



Università di Ferrara

fondata nel 1391



University of Ferrara
Department of Physics

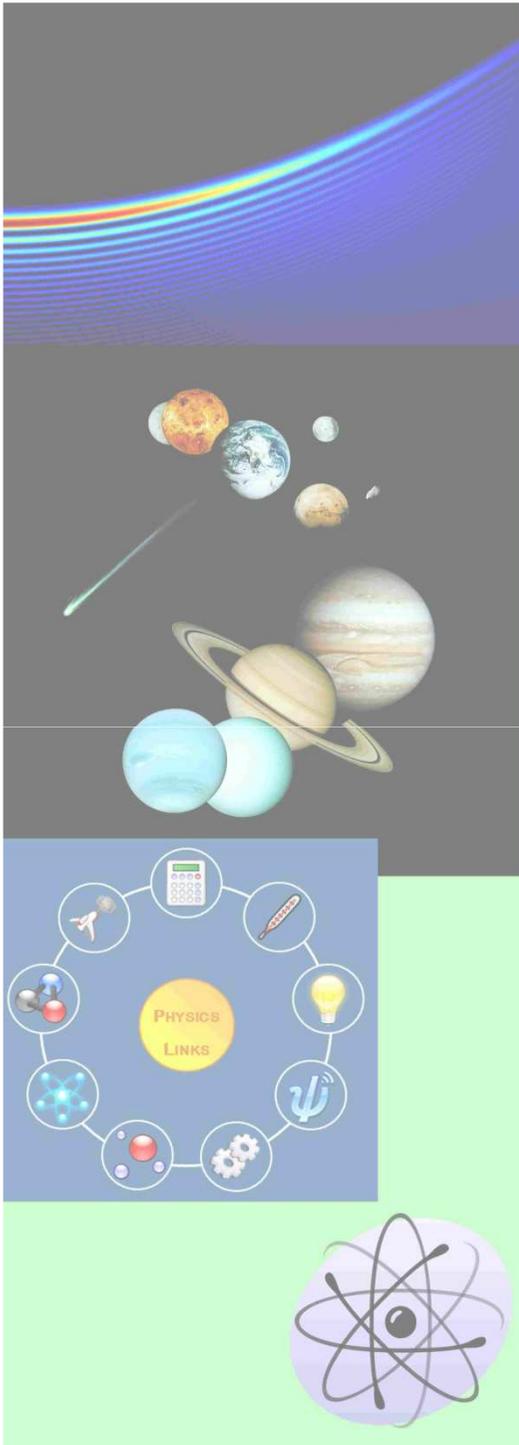


**CORSO DI ECCELLENZA
PER SCUOLE SECONDARIE
"Le sfide della Fisica Moderna"
a.a. 2010-2011**

***Collezione e concentrazione della luce:
teorie e tecnologie per l'energia solare***

A. Parretta

martedì 12 aprile 2011, ore 15:30

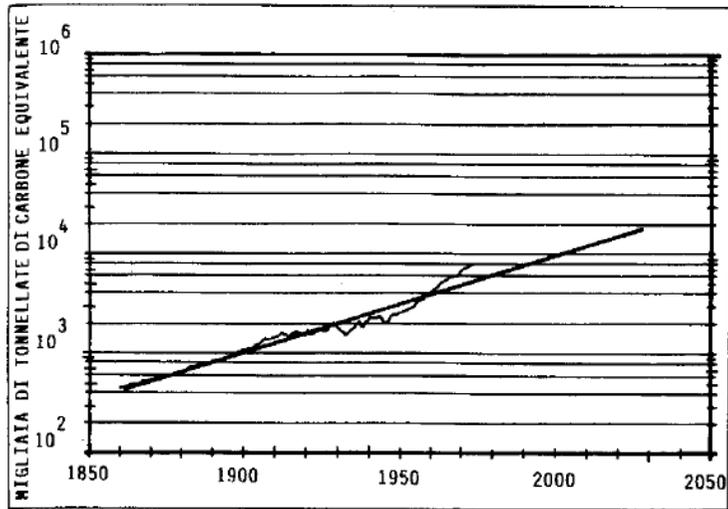


...ripensando alla mia vita, mi sembra di essere stato un bambino che si balocca sulla spiaggia, osservando e raccogliendo qualche ciottolo particolarmente lucido e ben levigato, mentre dinnanzi a lui si stende il mare sterminato della conoscenza ...

(Isaac Newton)



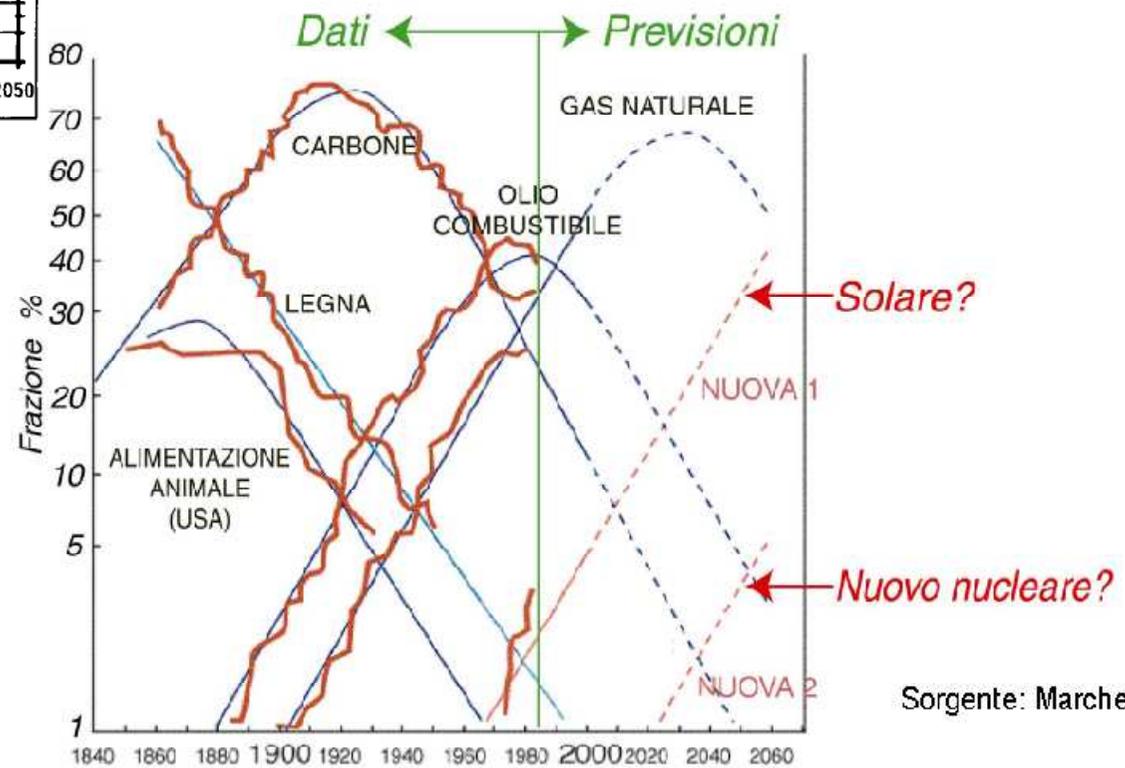
L'ENERGIA E IL FUTURO



Consumo totale di energia nel mondo (TCE)

$$\log \frac{F}{1-F} = a + b \cdot t$$

Funzione logistica
(F=frazione di mercato)



Sorgente: Marchetti

L'evoluzione delle fonti di energia primaria

Fattori di emissione di sostanze gassose inquinanti (g/kWh) ciclo totale del combustibile (produzione energia elettrica) per le diverse fonti energetiche

Sorgente	CO ₂	NO _x	SO _x
Carbone	322,8	1,8	3,4
Petrolio	258,5	0,88	1,7
Gas Naturale	178	0,9	0,01
Nucleare	7,8	0,003	0,030
Fotovoltaico	5,3	0,007	0,020
Biomasse	0,0 ⁽¹⁾	0,6	0,140
Geotermico	51,5	TR	TR
Eolico	6,7	TR	TR
Solare termico	3,3	TR	TR
Idroelettrico	5,9	TR	TR

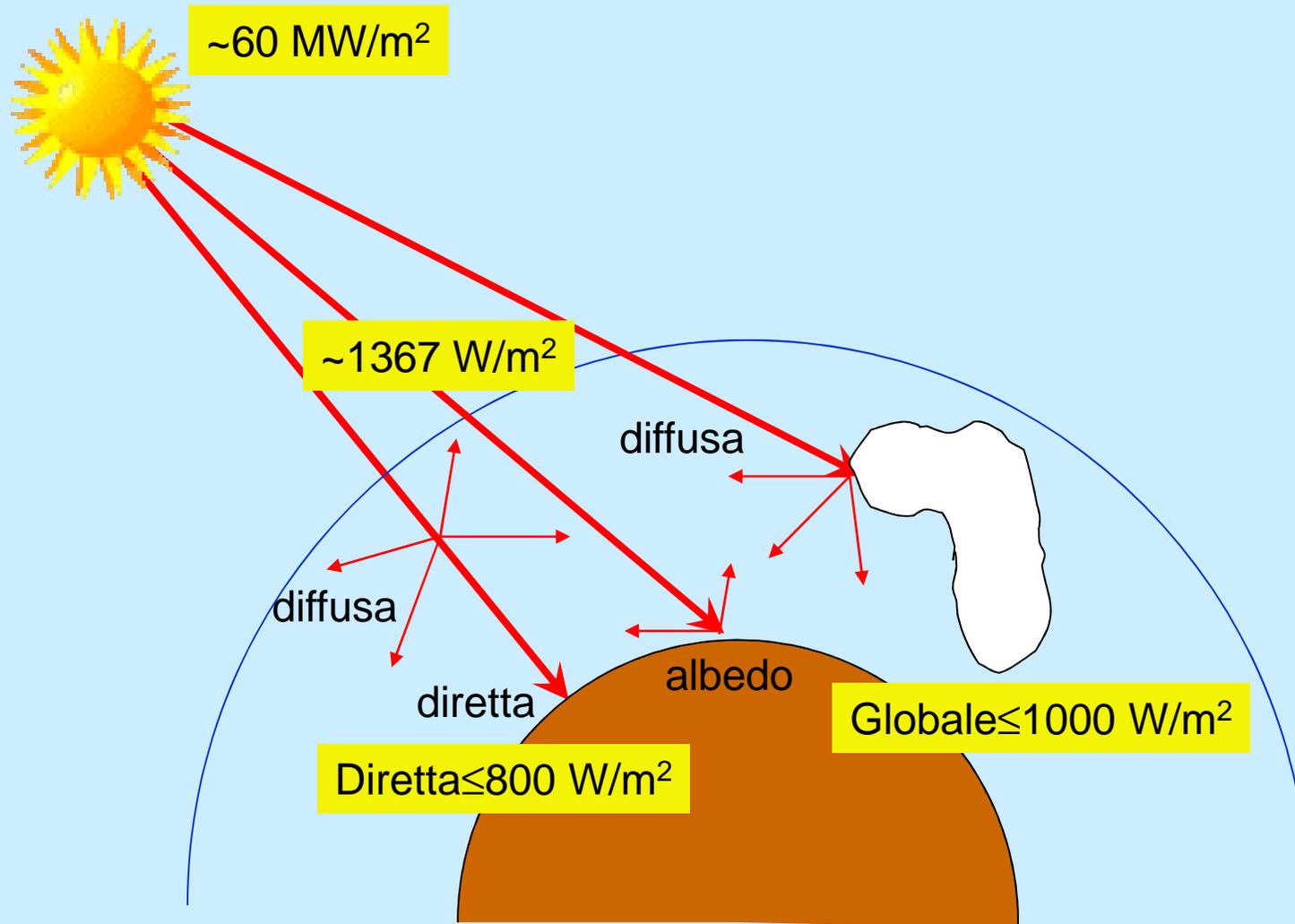
(1) con il programma di riforestazione; TR=Tracce

A bright sun with prominent rays is positioned in the upper left quadrant of a clear blue sky. Several white, fluffy clouds are scattered across the lower half of the frame, with a larger, more defined cloud on the right side. The overall scene is bright and clear.

IL SOLE

“LAST BUT NOT LEAST”

