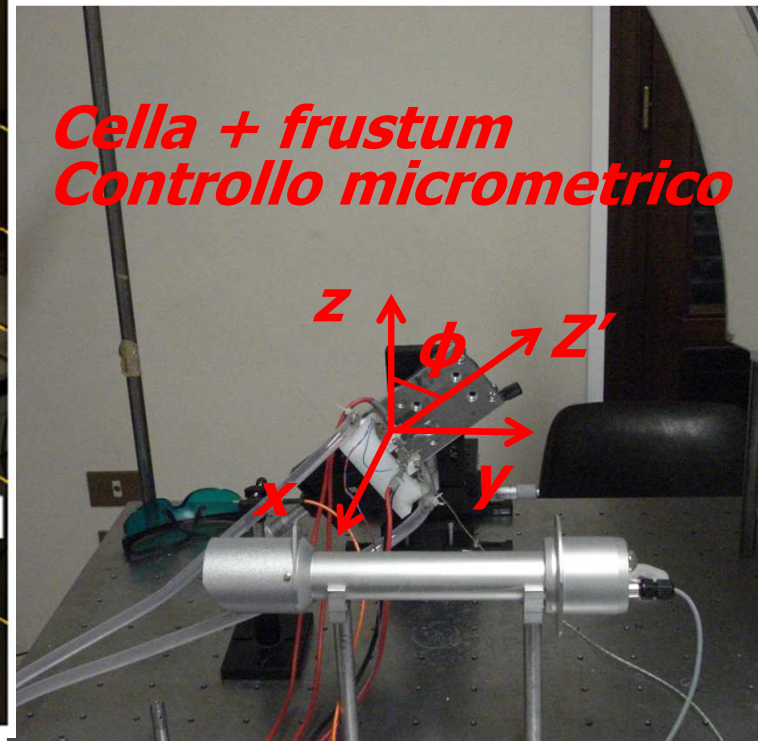
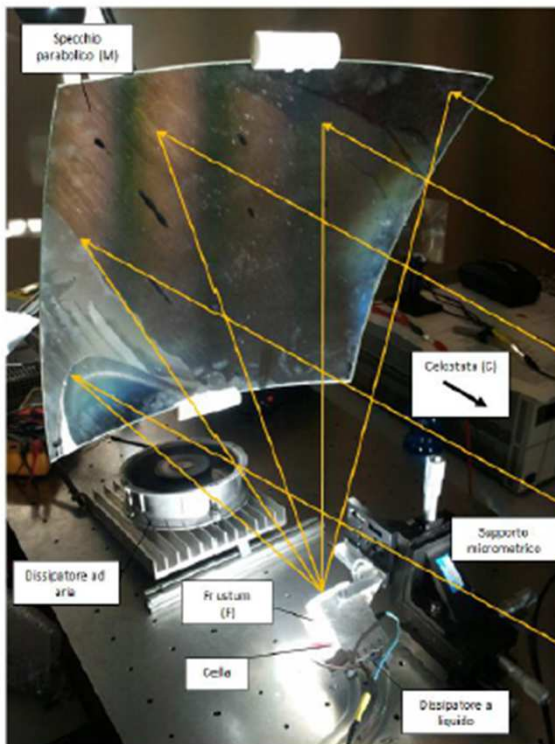


Figura 5.2: Schema di massima del sistema CPV studiato (a) ed immagine che ne ritrae la realizzazione (b).



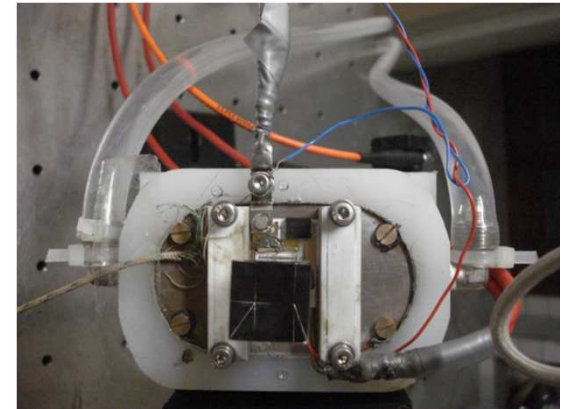
Concentrazione con ottica riflessiva (x2000)

**Specchio concavo
45x45 cm²**



**Cella + frustum
Controllo micrometrico**

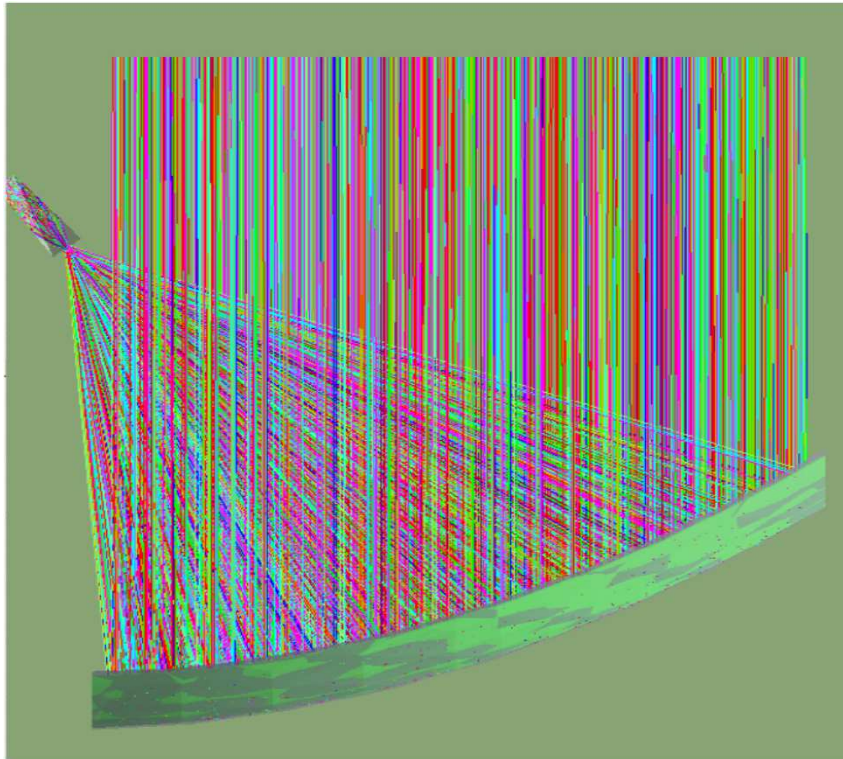
**Scambiatore di calore
a flusso d'acqua**





Componenti ottiche: concentratore

Specchio paraboloidale fuori asse,



- Alta efficienza ottica (~90%);**
- Ottima qualità dell'immagine del sole ;**
- Ingombro verticale ridotto**

