

MARCO BOETTI
ANNO ACCADEMICO 2011-2012

RELATORE:
PROF. PAOLO GAMBINO

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO
FACOLTA' DI SCIENZE M.F.N.

8 OTTOBRE 2012

Fotovoltaico a concentrazione



Concentrazione della radiazione solare

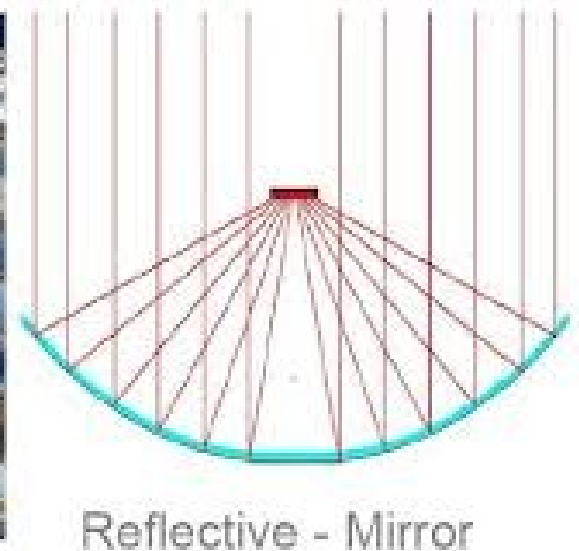
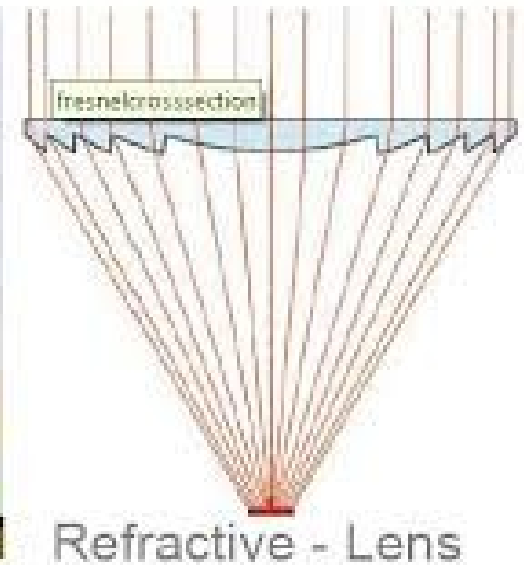
- Il fotovoltaico a concentrazione è una tecnologia che concentra la radiazione solare grazie a sistemi ottici che sfruttano la rifrazione o la riflessione della radiazione.
- Il coefficiente di concentrazione è definito come rapporto tra l'area di raccolta dell'apparato concentratore e la superficie della cella:

$$C = \frac{A_{conc}}{A_{cella}}$$

Alta concentrazione: > 400X

Media concentrazione: ~ 3-100X

Bassa concentrazione: < 3X.



Concentrazione da rifrazione

- Le lenti di Fresnel hanno una grande capacità concentrante, ciò è dovuto alla struttura della faccia interna che è costituita da una serie di prismi.

Sapendo che:

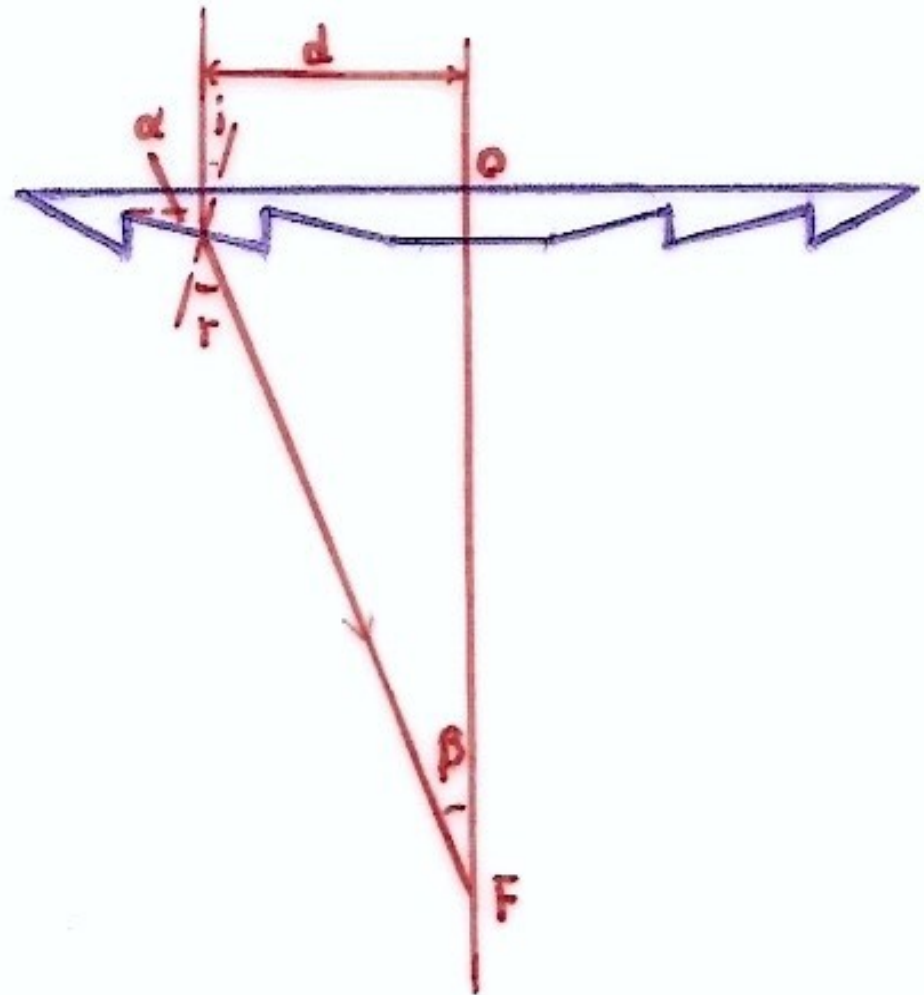
$$\alpha = i,$$

$$r = \alpha + \beta,$$

$$\tan(\beta) = d/f$$

e utilizzando la legge di Snell, si trova facilmente l'angolo del singolo prisma:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{d/f}{n * \sqrt{1 + (d/f)^2} - 1}\right)$$