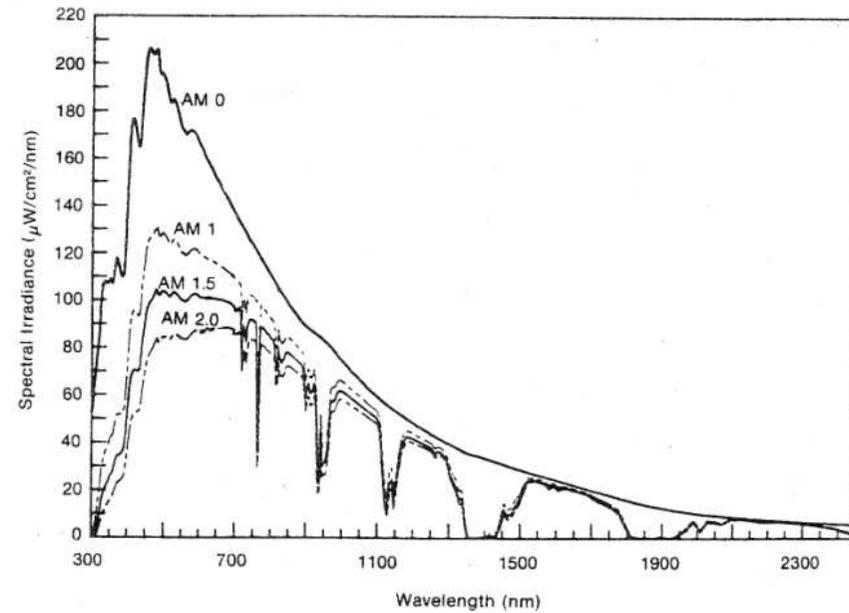
LE COMPONENTI DELLA RADIAZIONE SOLARE



LA RADIAZIONE SOLARE

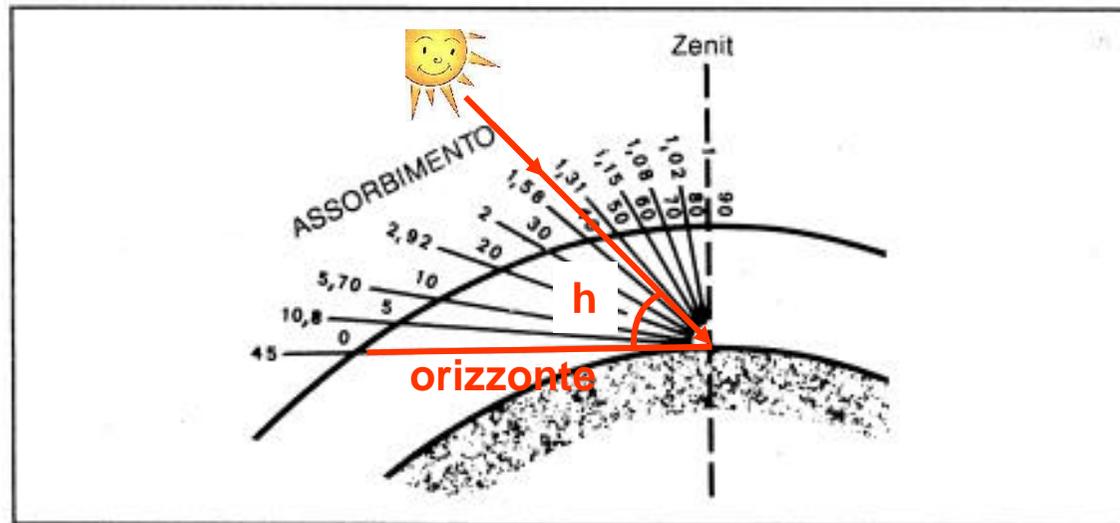


Lo spettro del Sole



Lo spettro si modifica con l'AM

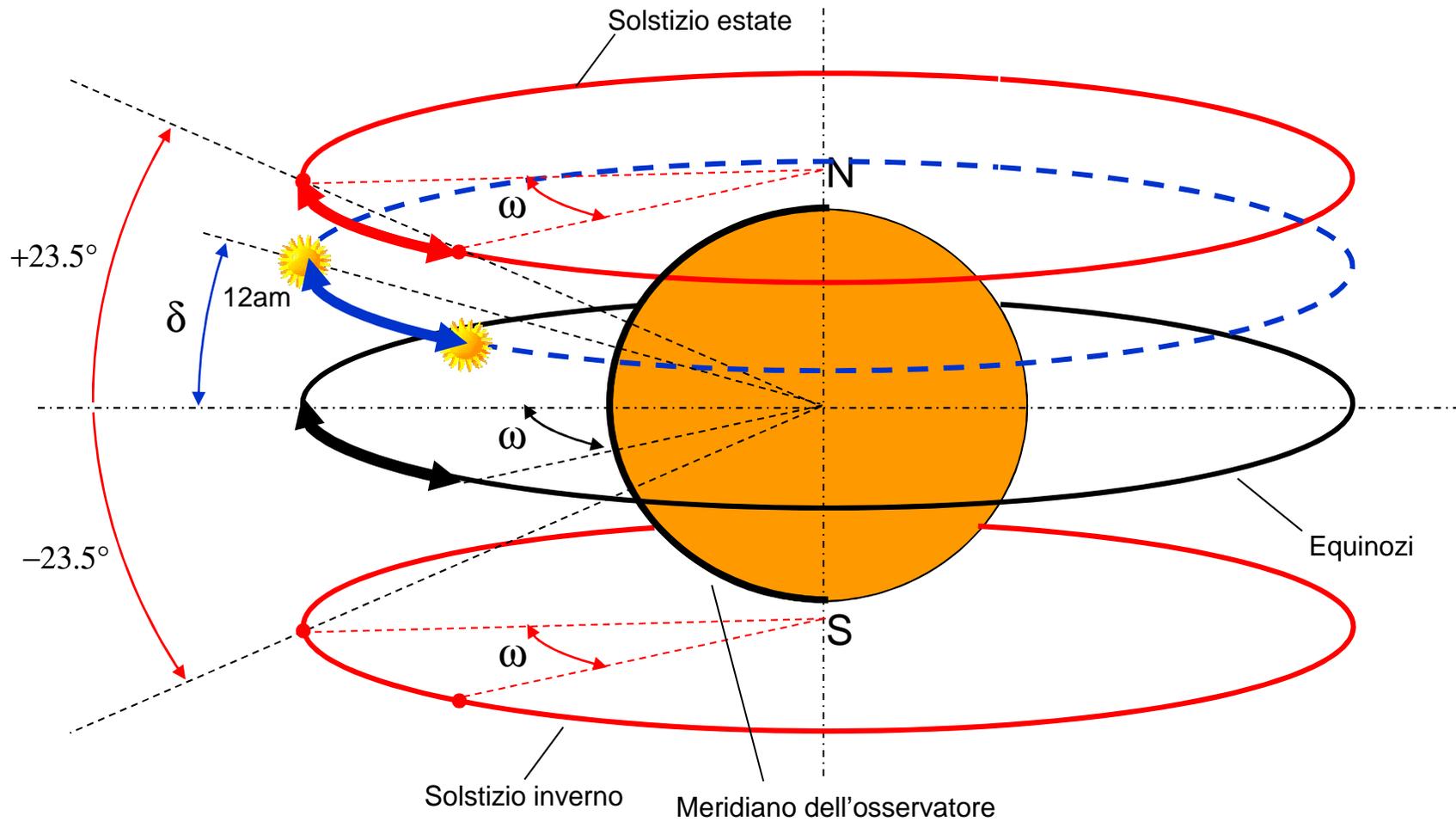
L'Air Mass (AM)
(Massa d'aria)



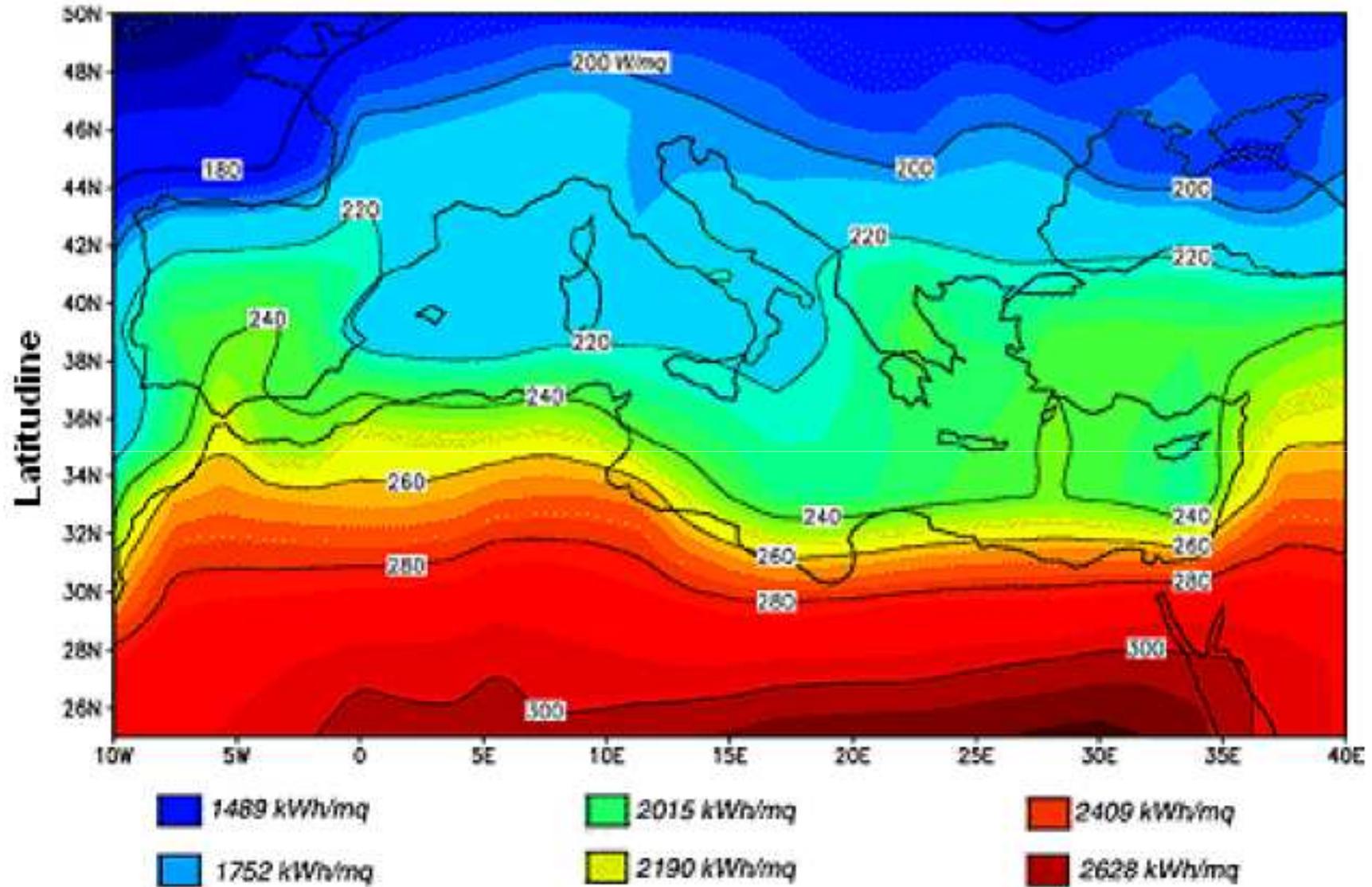
Influenza dell'atmosfera: assorbimento e modificazione dello spettro

IL PERCORSO DEL SOLE (in una visione tolemaica)

$-23.5^\circ \leq \delta \leq 23.5^\circ$ declinazione
 $-180 \leq \omega \leq +180^\circ$ angolo orario



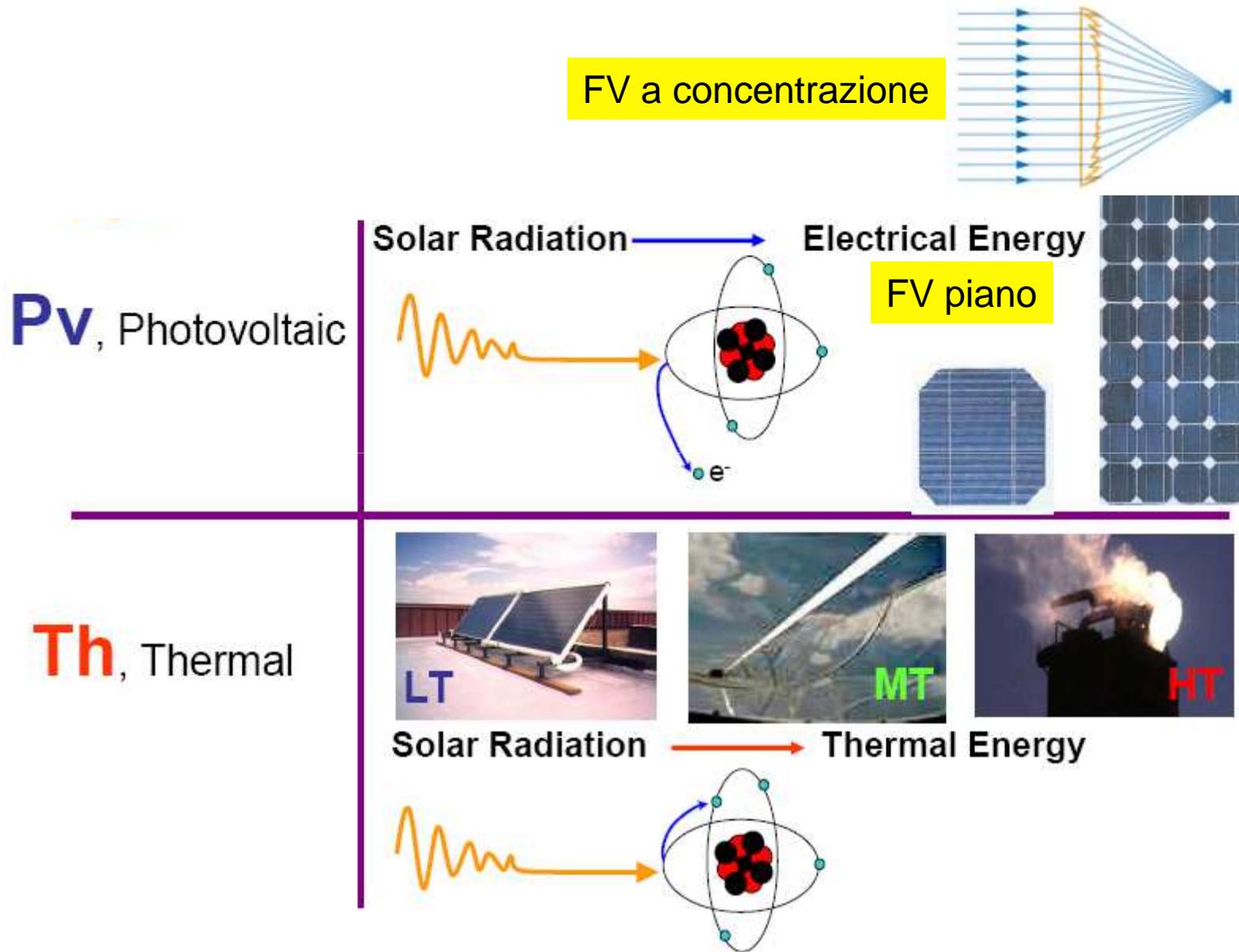
MAPPA DI RADIAZIONE SOLARE



Distribuzione della radiazione solare nell'area mediterranea

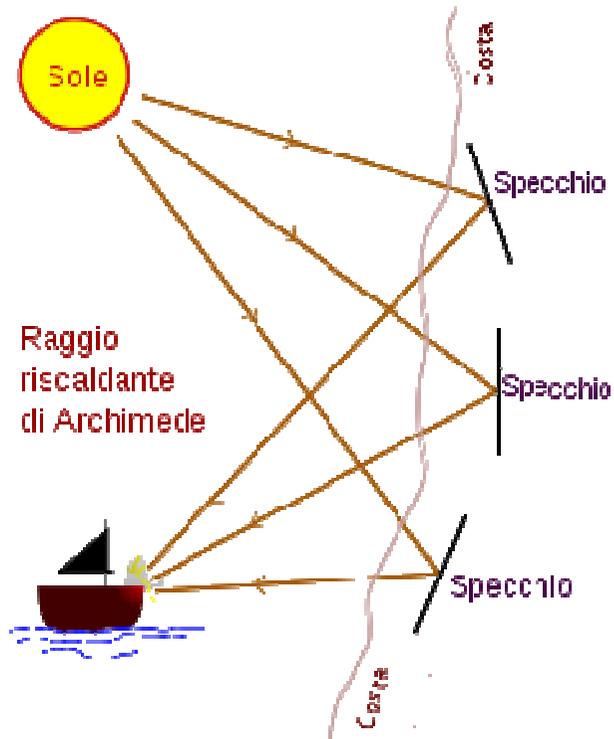
COME UTILIZZIAMO
L'ENERGIA DELLA
RADIAZIONE SOLARE ?

LE PRINCIPALI TECNOLOGIE SOLARI



CONCENTRATORI SOLARI :
UNA BREVE RASSEGNA STORICA

GLI SPECCHI USTORI DI ARCHIMEDE (Leggenda o realtà?)



Archimede
287 – 212 a.C.



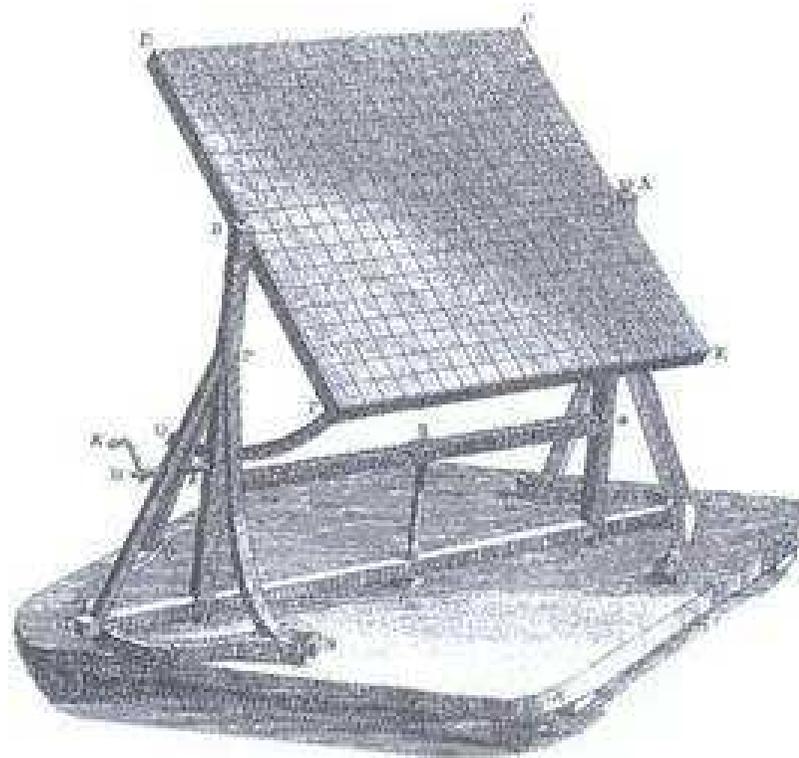
Battaglia di Siracusa (212 a.C.)