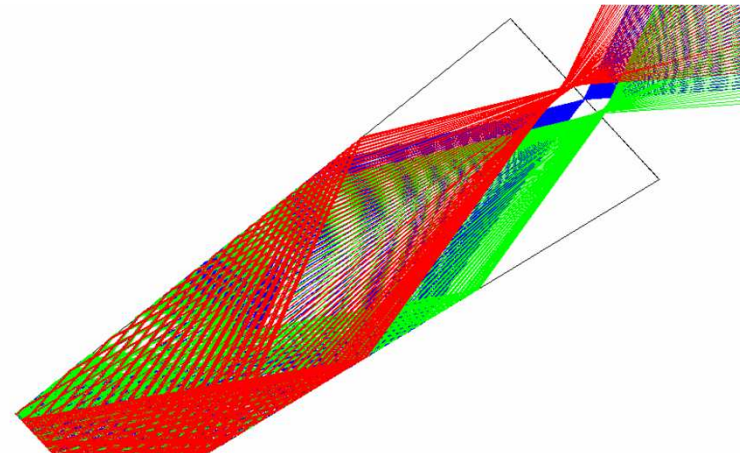
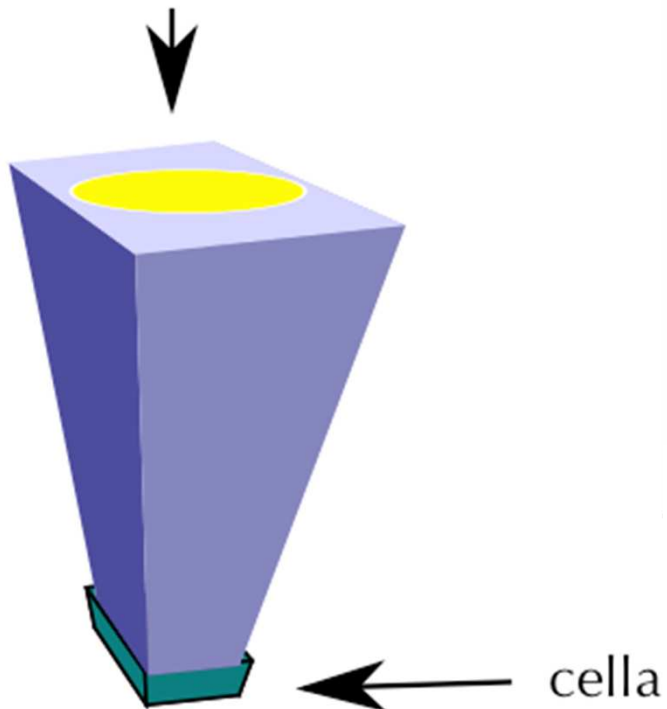


Componenti ottiche: Frustum

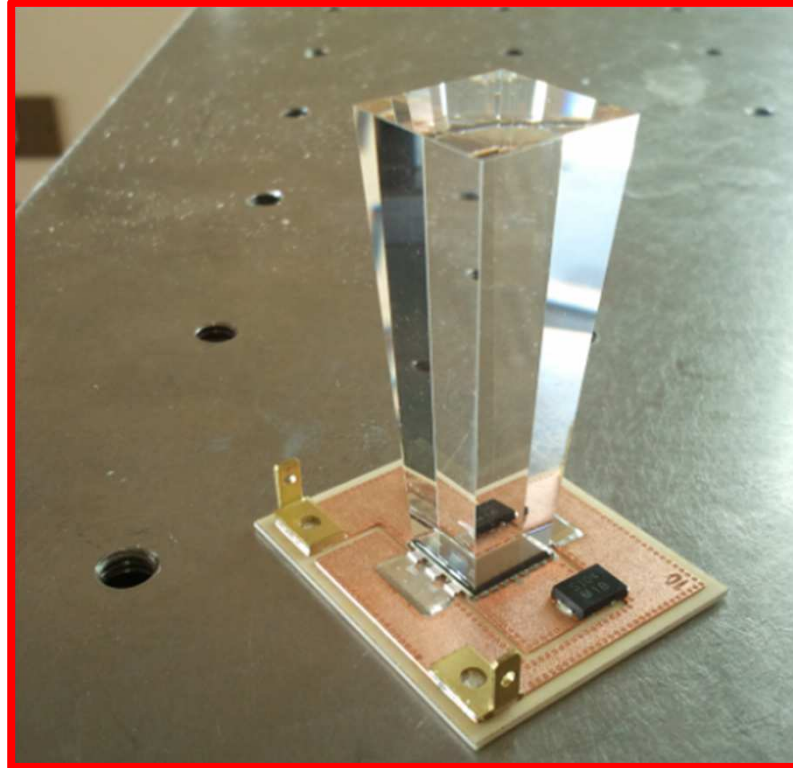
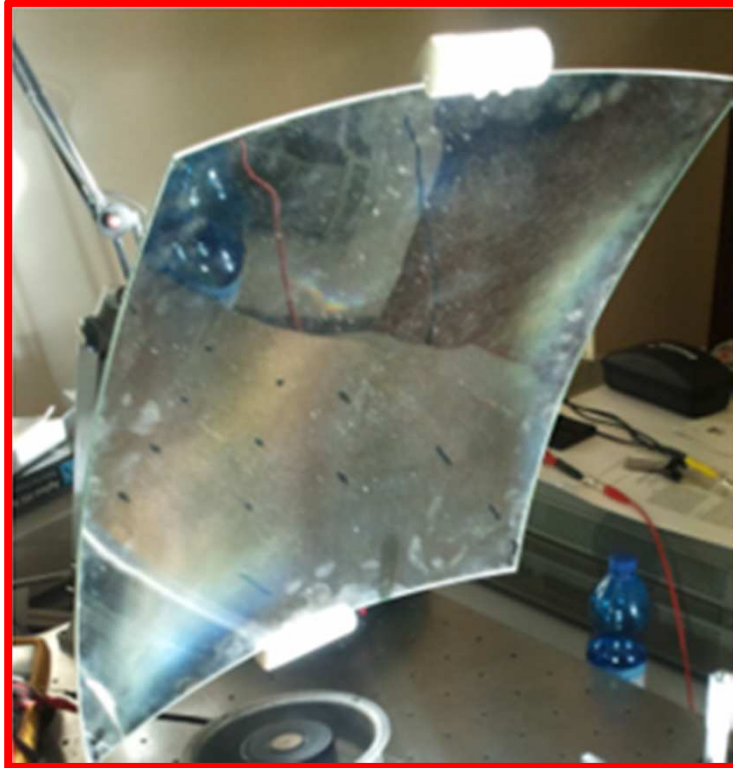
Il Sole è tondo