Concentrazione da riflessione

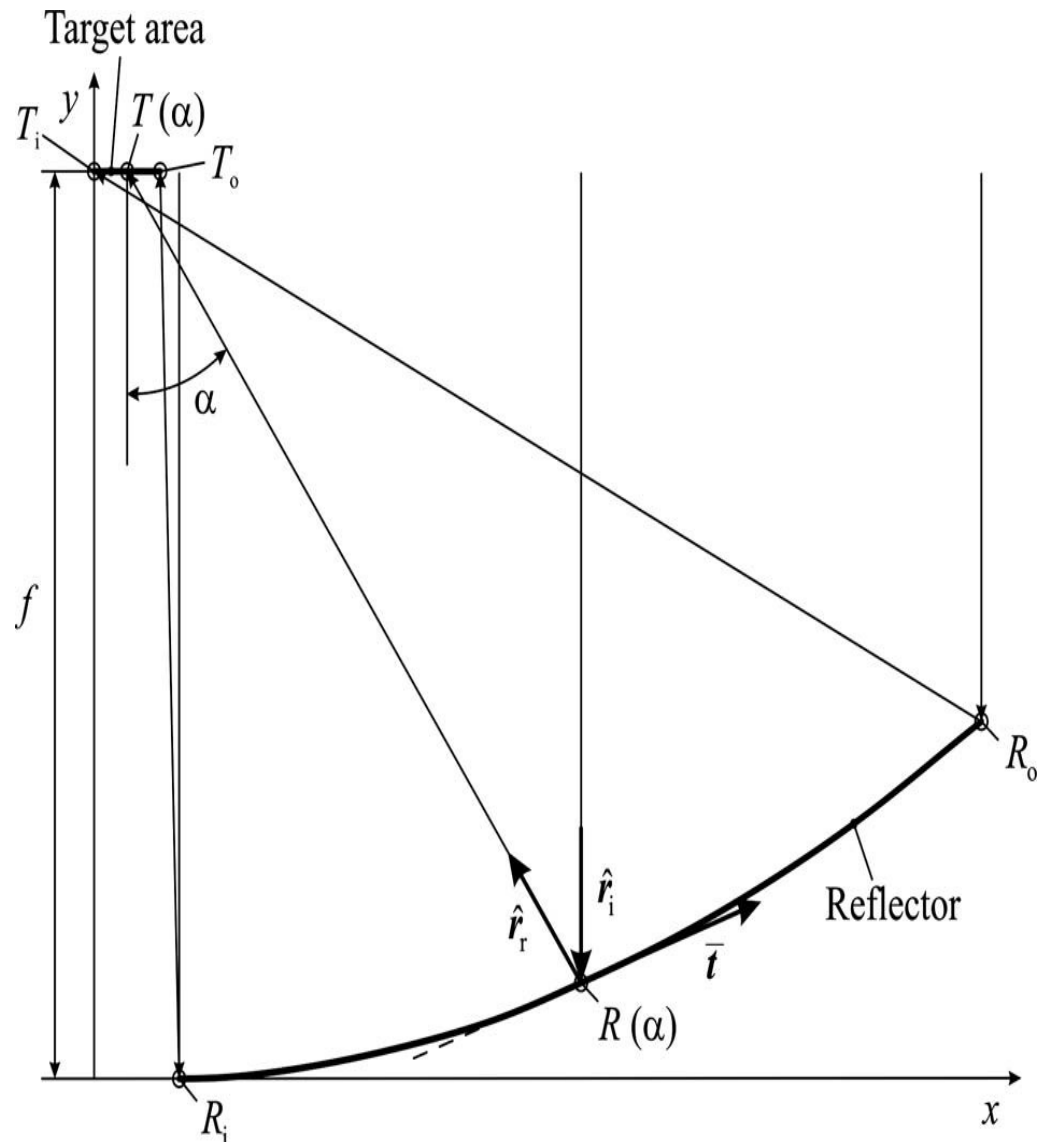
- Il solar trough consiste in due riflettori di forma paraboloidale che indirizzano la luce su di una cella fotovoltaica posta nel fuoco della parabola.

L'equazione parametrica del riflettore sarà:

$$\vec{R}(\alpha) = \vec{T}(\alpha) - r_r * k(\alpha)$$

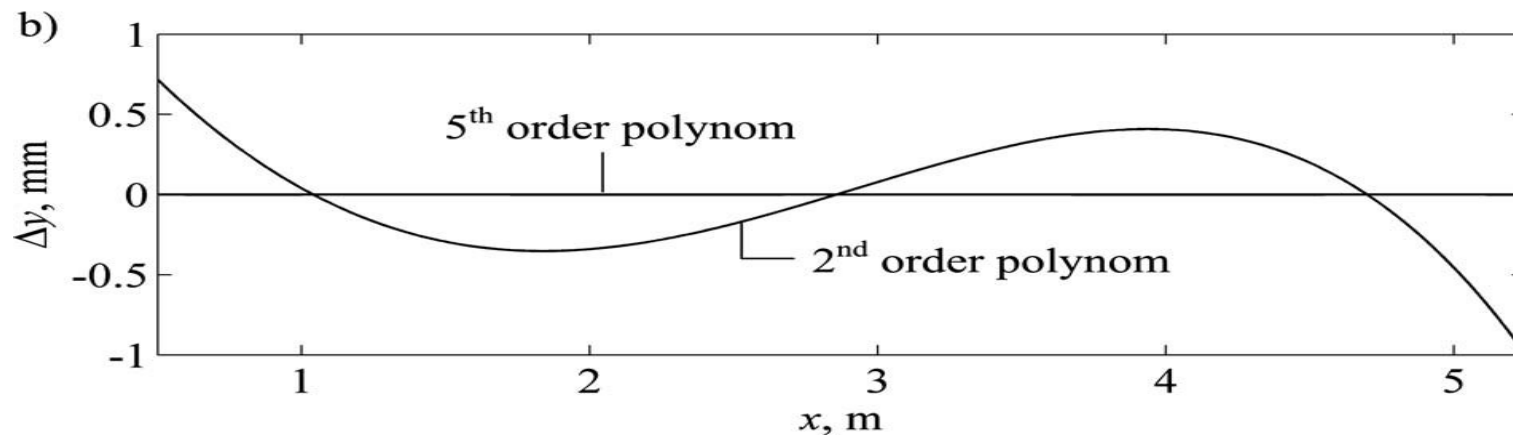
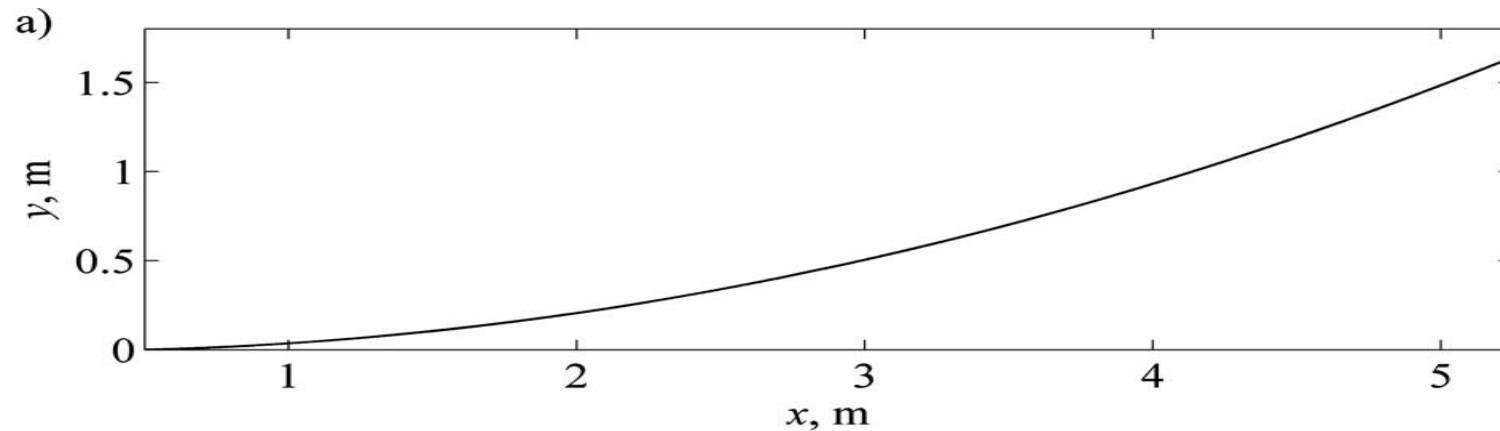
Per avere un flusso radiativo uniforme sulla superficie della cella richiede che:

$$\frac{R(\alpha)_x - R_{i,x}}{R_{0,x} - R_{i,x}} = \frac{T_{0,x} - T(\alpha)_x}{T_{0,x} - T_{i,x}}$$



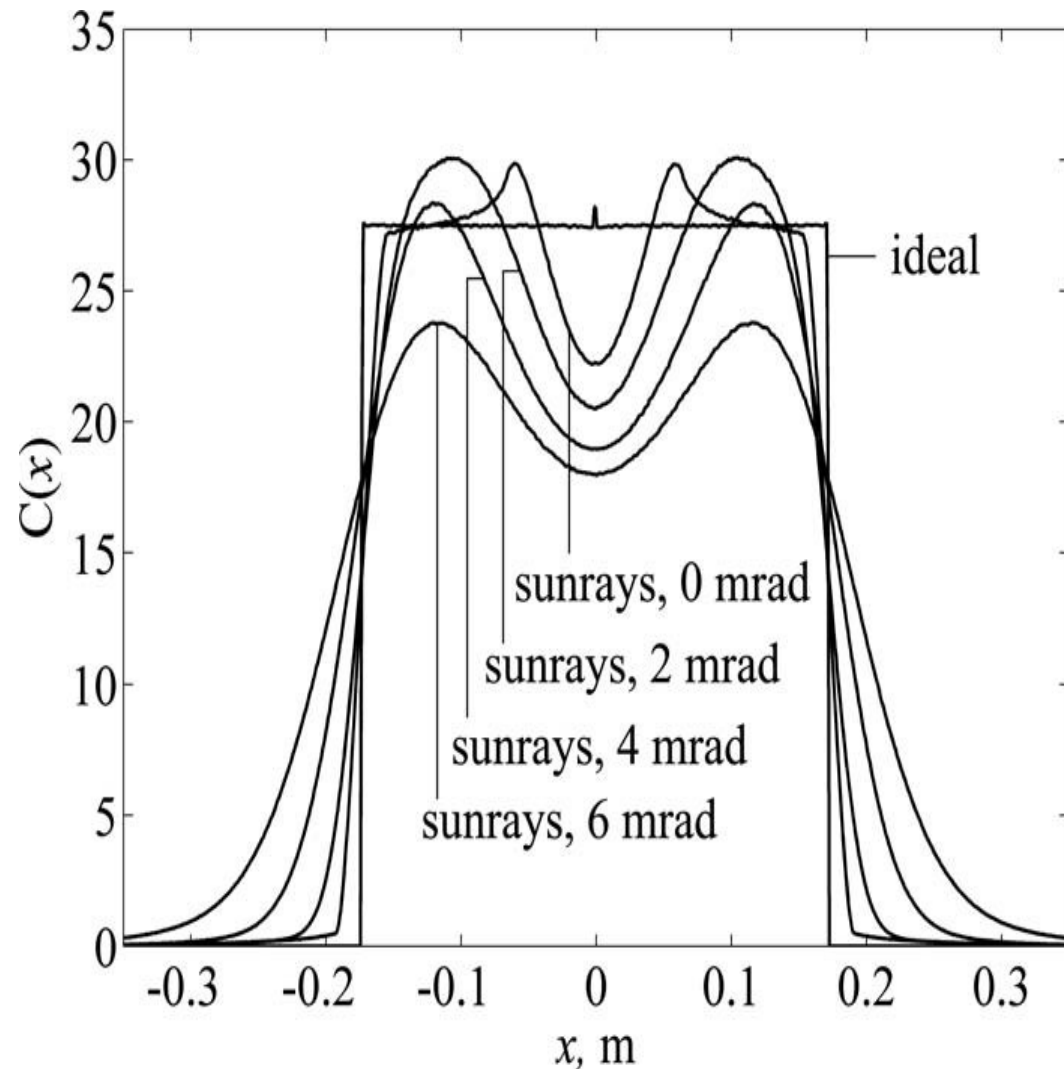
Concentrazione da riflessione

Il profilo ideale del riflettore può essere approssimata con una funzione polinomiale del quinto ordine