***Era materialmente possibile
bruciare una nave con quel sistema?***

IL CONCENTRATORE DI LECLERC



Georges Louis Leclerc
1707-1788



L'esperimento di Georges Louis Leclerc, Conte di Buffon, del 1747

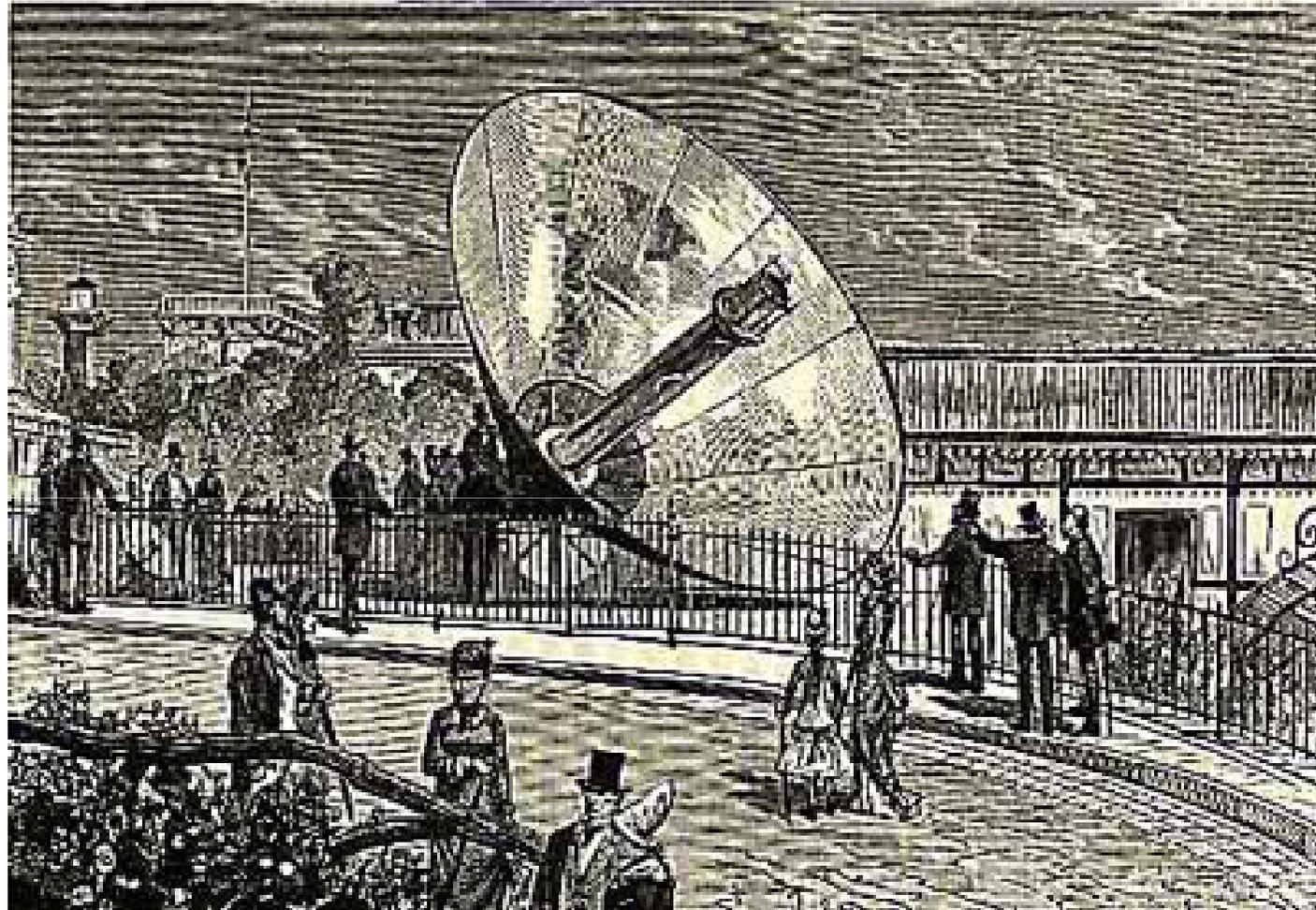
150 specchi piani fatti con vetro
ricoperto di un impasto a base di stagno
Dimensioni: 16x22 cm.
Area totale: $\approx 2 \text{ m}^2$

Con questa struttura, la quale era tale per cui era possibile variare il fuoco e adattarsi alla posizione assunta, il conte di Buffon riuscì a portare a combustione legno di abete, e riuscì a fondere del piombo e dello stagno. Fu uno dei pochi scienziati a sostenere la veridicità storica dell'esperienza degli specchi di Archimede.

LA CALDAIA SOLARE DI MOUCHOT



Augustin B. Mouchot
1823 - 1912

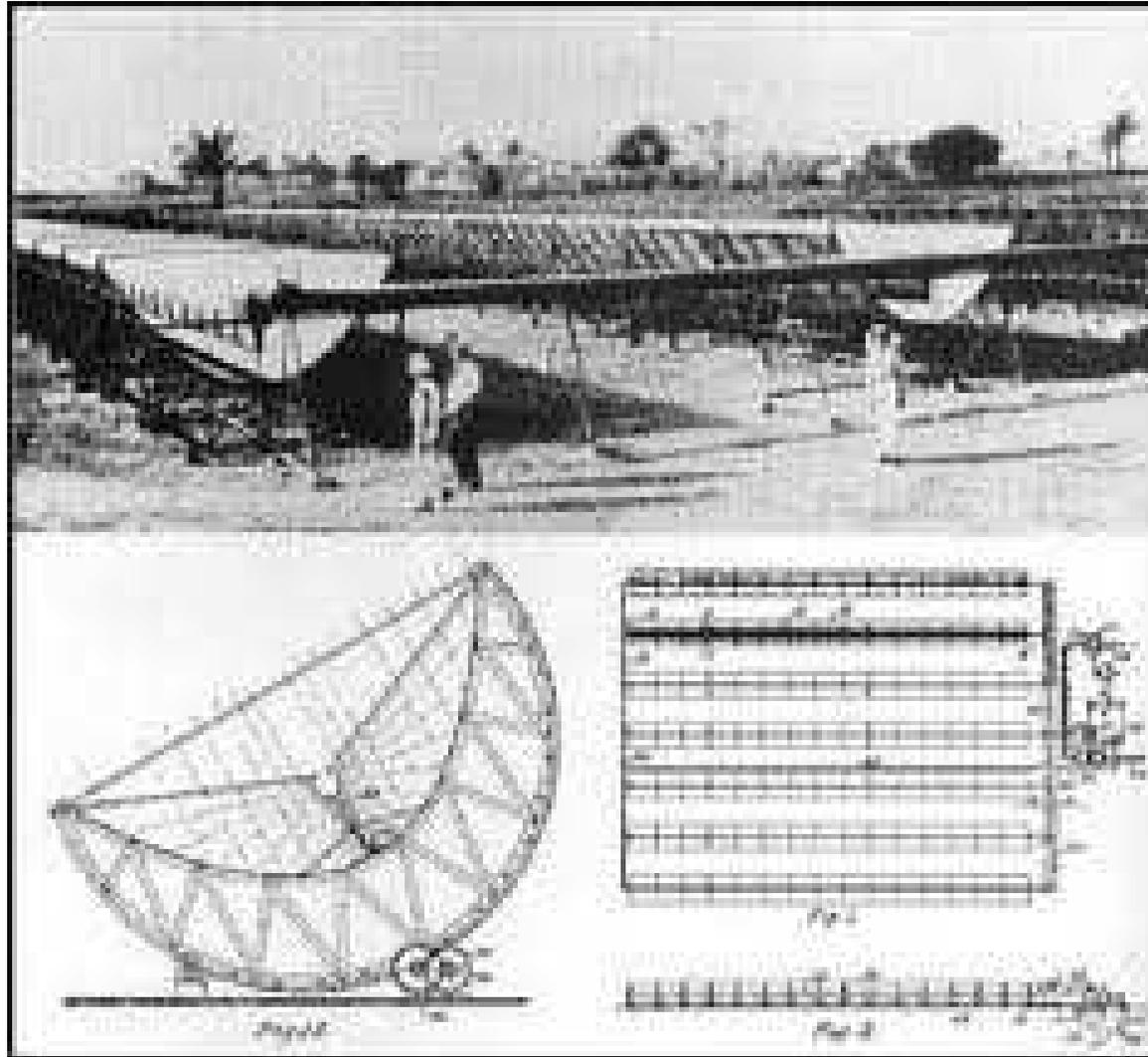


Motore solare costituito da uno specchio di diametro 4m ed una caldaia con una capienza di 70 litri di acqua, che per mezzo di vapore a pressione poteva produrre ghiaccio.

IMPIANTO SOLARE DI SHUMAN



Frank Shuman
1862-1918

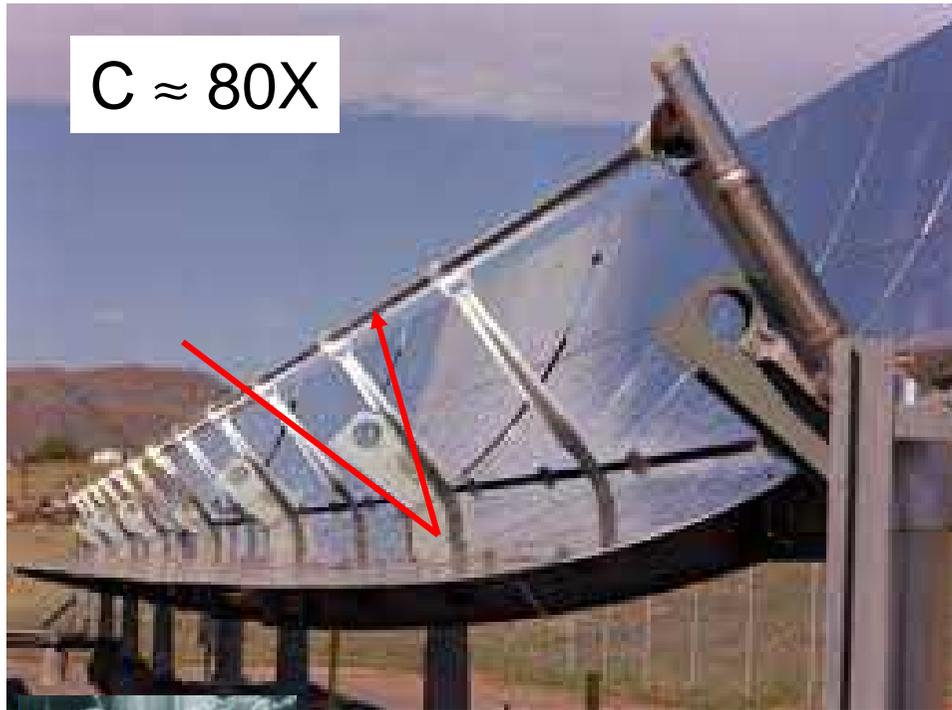


1200m² di collettori solari, sistema di accumulo termico ad acqua calda
Alimentava un impianto di pompe da irrigazione della potenza di 55 cavalli
capacità di pompaggio fino a 27000l di acqua al minuto.

RASSEGNA DI
IMPIANTI SOLARI MODERNI

CONCENTRATORE SOLARE (Termodinamico 2-D a specchi parabolici)

VIDEO



$C \approx 80X$



Efficienza termica $\approx 70\%$



Carlo Rubbia
Nobel per la Fisica
1984

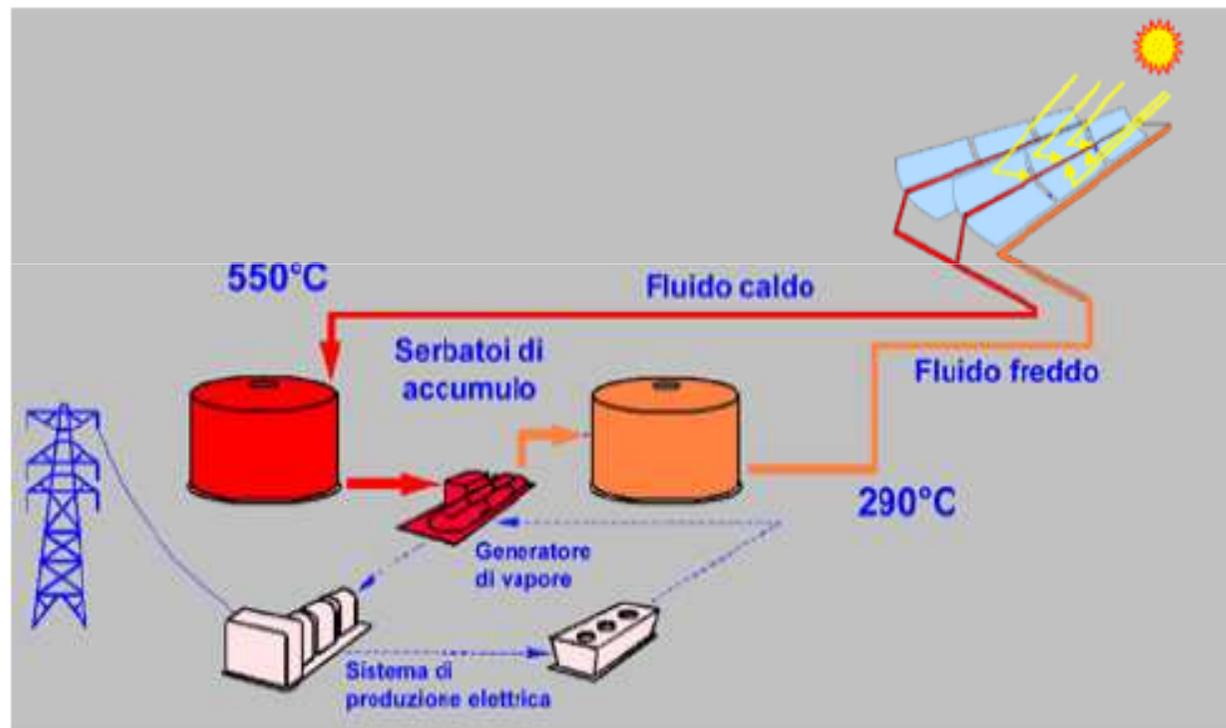


Non vi ricorda Shuman?