La cella è quadrata

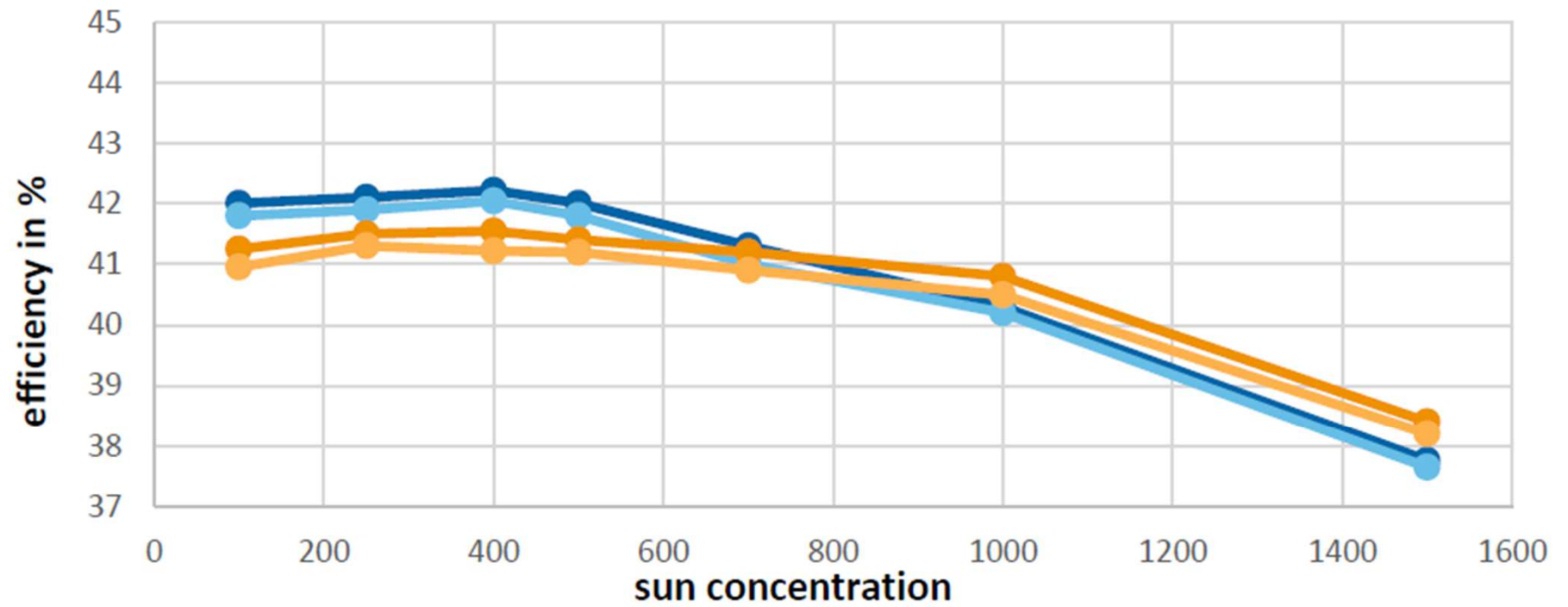
Immagine del sole



Dettagli degli elementi ottici sperimentalmente utilizzati



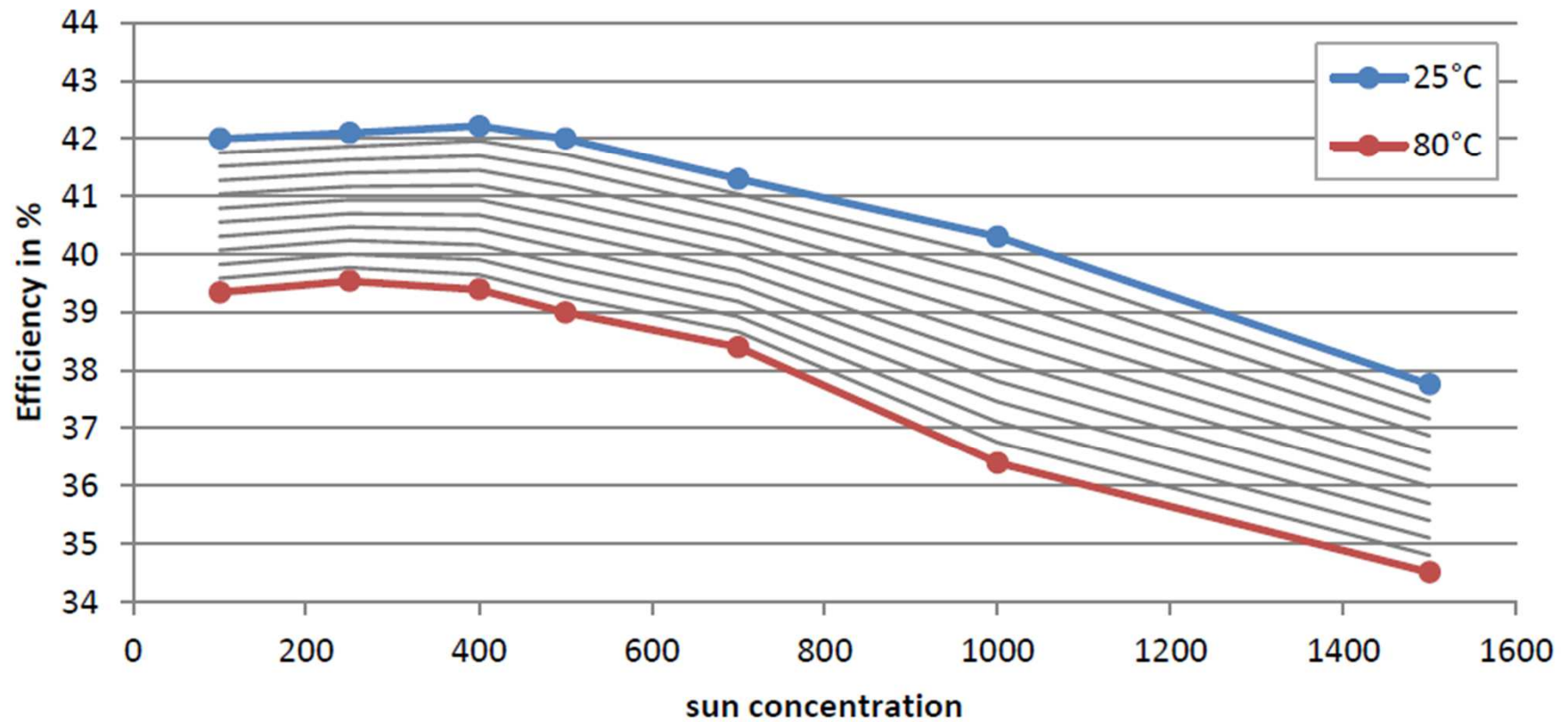
Efficiency versus Sun Concentration



Measurement conditions: 1.5 AMd – 1000 W/m² (ASTM G 173-03), T = 25 °C, designated measurement area = 100,51 mm²