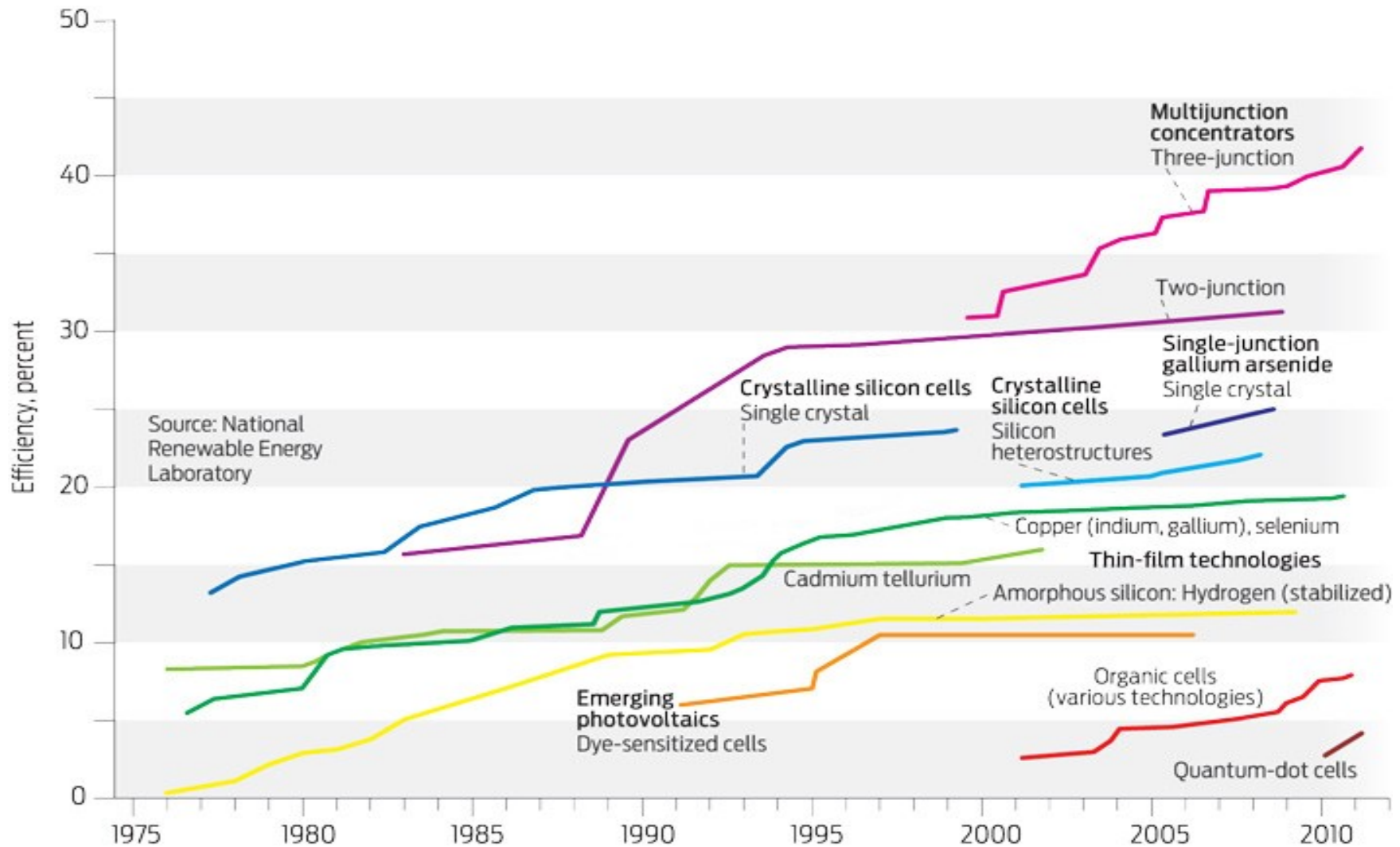


Concentrazione per riflessione

- Distribuzione sul piano focale del valore del coefficiente di concentrazione nel caso ideale e per casi reali di radiazione solare.