VIDEO progetto Archimede

Progetto ENEA Archimede

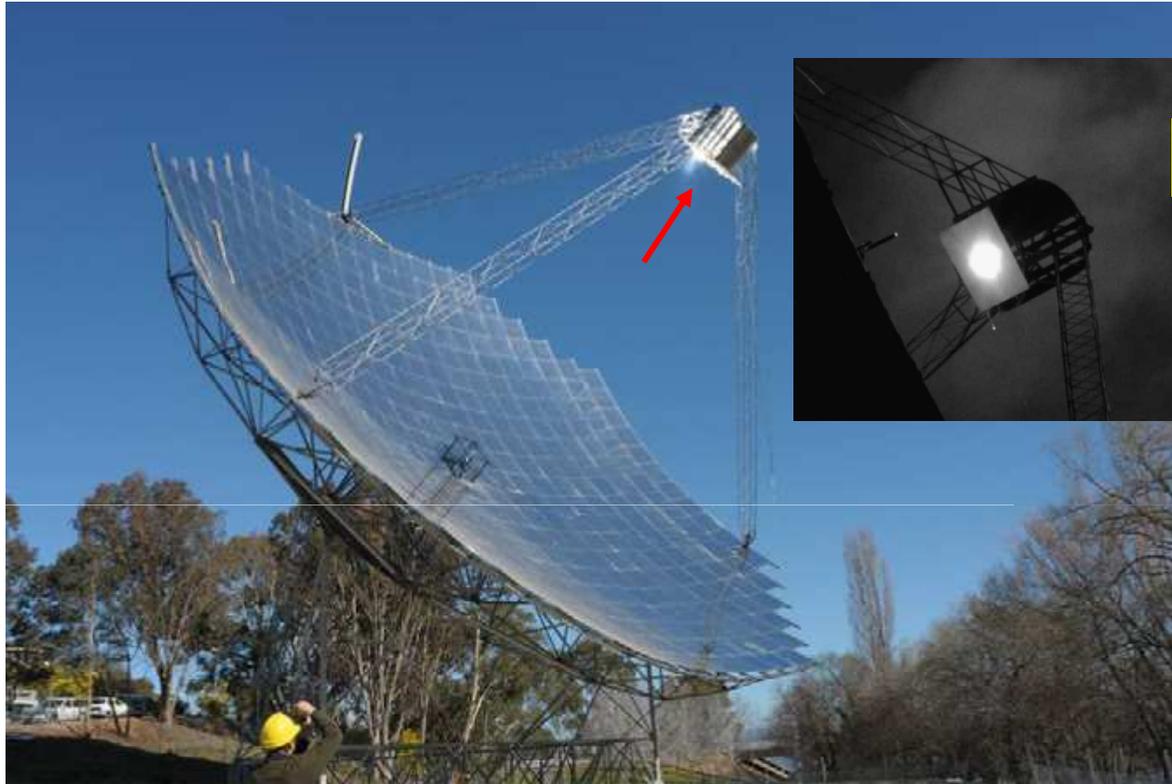
La generazione e lo stoccaggio di *fluidi a media temperatura* (<550°C) per la generazione elettrica e *alta temperatura* (>850°C) per la generazione di idrogeno.



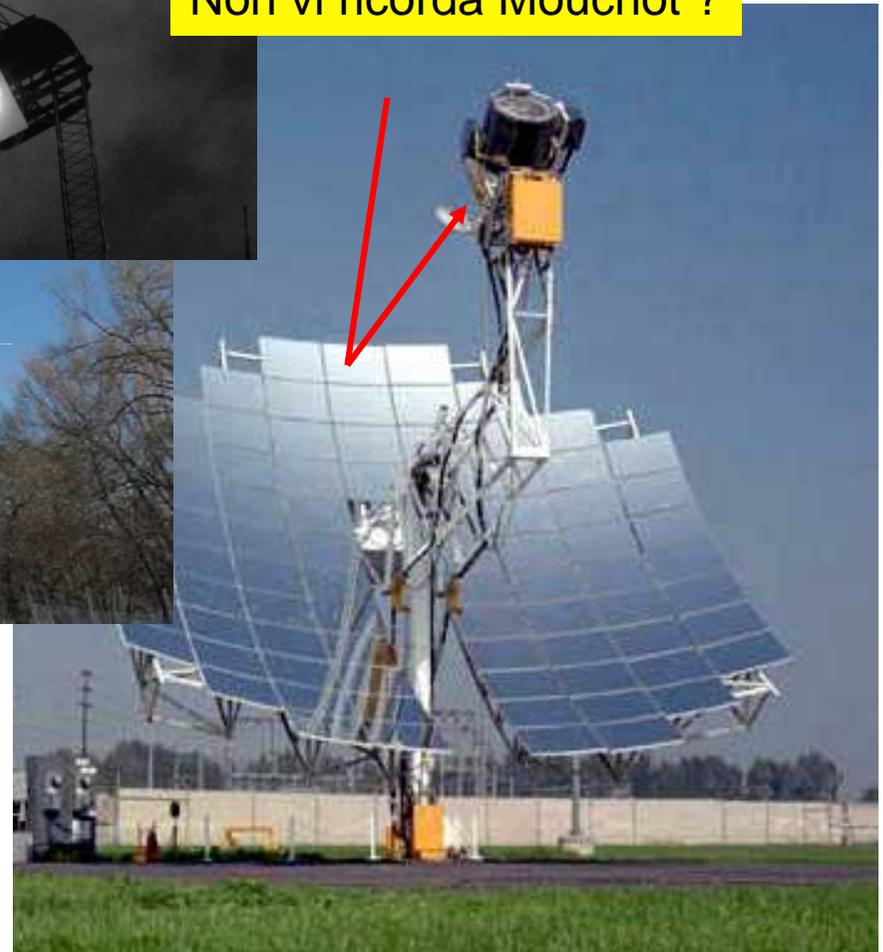
Il progetto solare-termodinamico ENEA (40 MWe)

CONCENTRATORE SOLARE

(Termodinamico 3-D a mosaico di specchi)



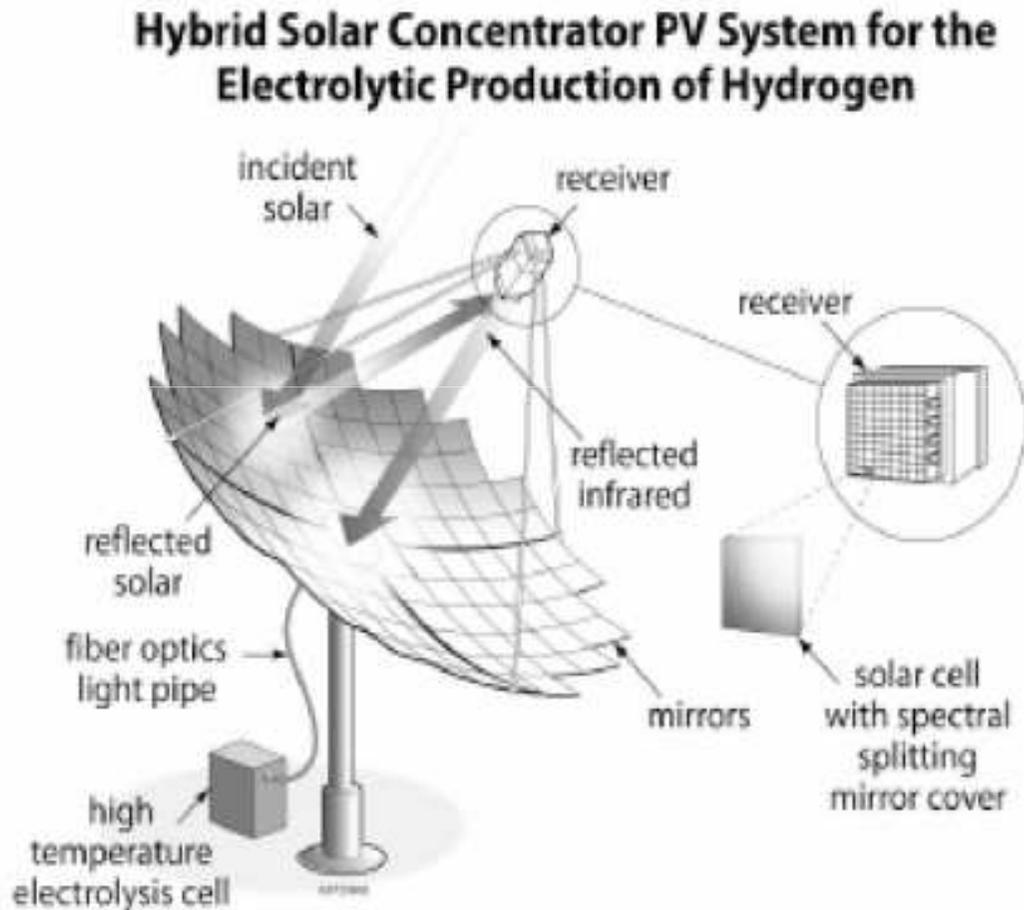
Non vi ricorda Mouchot ?



A 500 m² paraboloidal dish solar concentrator
ANU (Australia)

Archimede Solar Energy, Angelantoni (Massa Martana)

Applicazioni innovative: produzione di H₂



La luce riflessa è focalizzata su un ricevitore che invia la componente infrarossa tramite guida ottica a fibra ad una cella elettrolitica a stato solido ad alta temperatura per la produzione di idrogeno, mentre la componente UV e visibile della luce è inviata ad un array di celle che alimenta la cella elettrochimica

CONCENTRATORE SOLARE (Termodinamico 3-D a campo di specchi)



Andalusia (Spagna)

CONCENTRATORE SOLARE (Fotovoltaico 2-D)



a bassa concentrazione



Euclide

a media concentrazione



Euclides (Spagna)

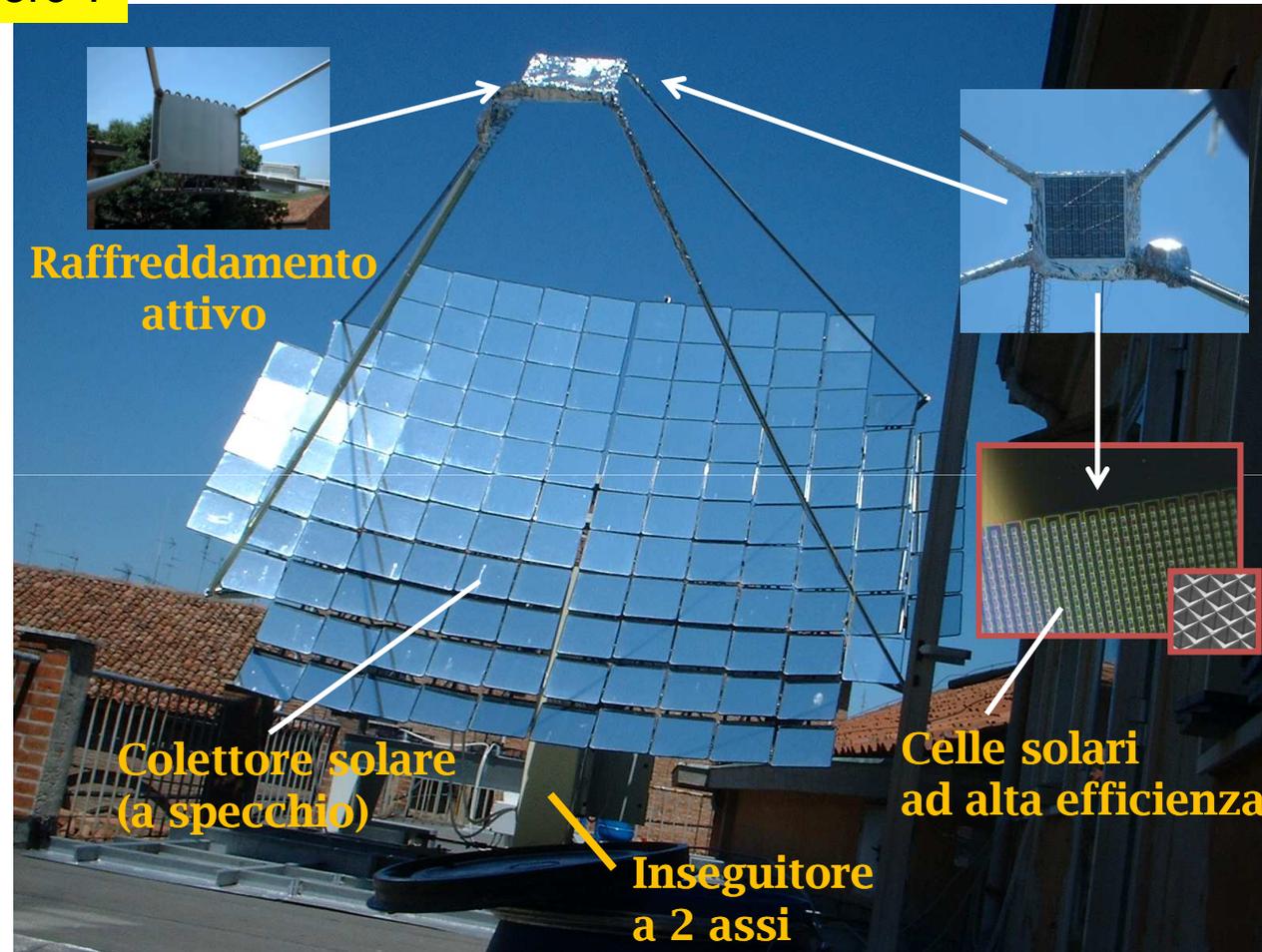
CONCENTRATORE SOLARE

(Fotovoltaico 3-D a mosaico di specchi)

Non vi ricorda Leclerc ?



Prof. G. Martinelli



Università di Ferrara. Dipartimento di Fisica

CONCENTRATORE SOLARE

(Fotovoltaico 3-D a bassa-media concentrazione)



Wp: = 39 W
Eff.: = 12%
C = 25X



Wp: = 95 W
Eff.: = 12%
C = 25X



Lo staff CPower



Università di Ferrara



≈4kWp Rondine system, Ostellata (Italia)

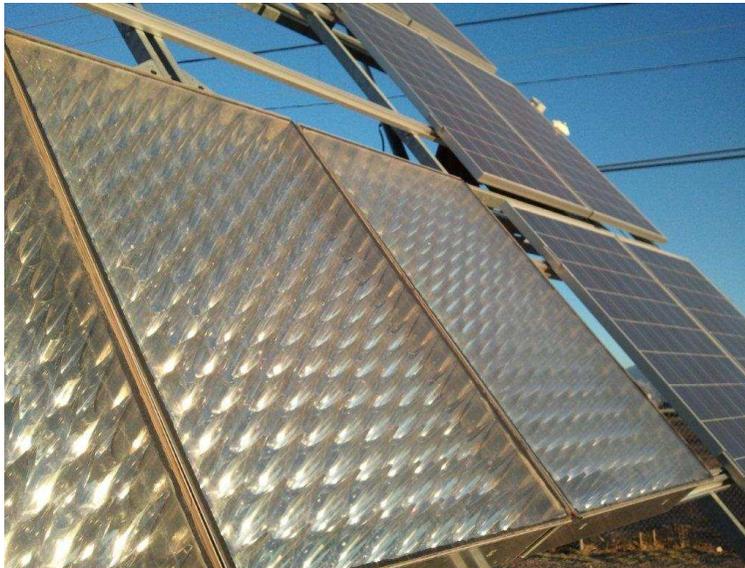
CONCENTRATORE SOLARE RONDINE



≈4kWp Rondine system, Ostellata (Italia)



≈4kWp Rondine system, Ostellata (Italia)

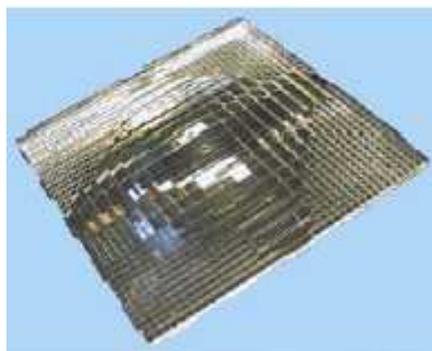


≈1.5kWp Rondine system, Tucson (US)



≈1.5kWp Rondine system, Tucson (US)

CONCENTRATORE PhoCUS (Fotovoltaico 3-D a media concentrazione)



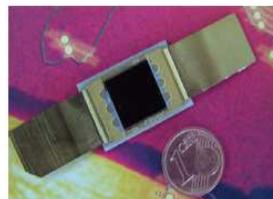
Lente

+



secondario

+



Cella solare

=



concentratore



Modulo a concentrazione
(ENEA – Portici)



Impianto CPV

ANCHE NOI POSSIAMO FARE QUALCOSA !