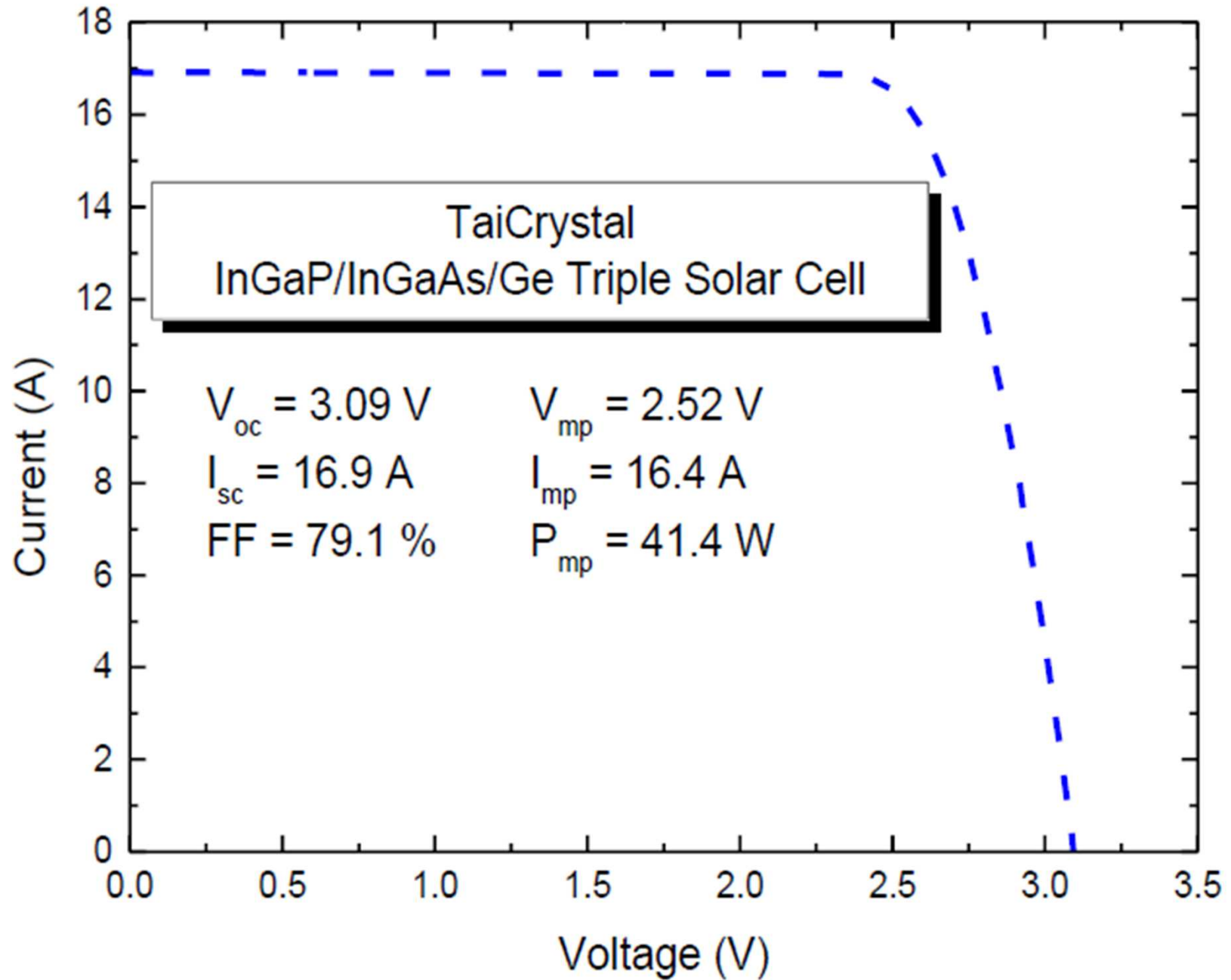
Typical Performance over Temperature

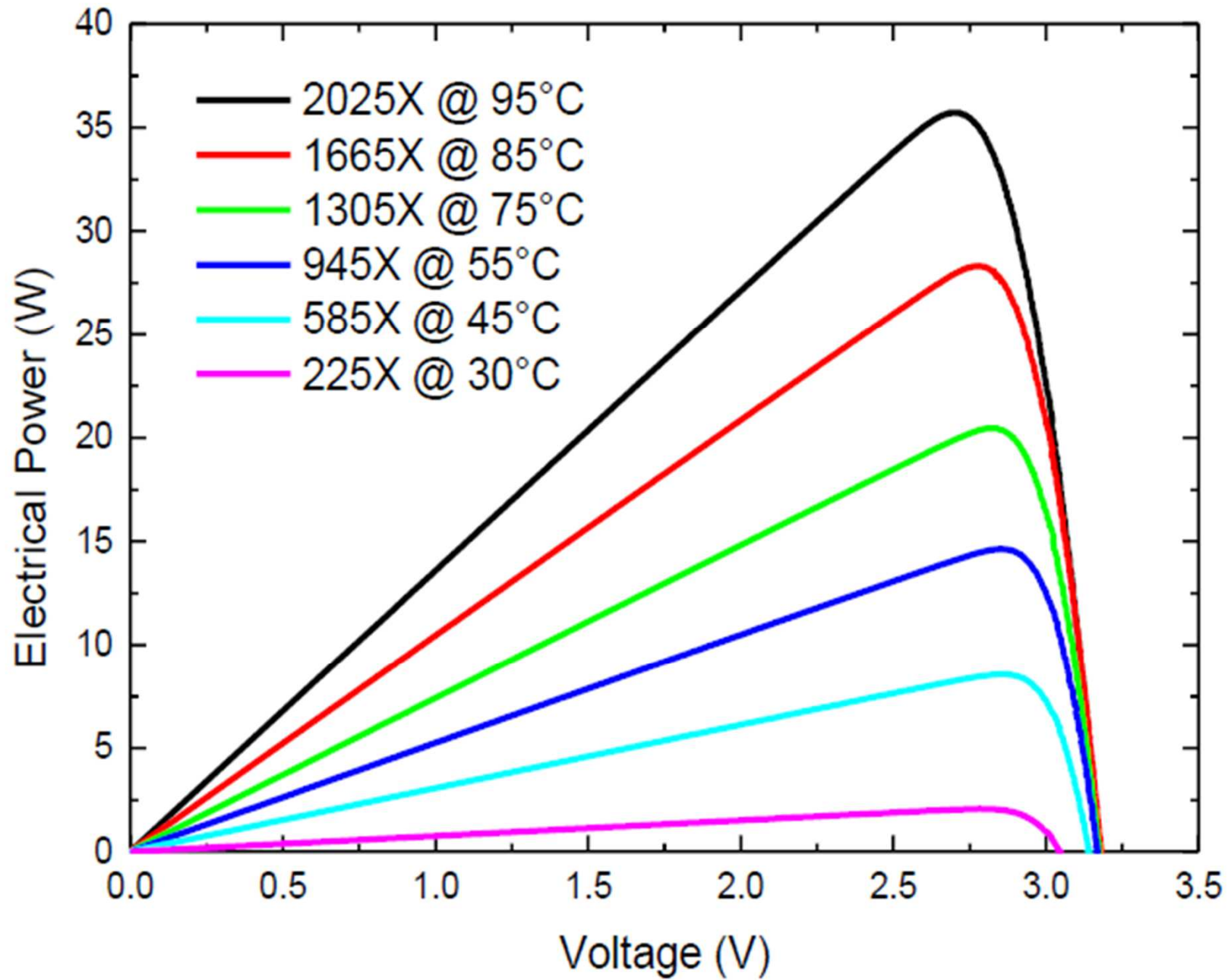
Exemplary for version MC/Air