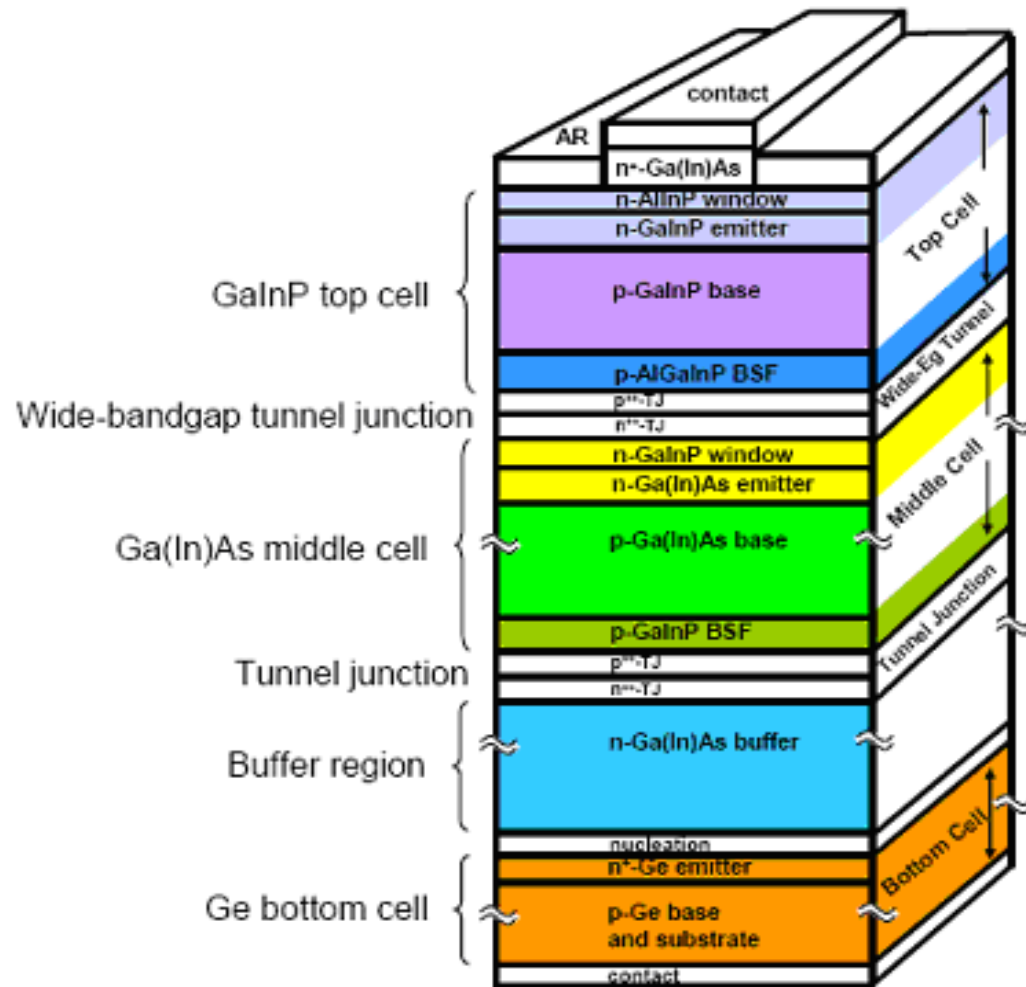


Evoluzione celle fotovoltaiche



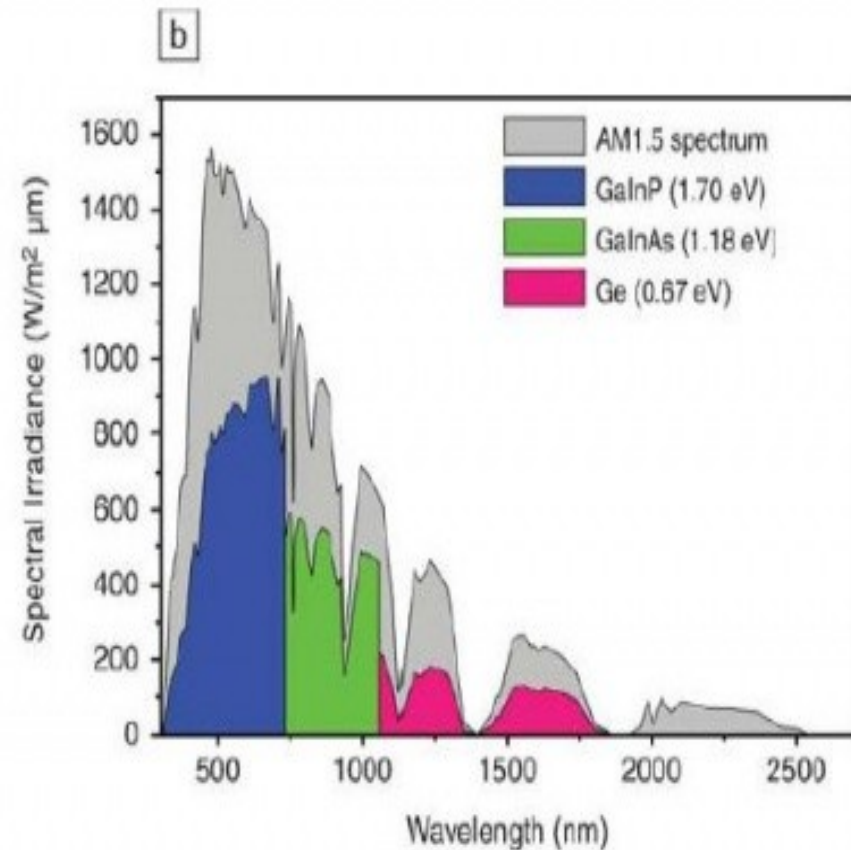
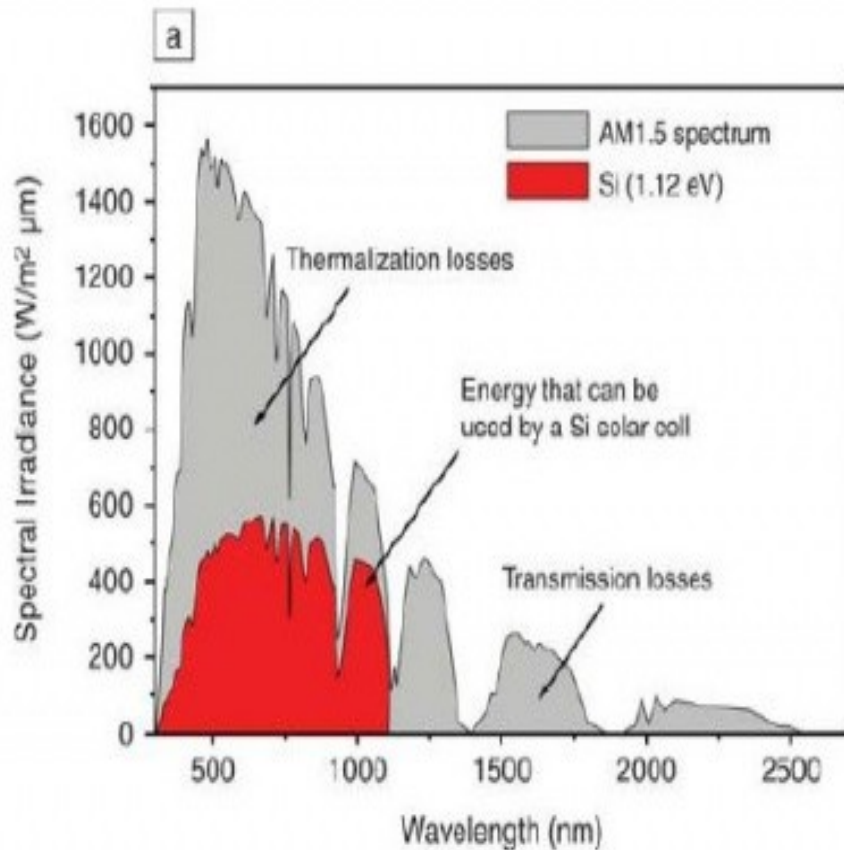
Cella multigiunzione

- Le celle a multigiunzione, consistono nell'unione di più celle fotovoltaiche a singola giunzione: i fotoni più energetici sono catturati dalla prima cella, mentre quelli con meno energia saranno trasmessi alle celle successive fino ad arrivare all'ultima cella che raccoglie i fotoni meno energetici.



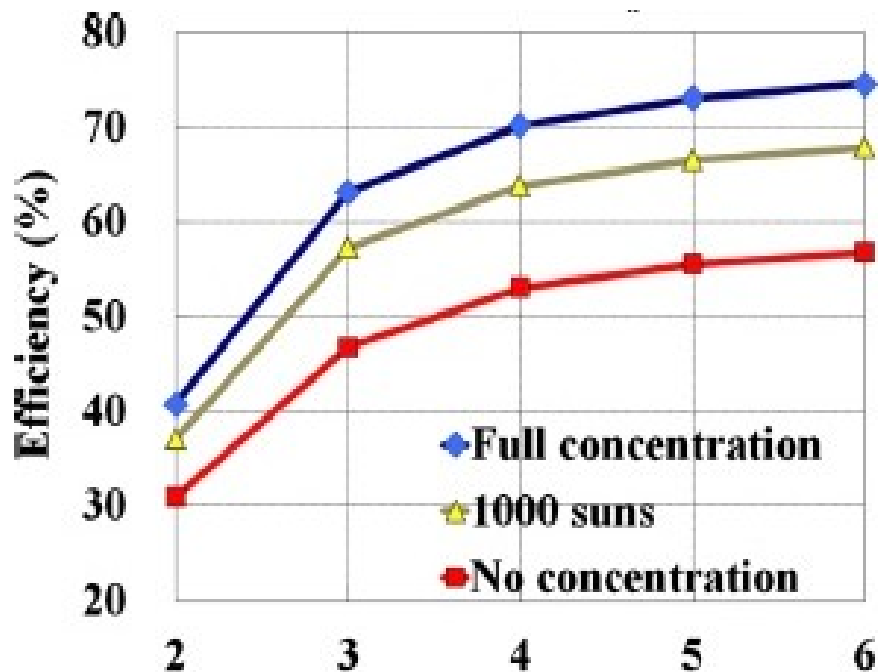
Cella multigiunzione

- L'utilizzo di celle a multigiunzione consente di raccogliere la radiazione solare a diverse lunghezze d'onda e coprire un intervallo energetico maggiore per la cattura di fotoni rispetto ad una cella tradizionale di Silicio.