Lorenzo Bocca

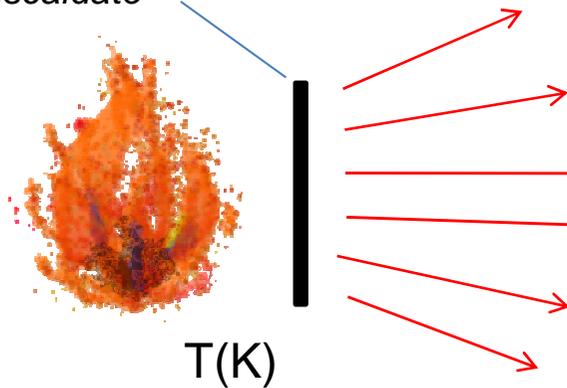


Gli alunni delle classi terza A e B dell'istituto Falcone e Borsellino di Offanengo, guidati dal Prof. Lorenzo Bocca realizzano una cucina solare per il Mozambico.

UN PO' DI TEORIA

FORMULE PER LA TEMPERATURA MASSIMA DI UN SISTEMA SOLARE TERMICO

Corpo nero
(emettitore ideale)
riscaldato



$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

Densità di potenza totale emessa dal corpo:
 $E (W/m^2) = 5.67 \times 10^{-8} \times T(K)^4$
Legge di Stefan-Boltzmann



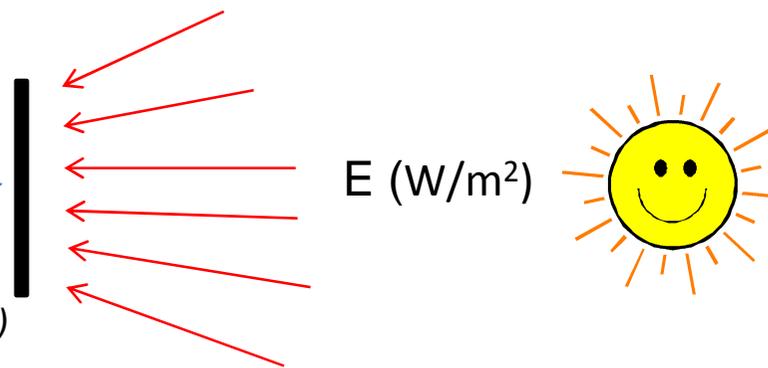
Jožef Stefan
(1835-1893)



Ludwig Boltzmann
(1844 -1906)

$$T(K) = (E / 5.67 \times 10^{-8})^{1/4}$$

Corpo nero
(assorbitore ideale)
irraggiato





Max Planck
(1858 – 1947)

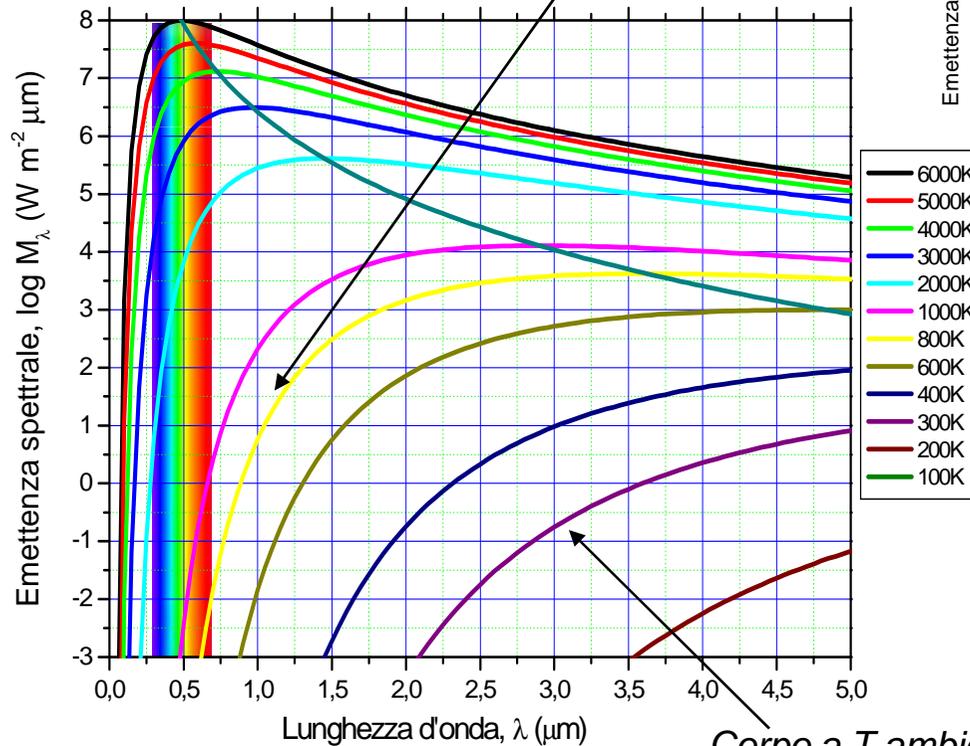
DISTRIBUZIONE SPETTRALE DELLA RADIAZIONE DI CORPO NERO

Legge di Planck

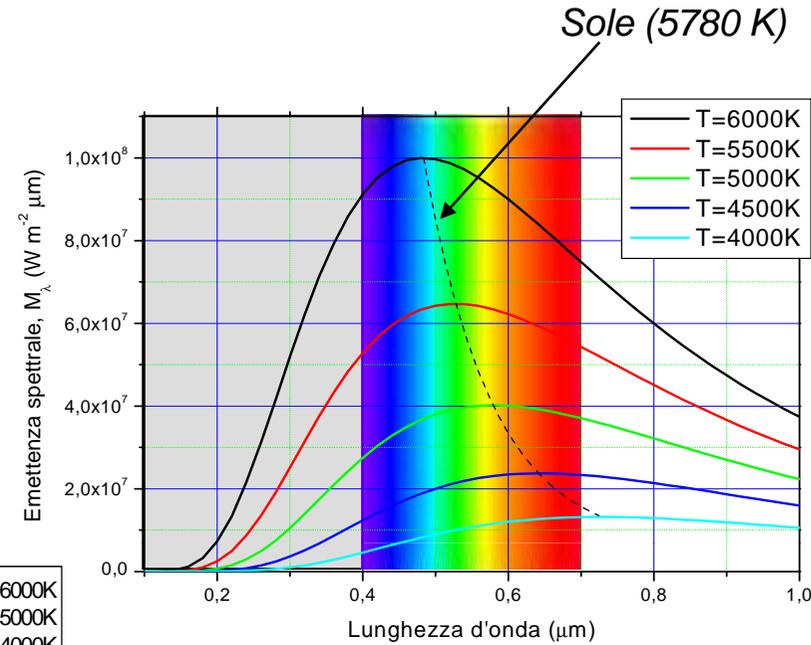
$$M_{\lambda}(T) = \frac{2 \pi h c^2}{n^2 \lambda^5 (e^{(hc/n\lambda kT)} - 1)}$$

Emetenza spettrale del corpo nero

Sopra $T \sim 800 \text{ K}$ il corpo comincia ad emettere luce rossa



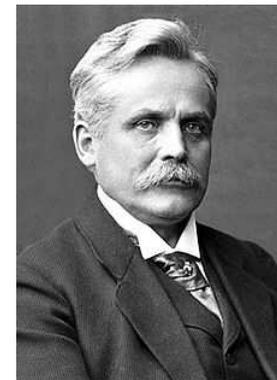
Corpo a T ambiente emette nell'infrarosso



Corpi ad alta temperatura

Legge di Wien

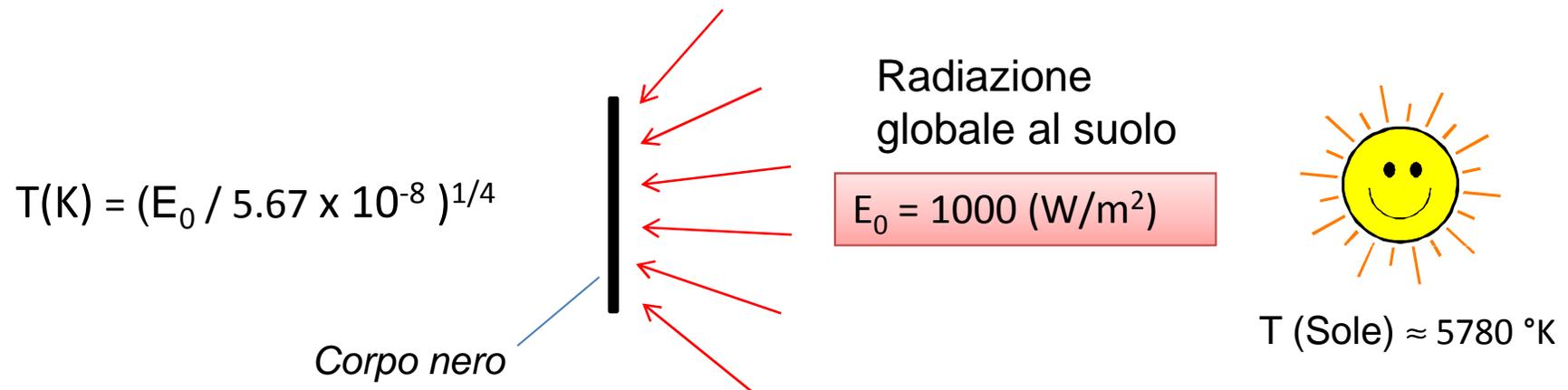
$$T \cdot \lambda_{\max} = 2898 \text{ K} \cdot \mu\text{m}$$



Wilhelm Wien
(1864 – 1928)

FORMULE PER LA TEMPERATURA MASSIMA DI UN SISTEMA SOLARE TERMICO

SISTEMA SOLARE SENZA CONCENTRAZIONE

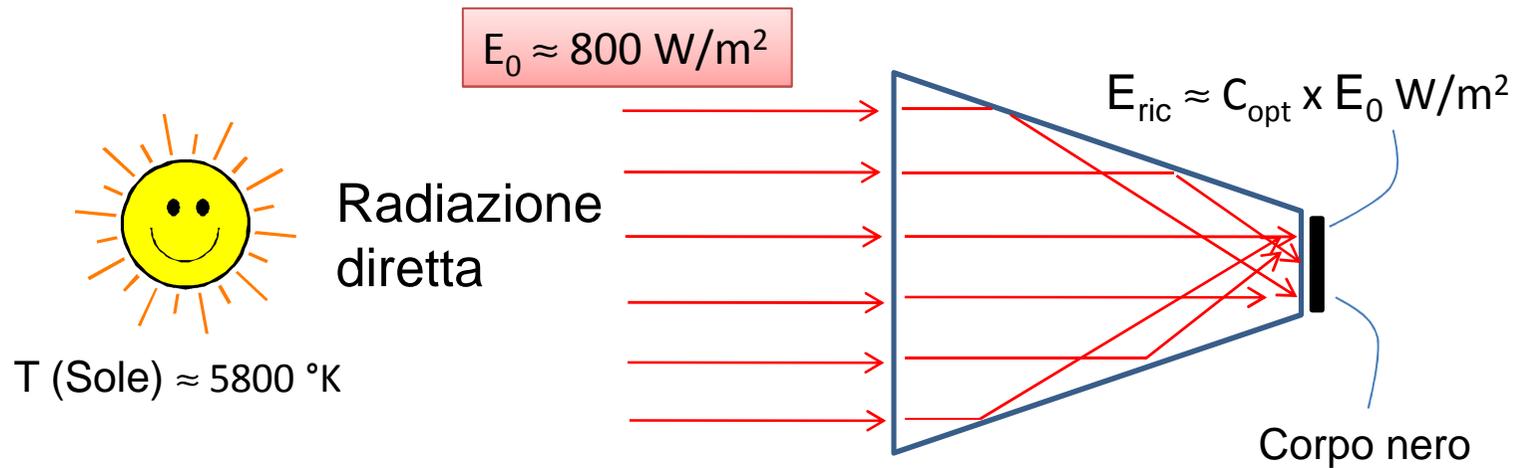


$$T(K) = (E_0 / 5.67 \times 10^{-8})^{1/4} = (1000 / 5.67 \times 10^{-8})^{1/4} = 364 \text{ K} \approx 90 \text{ °C}$$

TEMPERATURA DI EQUILIBRIO = $T \approx 364 \text{ K} \approx 90 \text{ °C}$

FORMULE PER LA TEMPERATURA MASSIMA DI UN SISTEMA SOLARE TERMICO

SISTEMA SOLARE A CONCENTRAZIONE



$$C_{\text{opt}} = E_{\text{ric}} / E_0 = \text{RAPPORTO DI CONCENTRAZIONE}$$



$$T(\text{K}) = (E_0 \cdot C_{\text{opt}} / 5.67 \times 10^{-8})^{1/4} = (800 \cdot C_{\text{opt}} / 5.67 \times 10^{-8})^{1/4} = (C_{\text{opt}})^{1/4} \cdot 344 \text{ K}$$

$$\text{TEMPERATURA DI EQUILIBRIO} = (C_{\text{opt}})^{1/4} \cdot 344 \text{ }^\circ\text{K} = \dots \text{ }^\circ\text{C}$$

LA CELLA SOLARE



1839: Becquerel osserva per la prima volta l'effetto fotoelettrico.