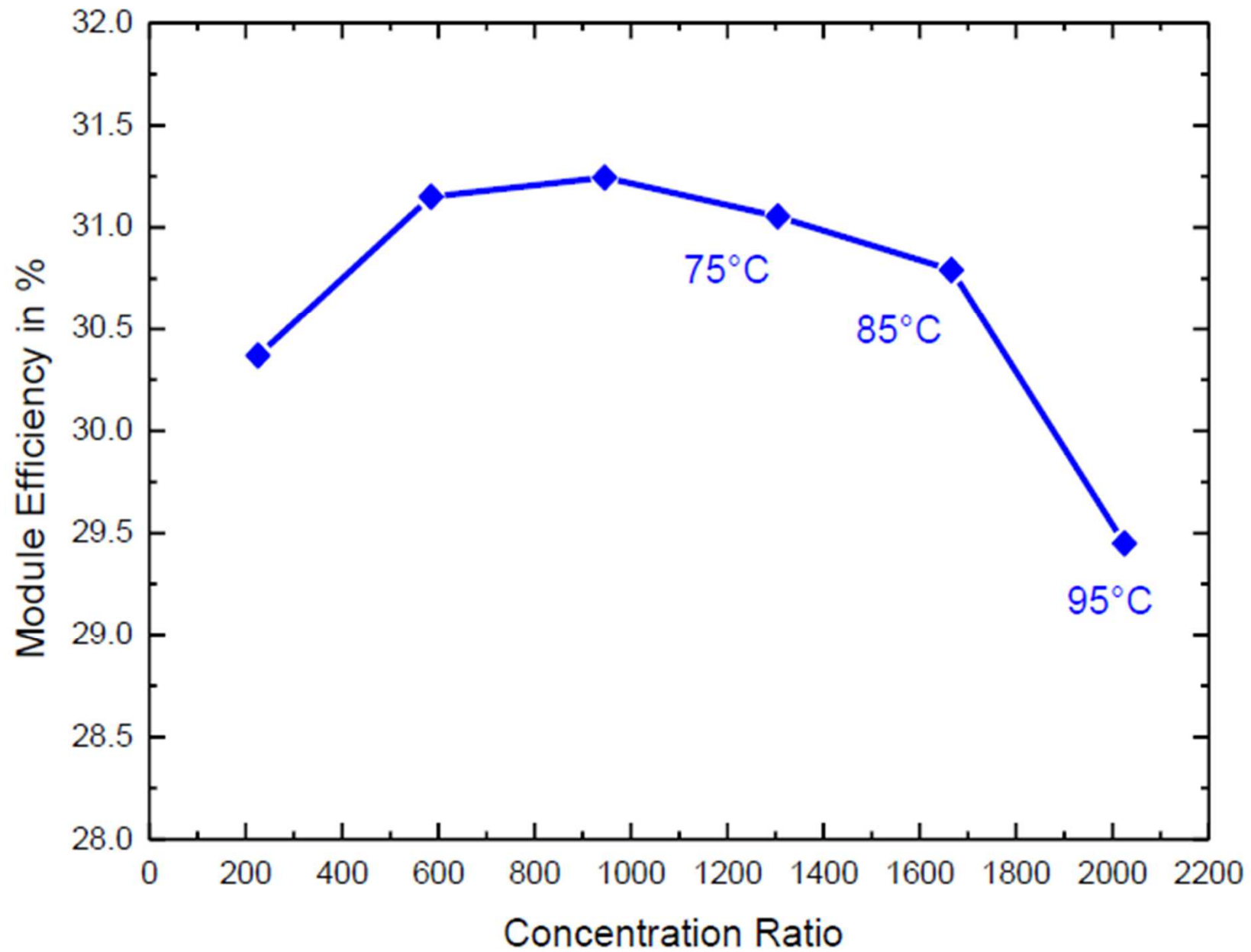


Progetto FAE (Fotovoltaico ad Alta Efficienza)
Realizzazione di un sistema prototipo
operante a una concentrazione di 2000 soli