Cella multigiunzione

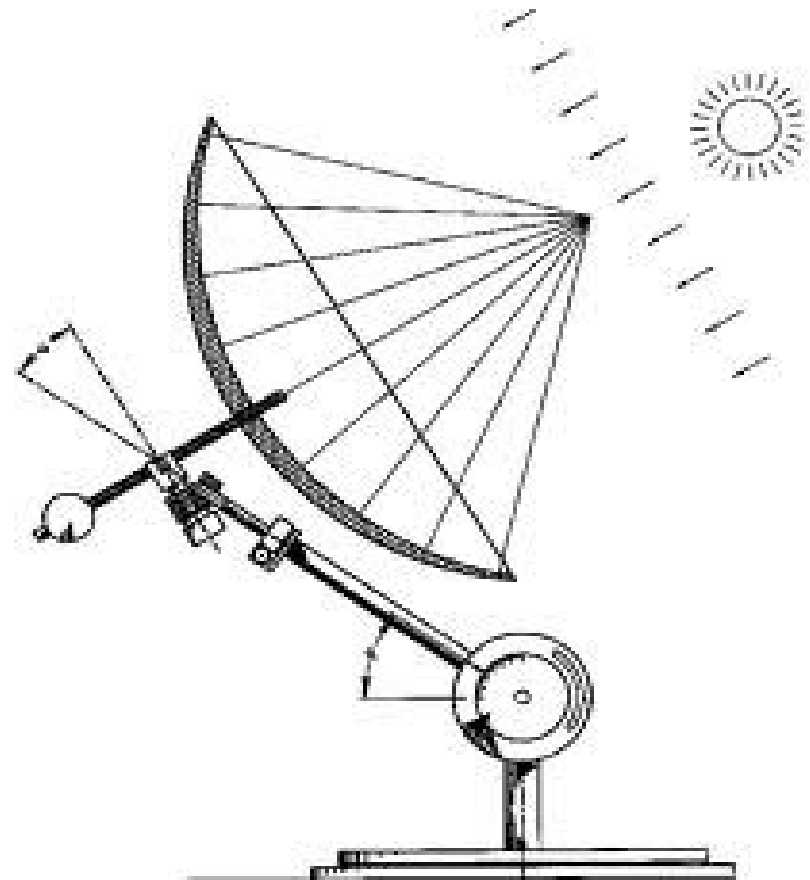
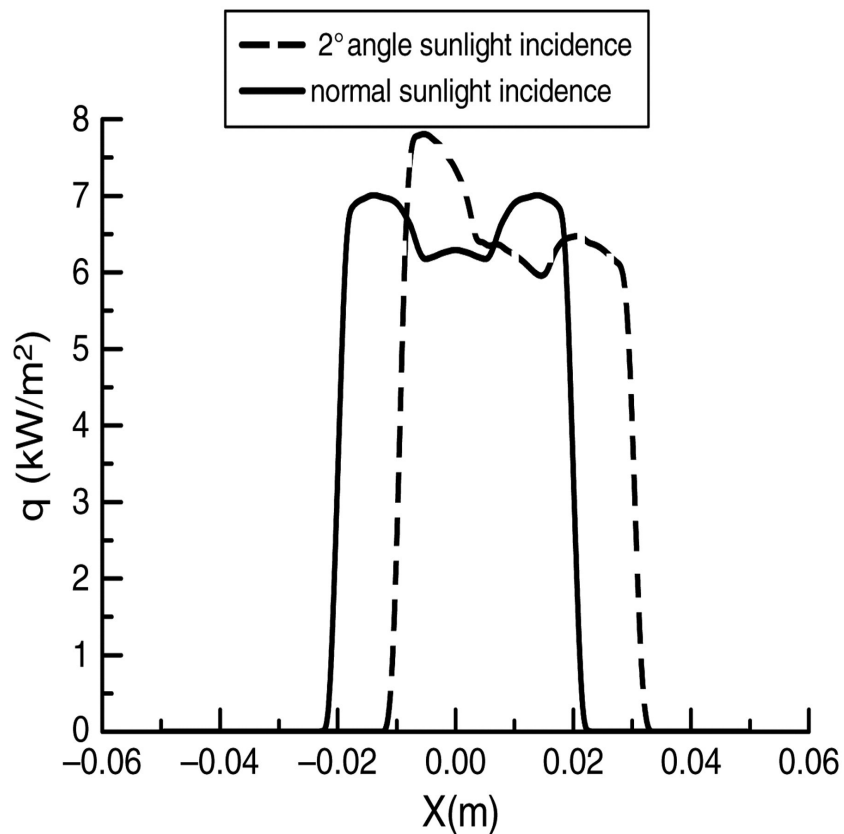
- Il miglioramento nell'efficienza della cella fotovoltaica è dato sia dall'aumento del numero di giunzioni che dall'utilizzo di sistemi ottici concentranti.