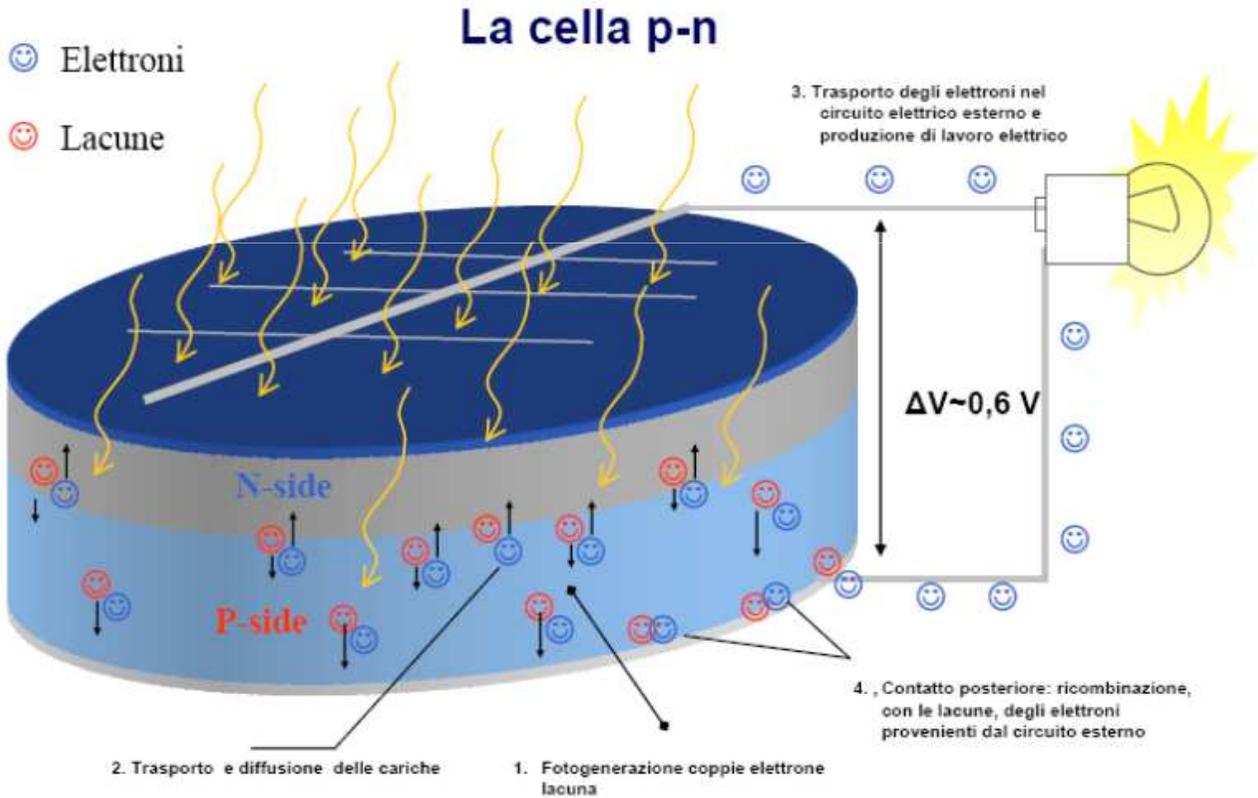


1904: Einstein pubblica il suo lavoro sull'effetto fotoelettrico



A.E. Becquerel
(1820-1891)

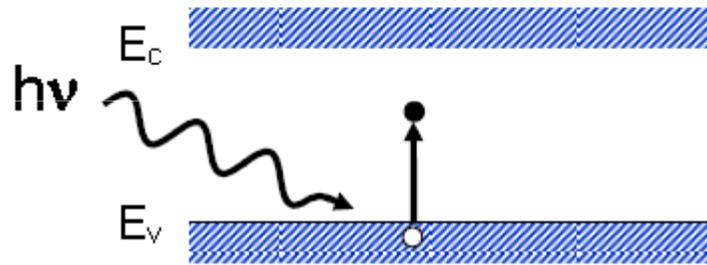
Einstein
(1879-1955)



Fotogenerazione e raccolta delle cariche

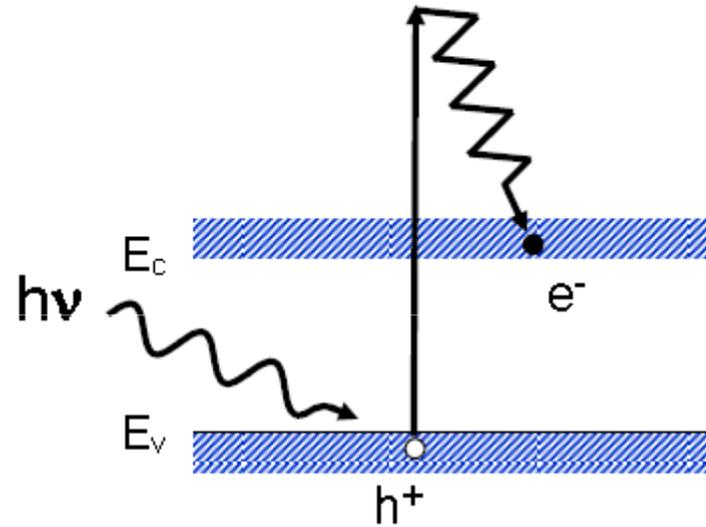
LA CELLA SOLARE

Fotoni con energia insufficiente



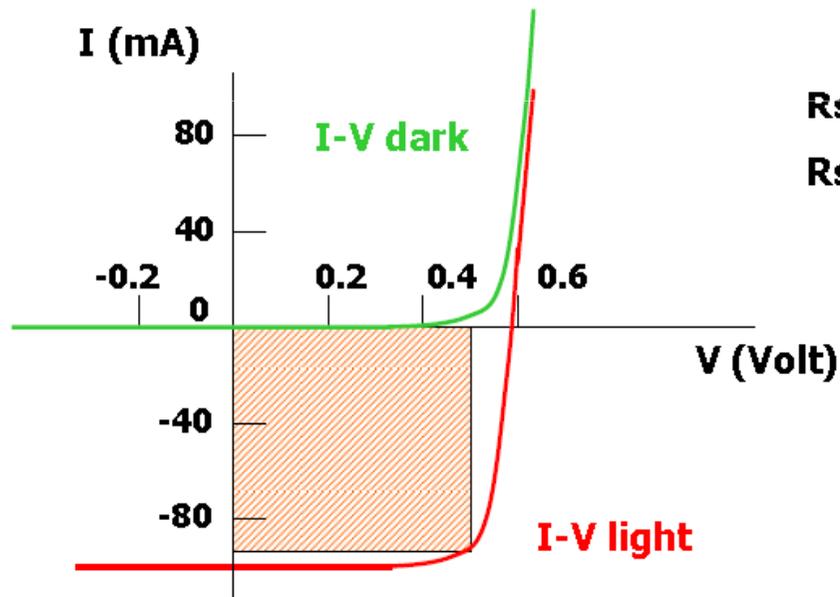
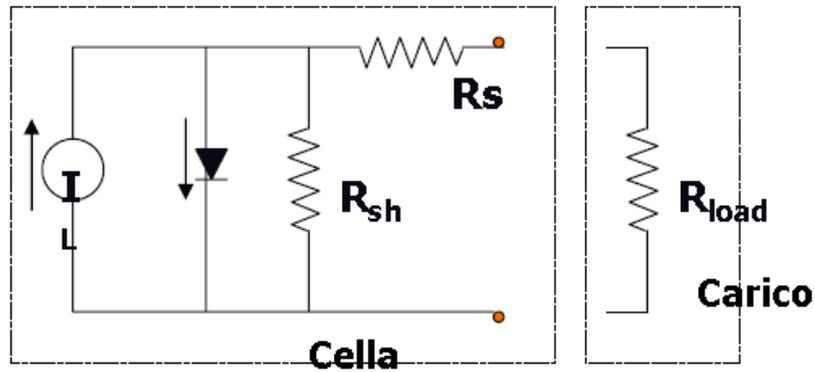
Nessuna carica fotogenerata

Fotoni con eccesso di energia

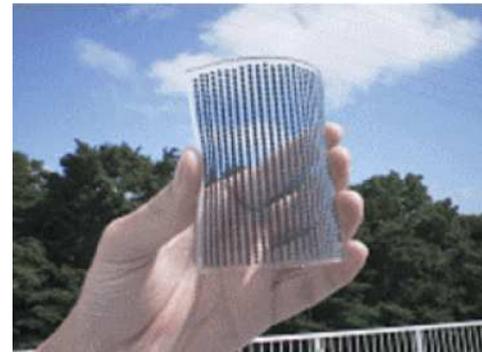


Termalizzazione delle cariche

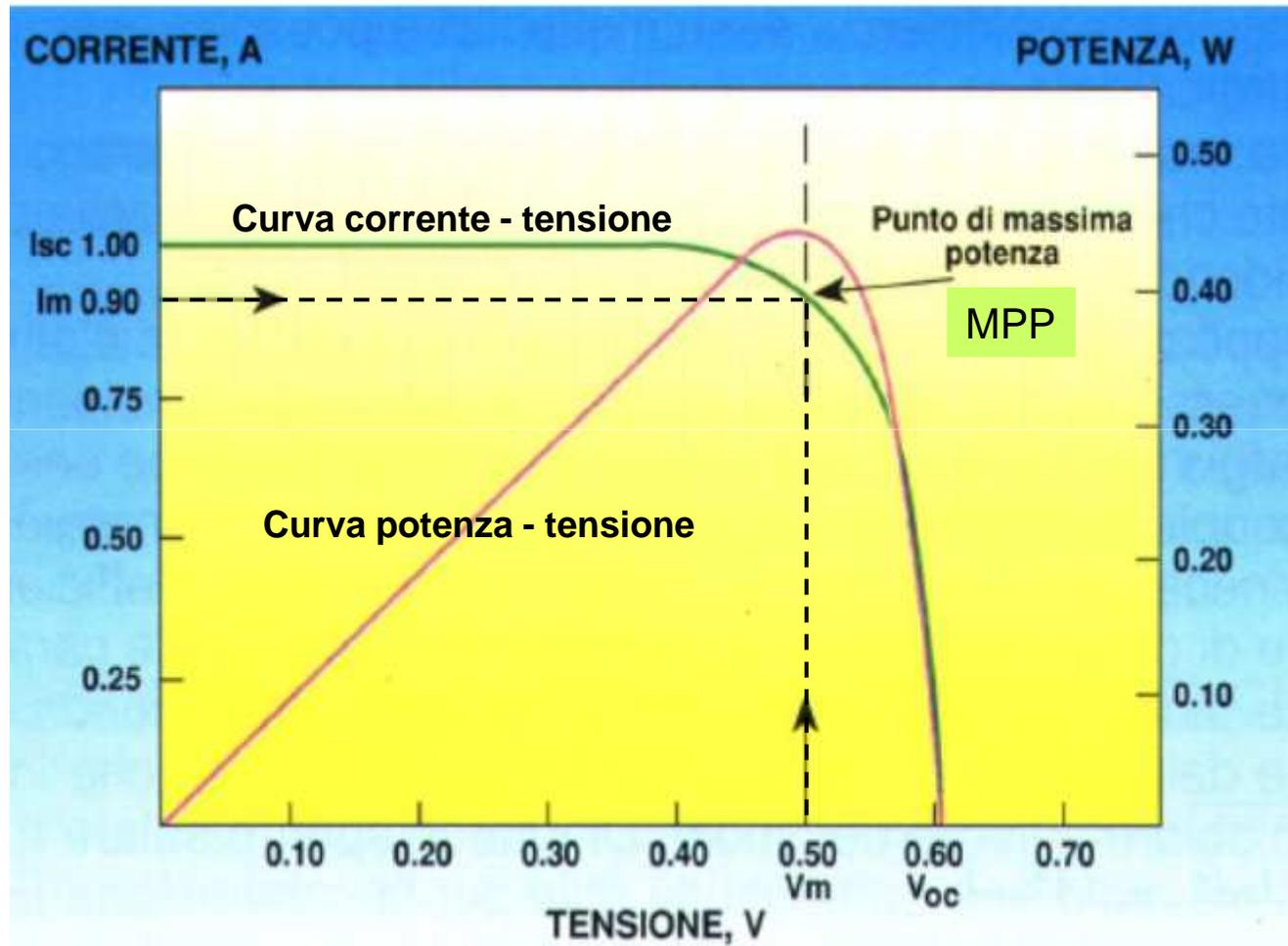
IL CIRCUITO EQUIVALENTE



R_s = Resistenza serie
 R_{sh} = Resistenza di shunt

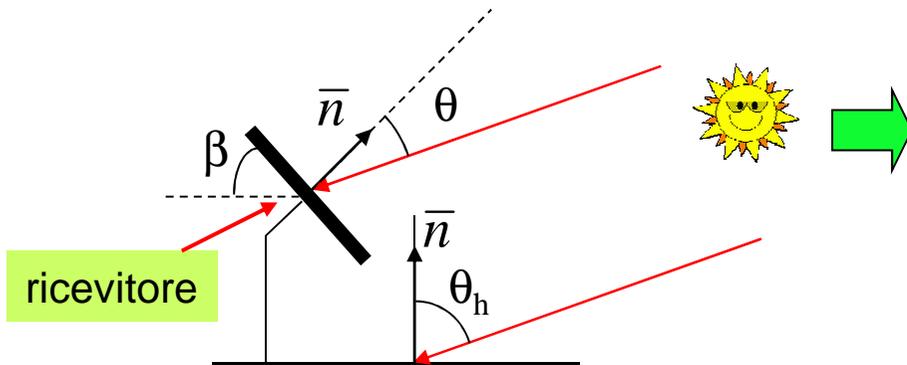


LA CURVA CORRENTE - TENSIONE



DUE PROBLEMATICHE

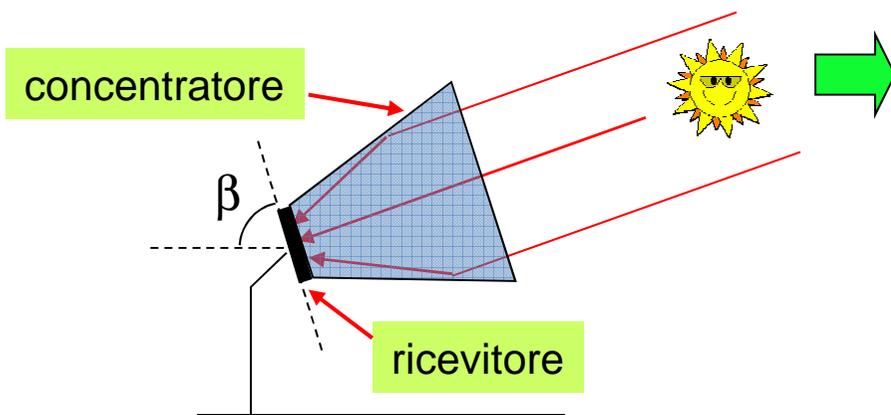
Sistema solare piano



1) Problema per il ricevitore:

Assorbire al meglio la radiazione solare, ovvero **l'assorbanza** del ricevitore deve essere prossima a 1.

Sistema solare a concentrazione



1) Problema per il ricevitore:

Assorbire al meglio la radiazione solare, ovvero **l'assorbanza** del ricevitore deve essere prossima a 1.

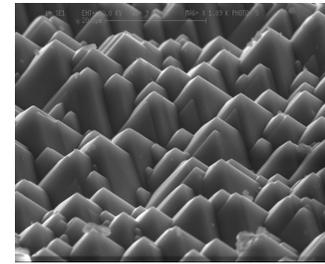
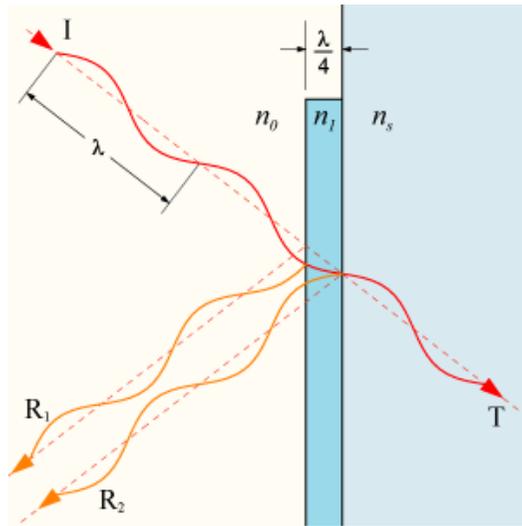
2) Problema per il concentratore:

Trasmettere al meglio la radiazione solare dall'apertura d'ingresso all'apertura di uscita, ovvero **l'efficienza ottica** del concentratore deve essere prossima a 1.