Misure indoor







Heat Generation

$$\dot{Q} = \rho \times C \times \Delta T \times \dot{V}$$

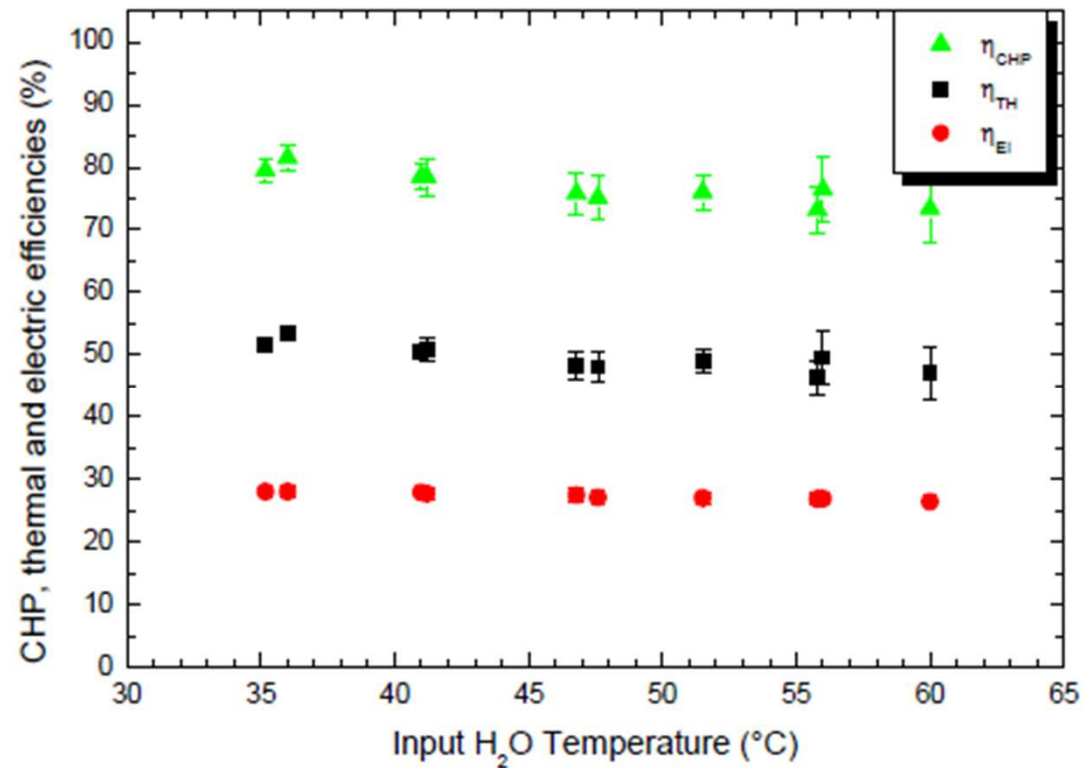
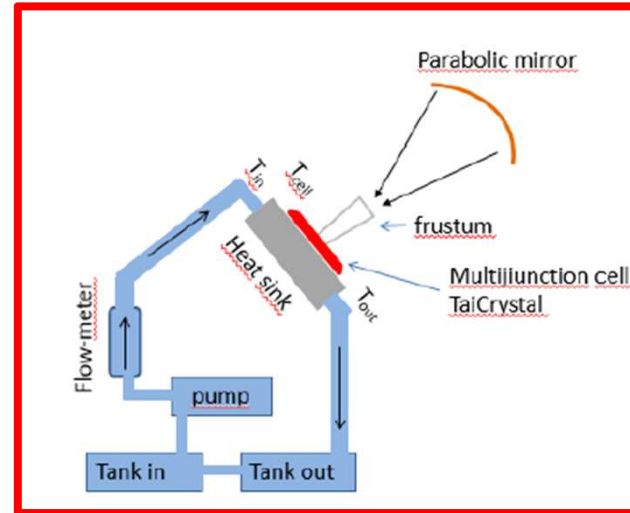


Thermal Power



Flow Rate

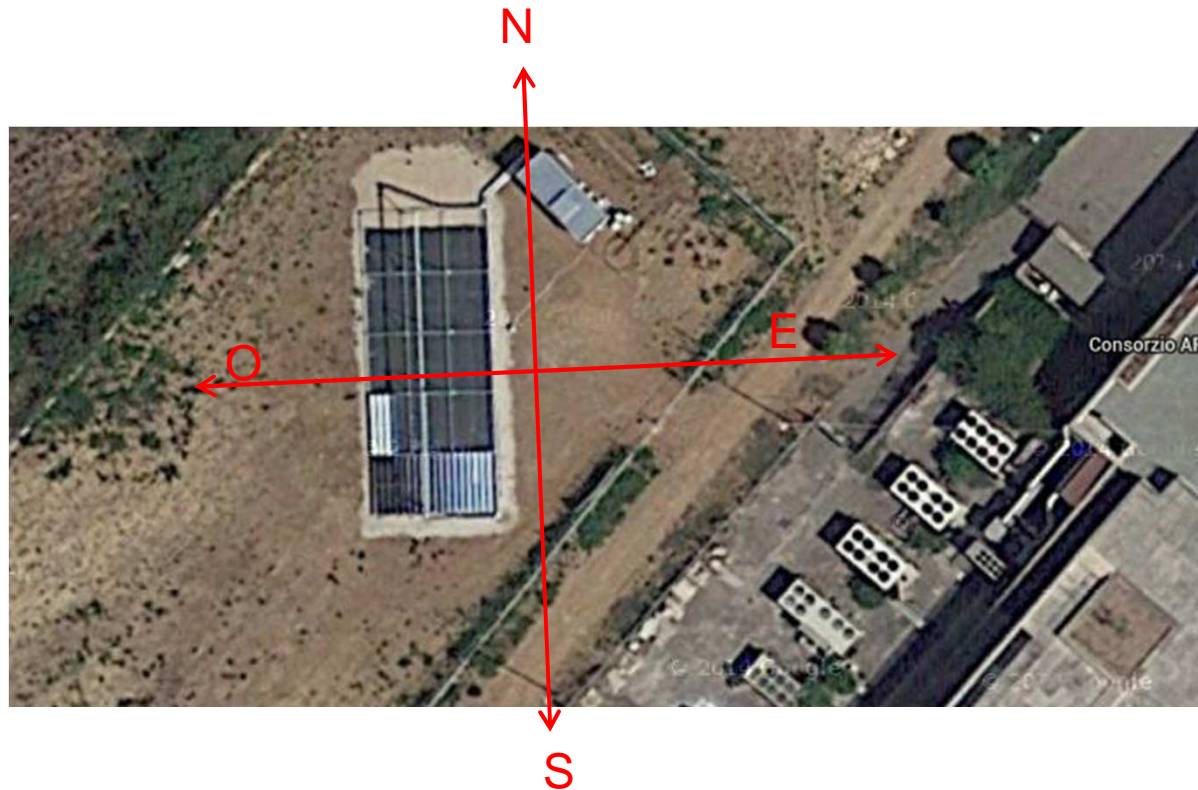
Thermal Efficiency $\eta_{th} = \frac{\dot{Q}}{P_{inc}^{sun}}$