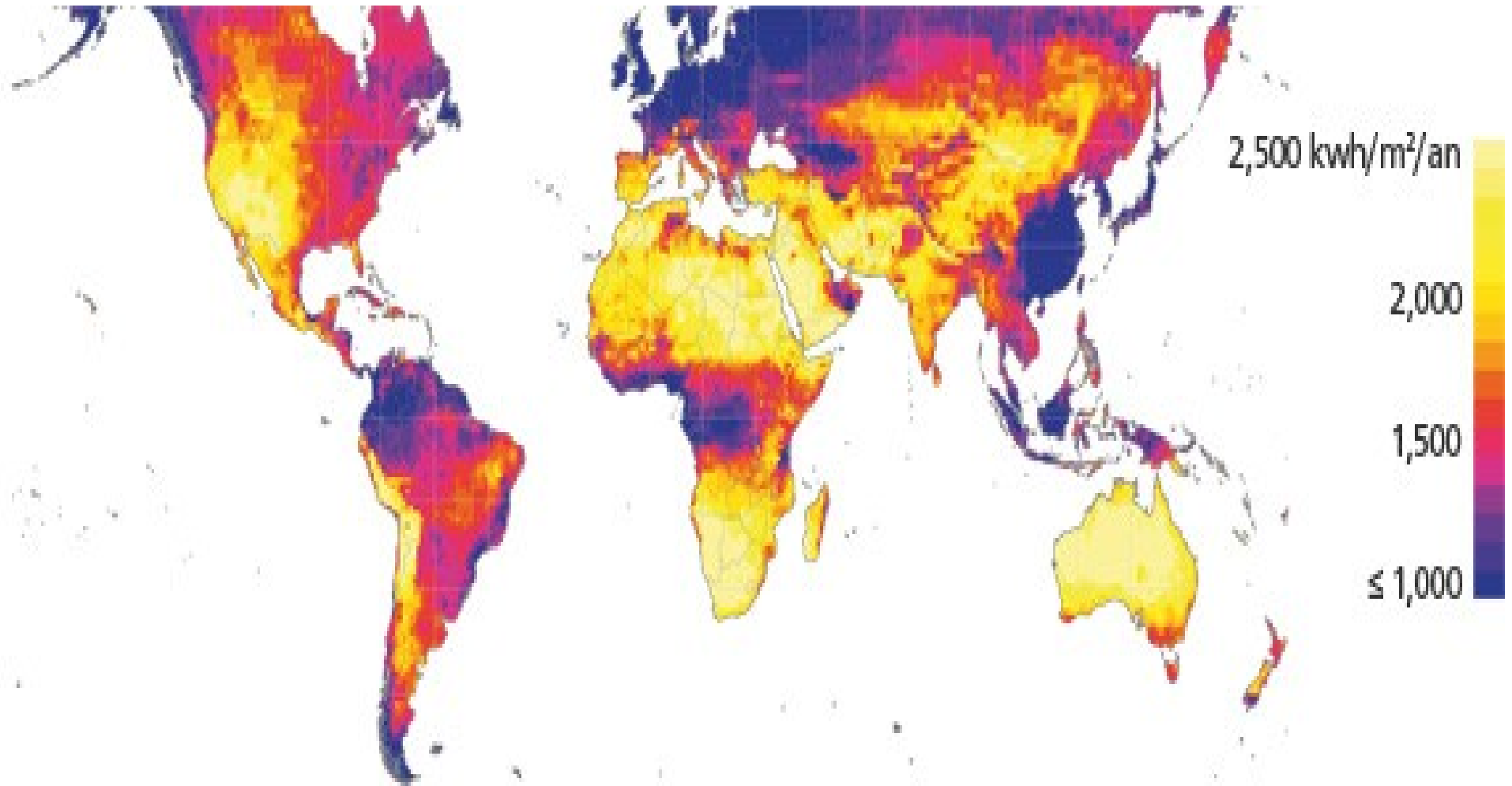
# junctions in solar cell	1 sun η	Max con. η
1 junction	30.8%	40.8%
2 junction	42.9%	55.7%
3 junction	49.3%	63.8%
∞ junction	68.2%	86.8%

Inseguitore solare

- Il fotovoltaico a concentrazione per essere competitivo necessita di uno strumento di tracciamento che indirizzi il sistema in modo che riceva una quantità di radiazione normale incidente maggiore possibile.

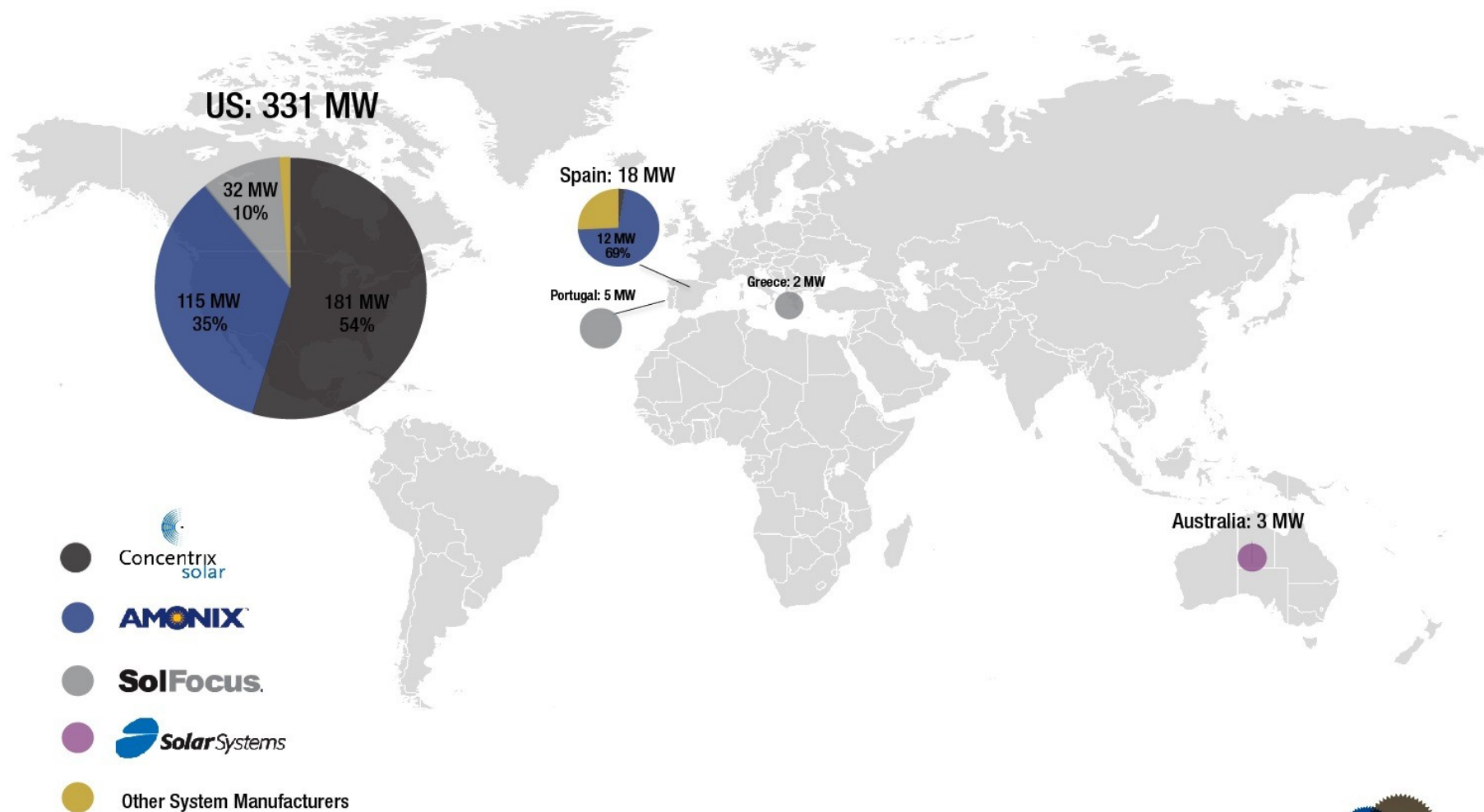


Irraggiamento diretto normale



Mercati del fotovoltaico a concentrazione (2011)

CPV Projects in Operation, Construction or Development (with PPA/FIT) by System Manufacturer