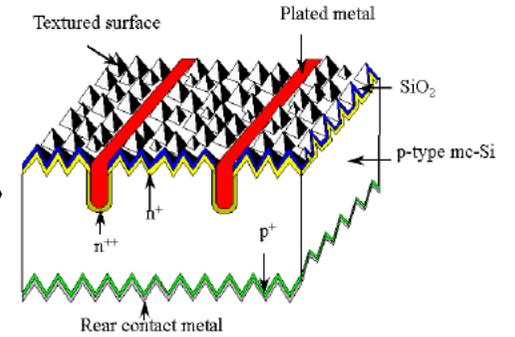
Efficienza del sistema=
assorbanza del ricevitore x
efficienza ottica del concentratore

PER MIGLIORARE L'ASSORBIMENTO DEL RICEVITORE (Celle Solari al Silicio)

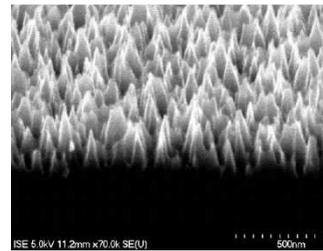
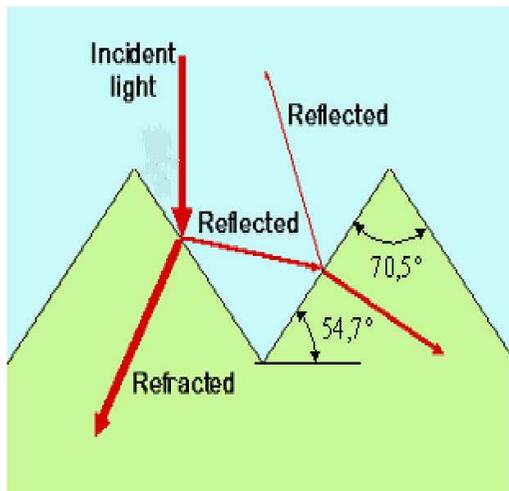
Film antiriflesso



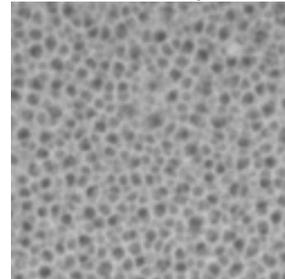
Piramidi diritte



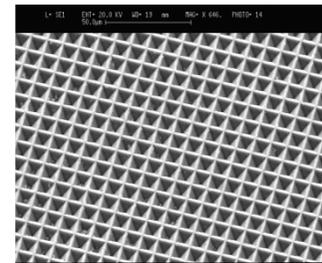
Testurizzazione



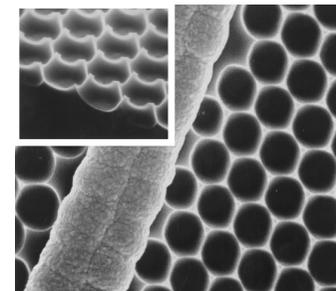
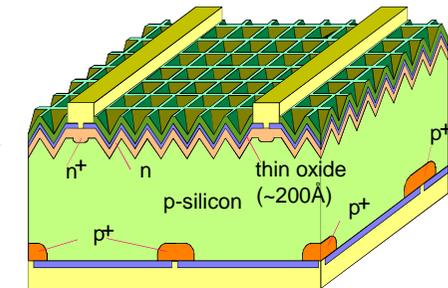
Tattamento in plasma



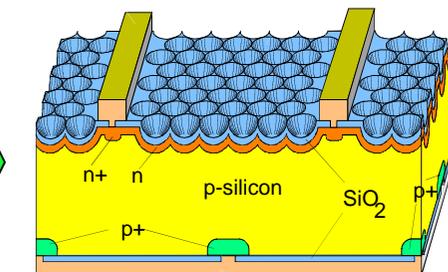
Silicio poroso



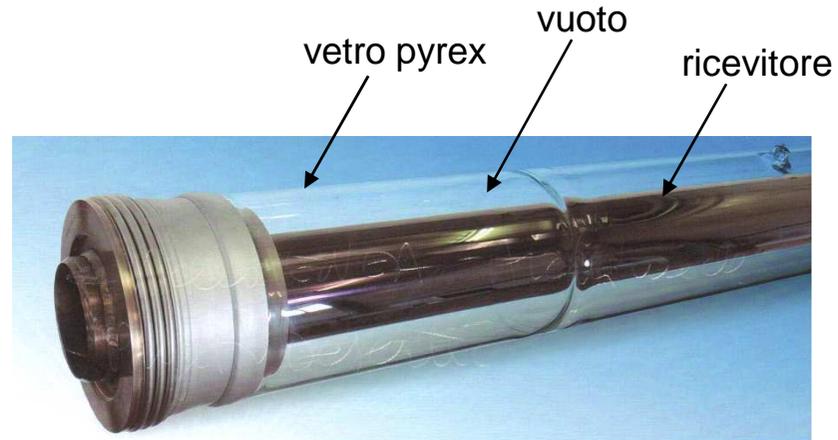
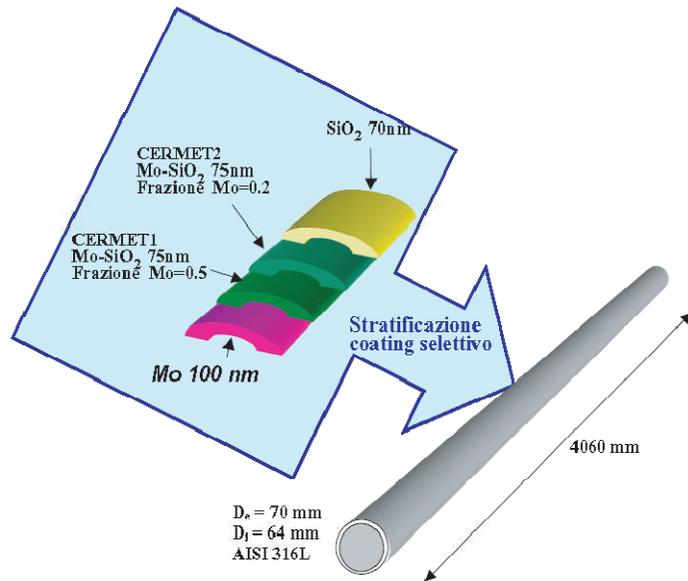
Piramidi inverse



Buche emisferiche

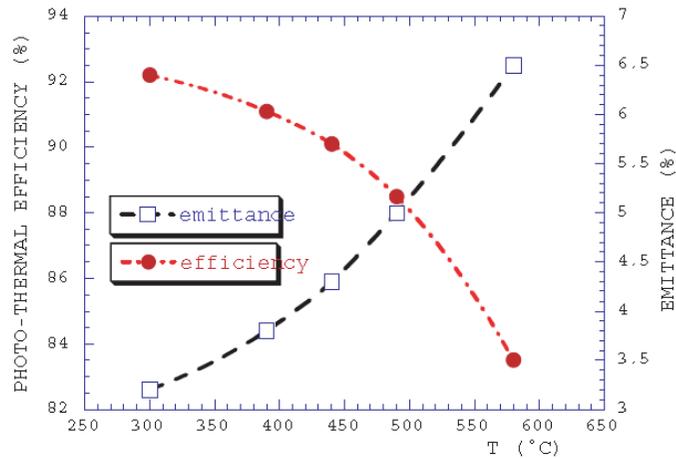


PER MIGLIORARE L'ASSORBIMENTO DEL RICEVITORE (solare termodinamico)

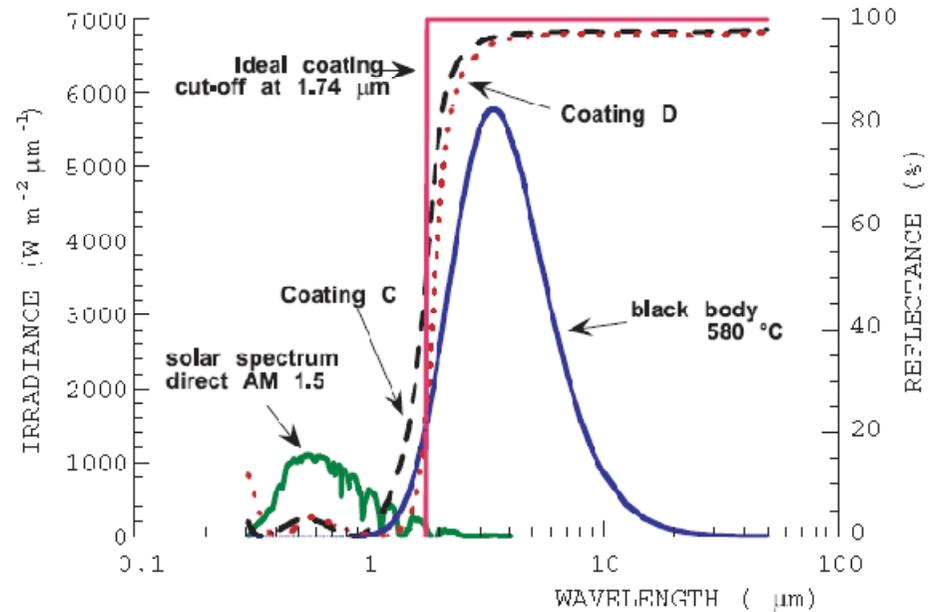


Il tubo ricevitore (T=300-580°C)

Struttura del rivestimento selettivo



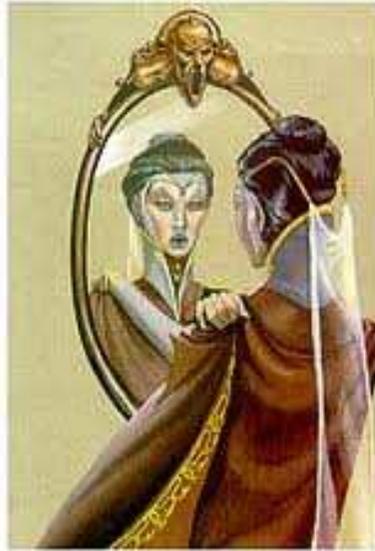
Efficienza di conversione foto-termica > 80%



Spettri di riflettanza di rivestimenti selettivi

COME CONCENTRIAMO LA LUCE (di solito ...)?

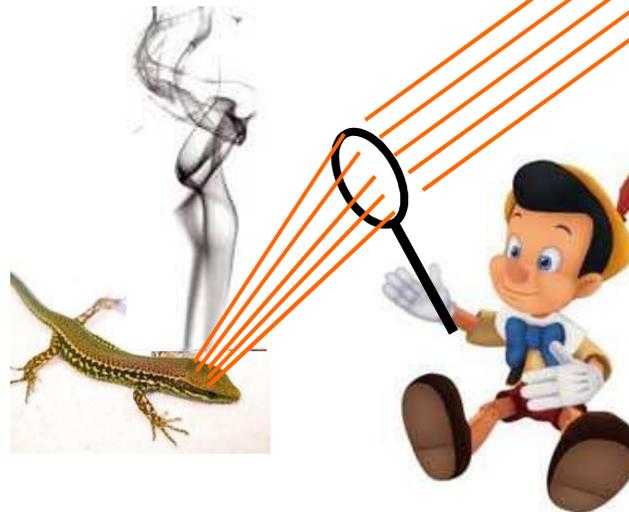
Attraverso specchi ...



Specchio delle mie brame ...

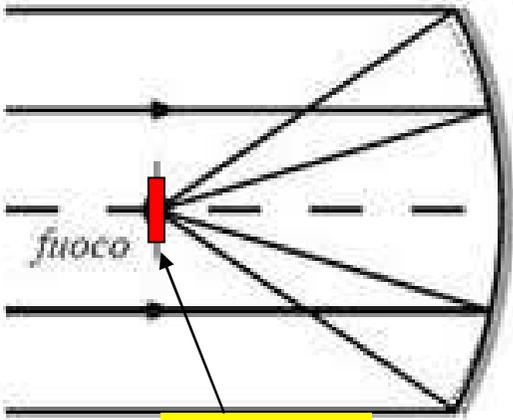
oppure

Attraverso lenti ...



CONCENTRATORI A SPECCHIO (RIFLETTIVI)

Concentratore parabolico



“imaging”
(con immagine)

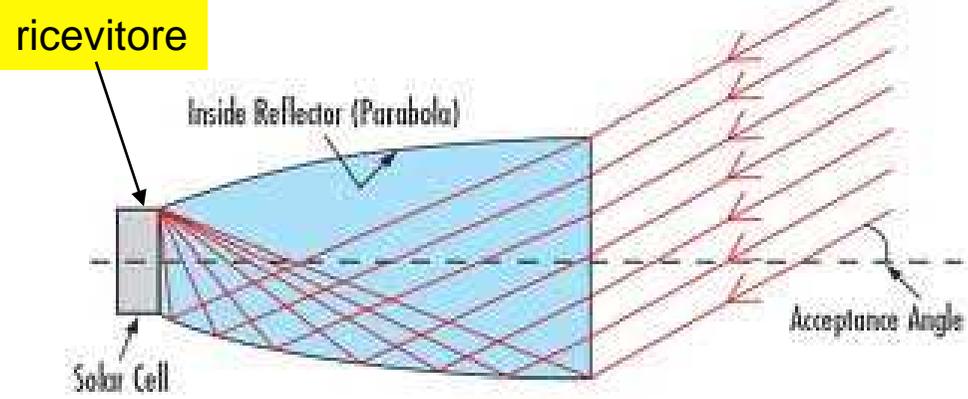


ricevitore

Qui si forma l'immagine della sorgente!

Concentratore parabolico composto (CPC)

Qui non si forma l'immagine della sorgente!



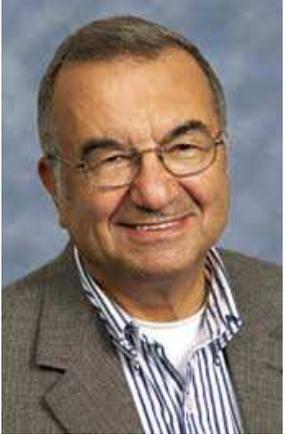
ricevitore

Inside Reflector (Parabola)

Acceptance Angle

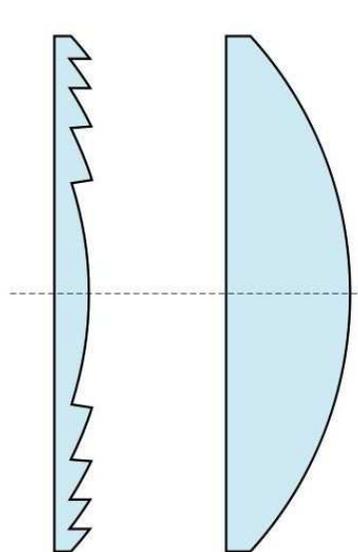
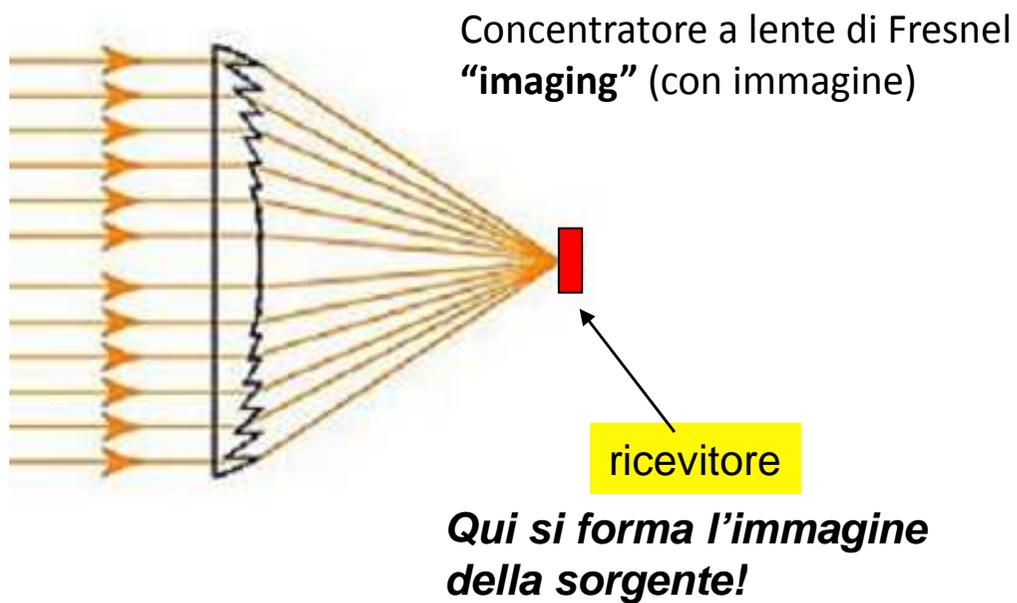
Solar Cell