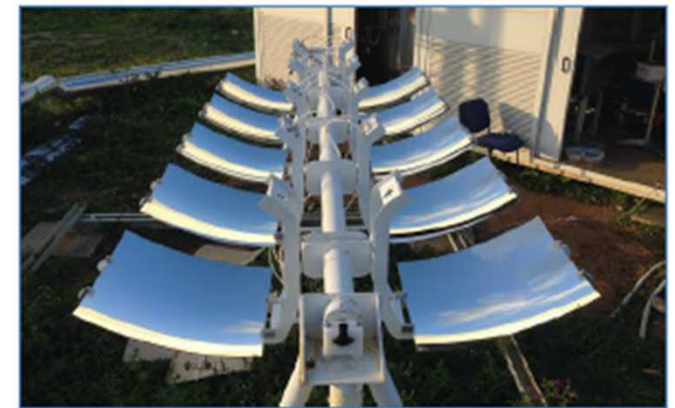


Dipartimento di Fisica e Chimica, Università di Palermo

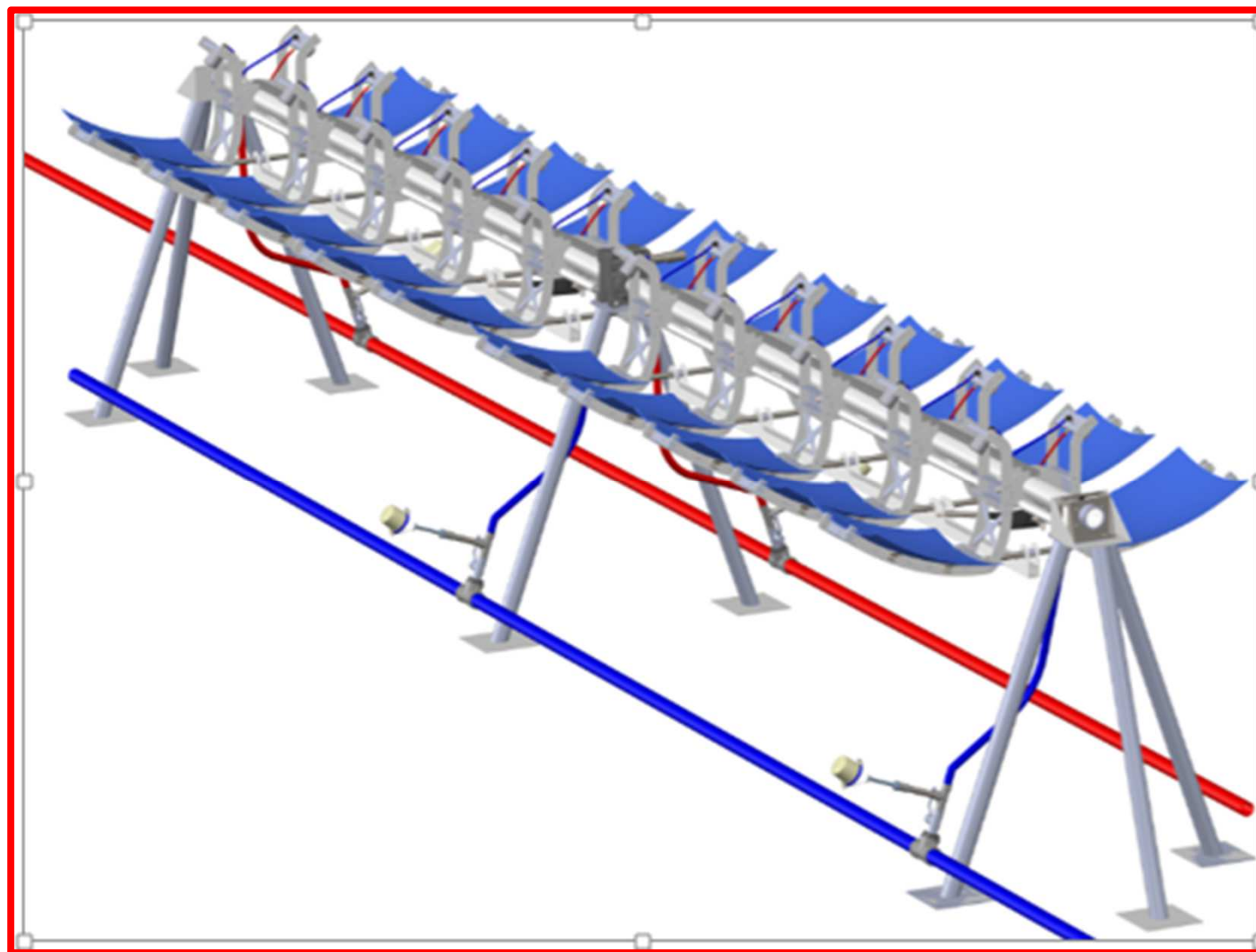
Impianto Pilota FAE outdoor: ARCA



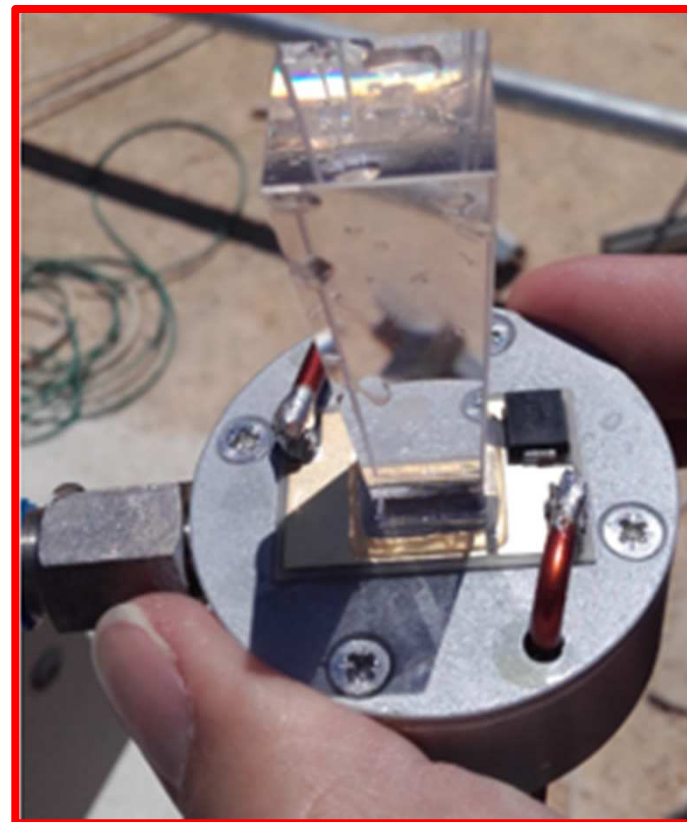
Modulo



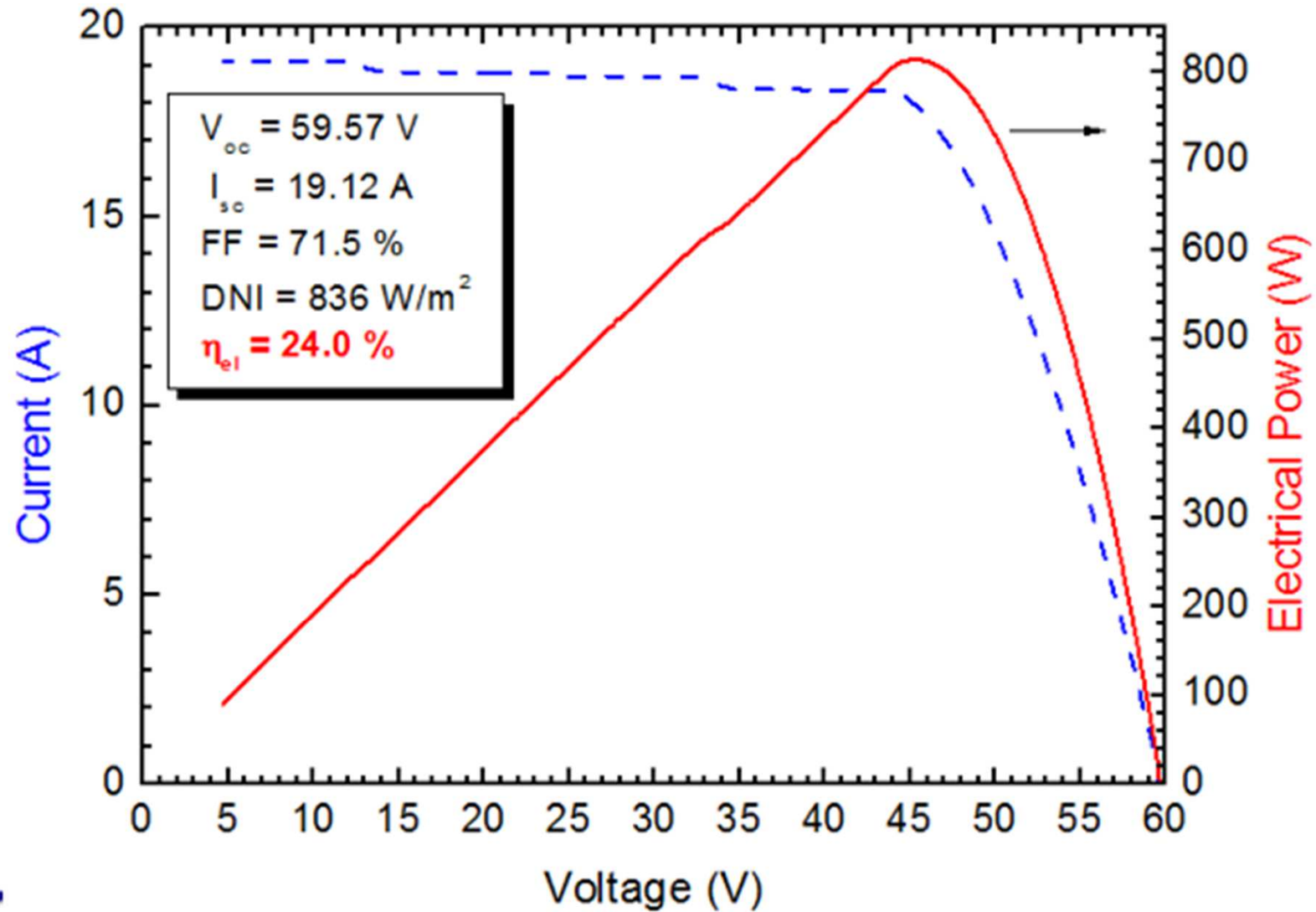
Schema di un modulo a 20 elementi