Impianto fotovoltaico a concentrazione di Celano (Aq)

- Potenza media: 1,3 MW
- Energia immessa in rete: 2000 MWh all'anno
- Efficienza complessiva dell'impianto: 30%
- Fattore di concentrazione: 650x.
- 124 inseguitori solari
- Potenza installata su singolo inseguitore: 10 kW
- Superficie totale concentratori: 4300m²
- Superficie totale celle fotovoltaiche: 6,6m²
- Soddisfa il fabbisogno di 600 nuclei famigliari



Impianto fotovoltaico a concentrazione di Villafranca (Spagna)

- Potenza media: 12 MW
- Potenza massima: 14,4 MWp
- Energia immessa in rete: 27000 Mwh all'anno
- Superficie occupata: 100 ha
- potenza installata sugli inseguitori solari è di 12,5 e 25 kW.
- soddisfa il fabbisogno di 6500 nuclei familiari



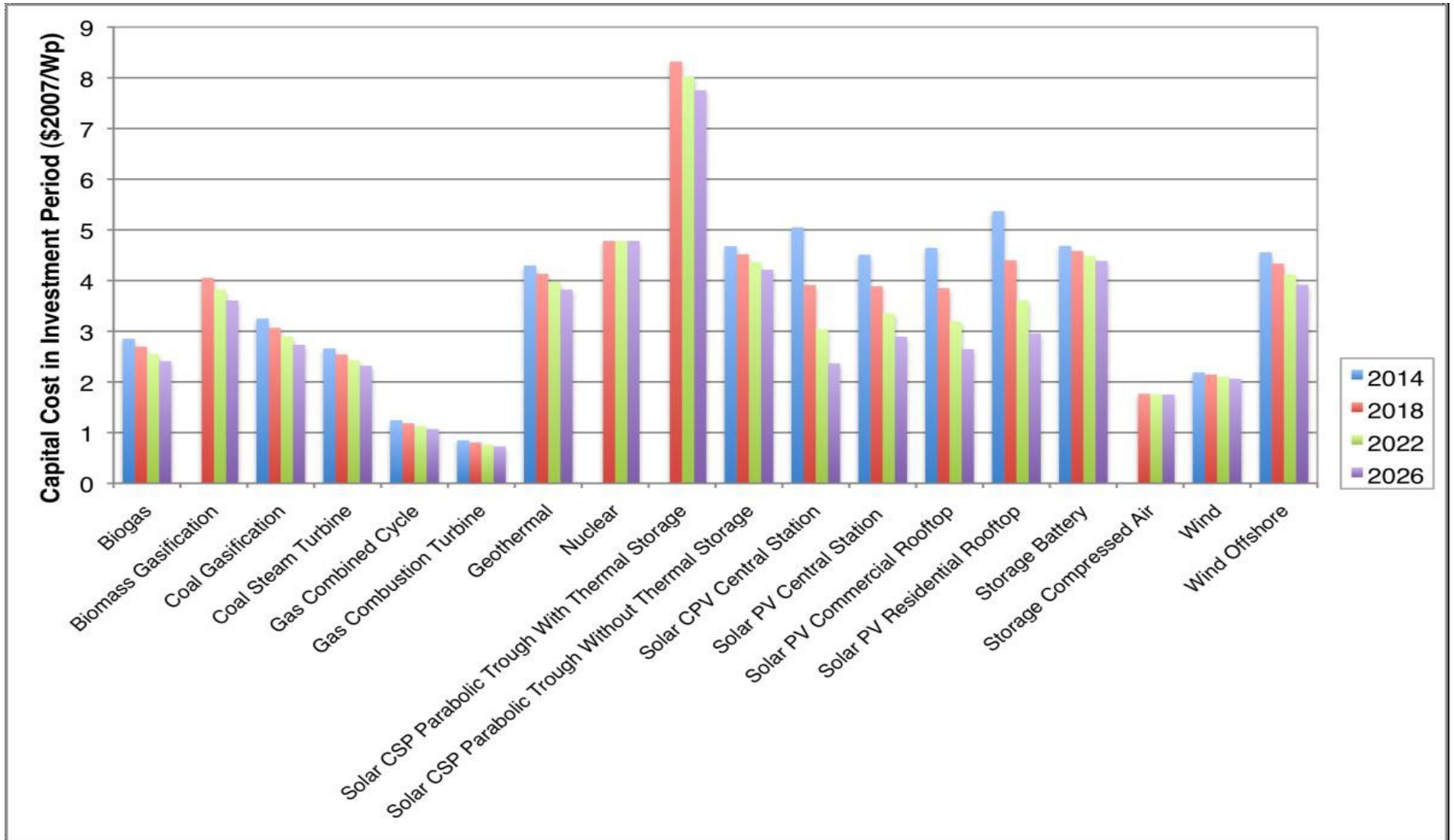
Confronto impianti CPV e CSP

- I maggiori impianti di fotovoltaico a concentrazione (CPV) e solare termico a concentrazione (CSP), che dispone di un sistema di accumulo del calore.

	CPV Villafranca	CSP Andasol
E [MWh/anno]	27000	525000
S [ha]	100	1500
P [W/ m ²]	12	10



Costi di costruzione (U.S.A.)



Fonte: University of California, Berkeley

Sommario

Vantaggi rispetto al fotovoltaico tradizionale:

- Maggiore efficienza ($\eta_{PV} < 18\%$)
- Minore perdita di potenza alle alte temperature (a 40°C $P_{PV} \approx 85\%$ della potenza nominale)
- Minor materiale per celle fotovoltaiche
- Minor uso del suolo (per il fotovoltaico a terra $350 \text{ m}^2/\text{GWh}$)

Vantaggi rispetto al solare termico a concentrazione:

- Maggiore efficienza ($\eta_{CSP} < 20\%$)
- Minor costo di produzione
- Scarso utilizzo di fluido per il raffreddamento (3400 L/MWh acqua)
- Minor uso del suolo ($400 \text{ m}^2/\text{GWh}$)

bibliografia

- G.Zubi, J.L.Bernal-Augustin, G.V.Fracastoro, “High concentration photovoltaic systems applying III-V cells”
- S.Kurtz, “Opportunities and challenges for development of a mature concentrating photovoltaic power industry”
- H.Huang, Y.Su, Y.Gao, S.Riffat, “Design analysis of a Fresnel lens concentrating PV cell”
- R.Bader, A.Steinfeld, “A solar trough concentrator for pill-boxflux distribution over a CPV panel”
- H.Cotal, C.Fetzer, J.Boisvert, R.King, P.Herbert, R.King, N.Karam, “III-V multijunction solar cells for concentrating photovoltaics”