Particolari del modulo e dei singoli elementi



Risultati outdoor

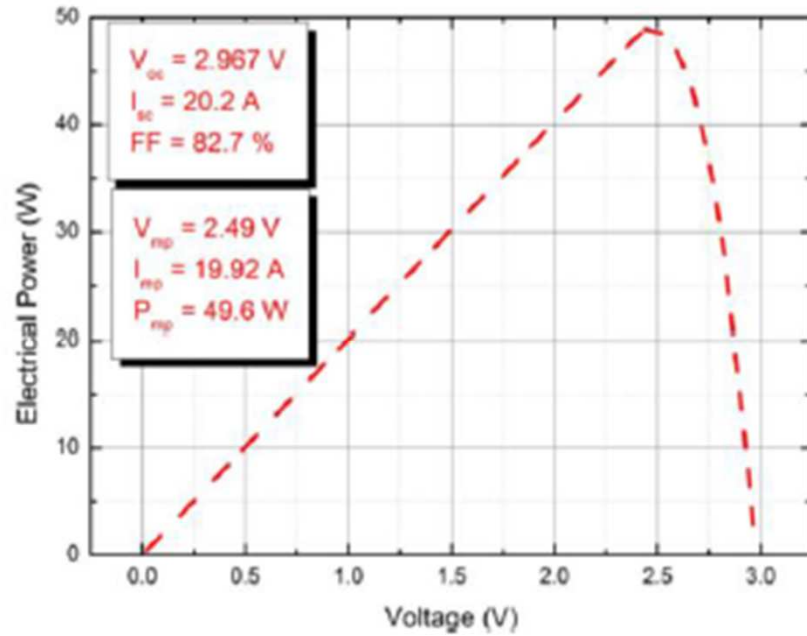




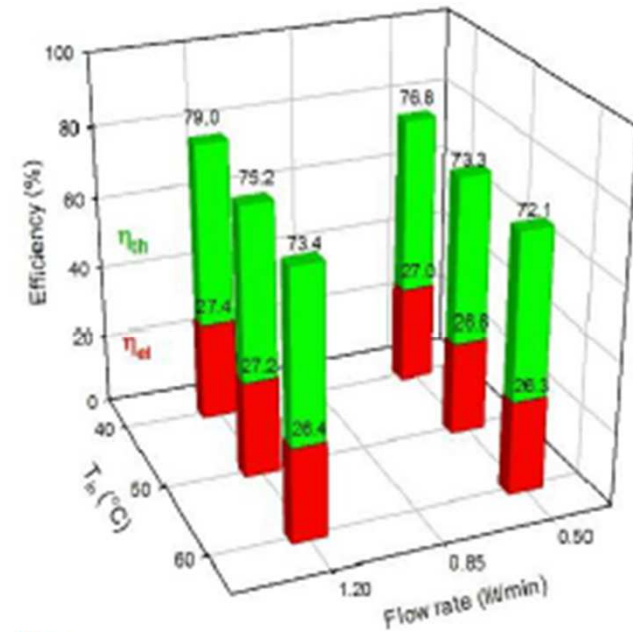
Dipartimento di *Fisica e Chimica*, Università di Palermo

CHP: test outdoor (2000 soli)

Efficienza complessiva $\approx 80\%$



(a)



(b)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