“nonimaging” (senza immagine)

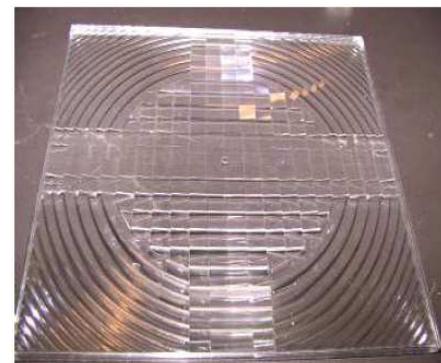
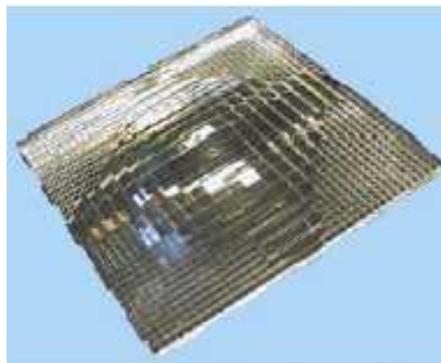


Roland Winston

CONCENTRATORI ALENTE (RIFRATTIVI)

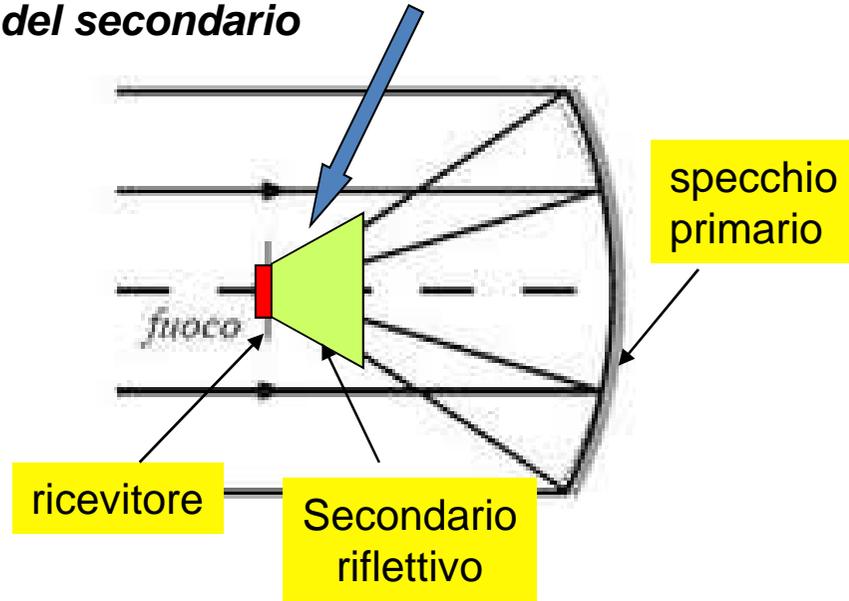


Augustin Jean Fresnel
(1788 – 1827)



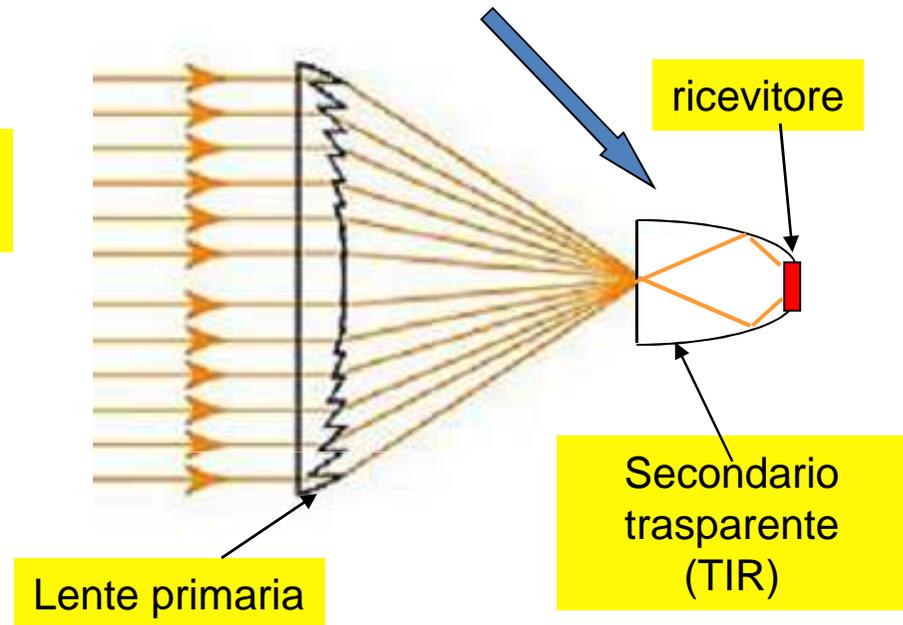
CONCENTRATORI CON SECONDARIO

La luce è riflessa sulla parete interna del secondario



SOE

La luce è riflessa all'interno del vetro

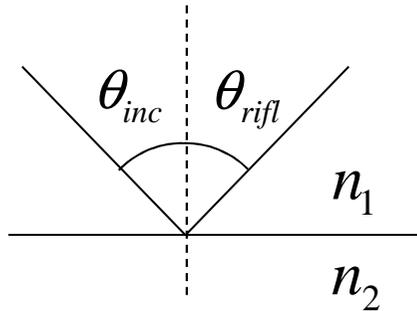


CPC dielettrici

COSA C'E' DA SAPERE ?

Nella **riflessione** l'angolo d'incidenza è uguale all'angolo di riflessione:

$$\theta_{inc} = \theta_{rifl}$$



$$n = \frac{c}{v}$$

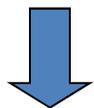


Snell (Willebrord Snel van Royen)
(1580 – 1626)

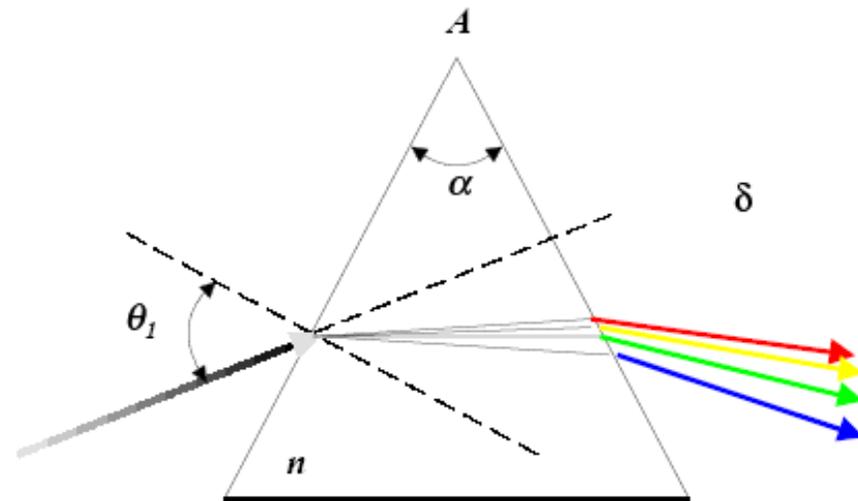
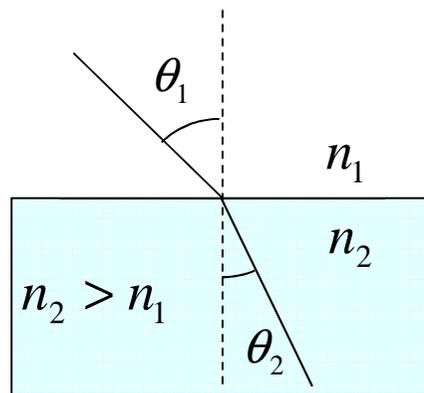
Nella **rifrazione** l'angolo d'incidenza è legato all'angolo di rifrazione dalla **legge di Snell**:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

In aria



$$n_1 = 1$$



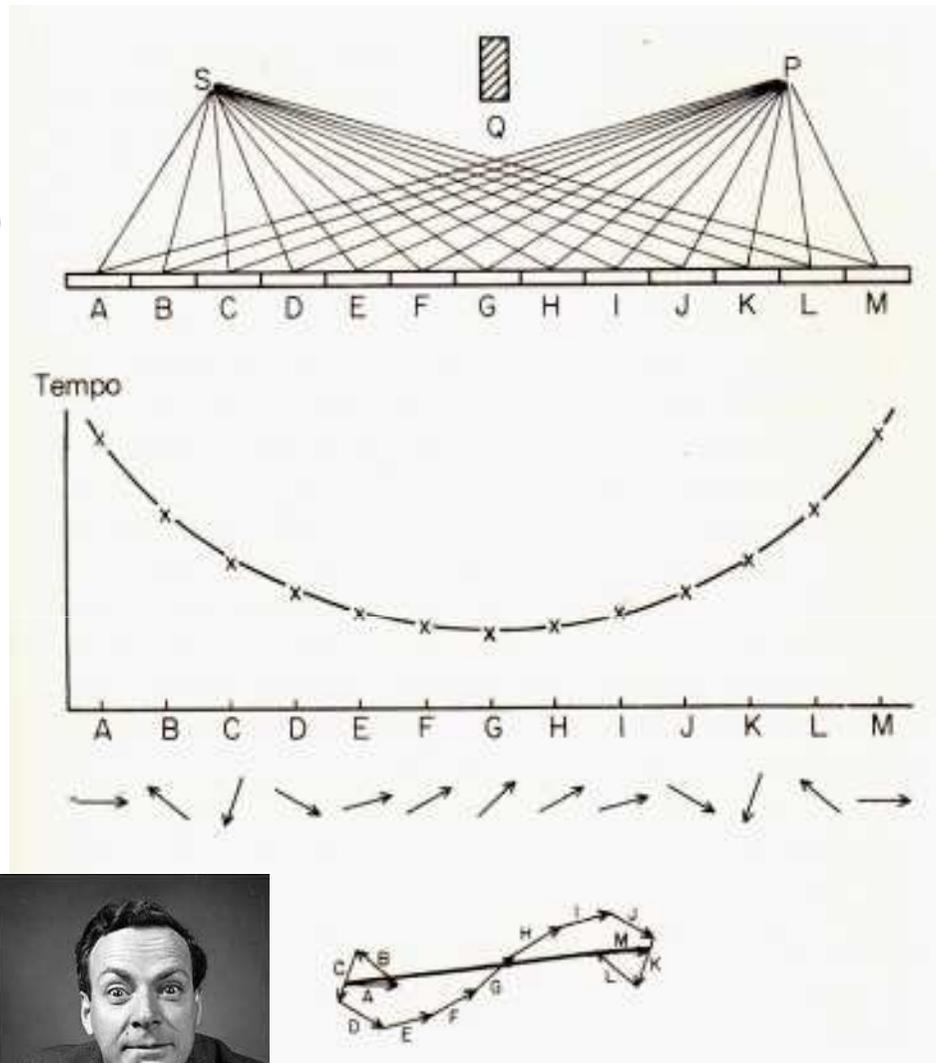
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_2$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin[\theta_2(\lambda)]} = n_2(\lambda)$$

La rifrangibilità di un raggio di luce è funzione della lunghezza d'onda. Ciò è messo bene in evidenza in un prisma.

A PROPOSITO DELLA RIFLESSIONE ...

a)



Richard P. Feynman
(1918 – 1988)

La legge più semplice dell'ottica, ovvero che l'angolo di riflessione sia uguale all'angolo d'incidenza, non è poi un risultato tanto banale.

Feynman, nella sua QED (Quantum Electrodynamics) dimostra che è diversa da zero l'ampiezza di probabilità che un fotone percorra la traiettoria strana SAP o SBP (vedi fig. a), cioè che non sia rispettata la legge della riflessione. Il fatto è che le ampiezze di probabilità interferiscono tra loro come le onde, e si dà il caso che la maggior parte dei percorsi più spostati a sinistra oppure a destra del punto intermedio G interferiscano per dare come risultante un'ampiezza quasi nulla. Di fatto, i percorsi del fotone in cui le ampiezze di probabilità si combinano per dare un risultato diverso da zero sono solo quelli che passano in prossimità del punto centrale G, ovvero: SEP, SFP, SGP, SHP, SIP.

Per chi vuole approfondire si consiglia la lettura del libro:

R.P. Feynman, "QED, La strana teoria della luce e della materia", Adelphi.

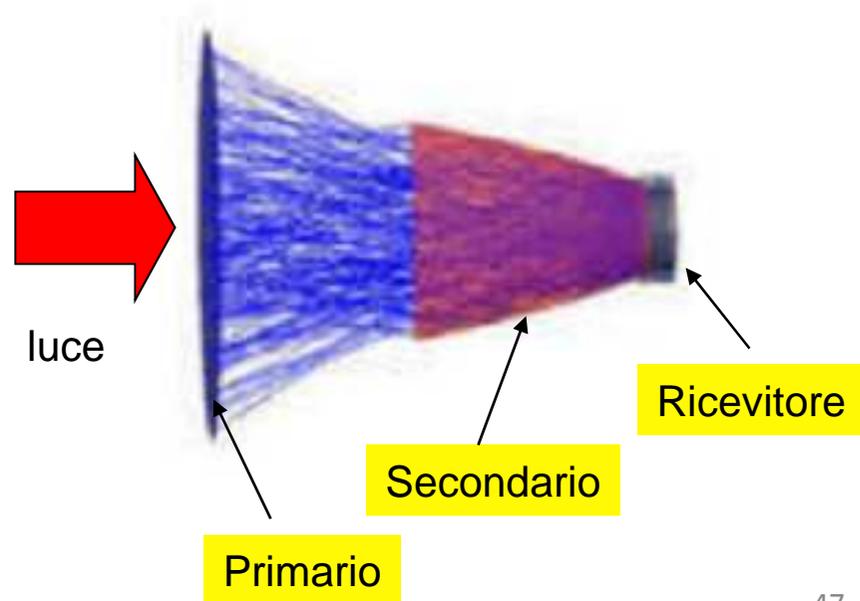
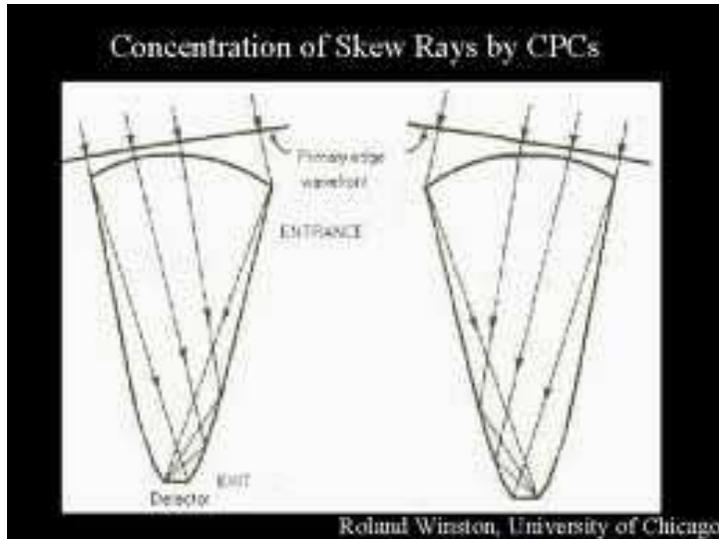
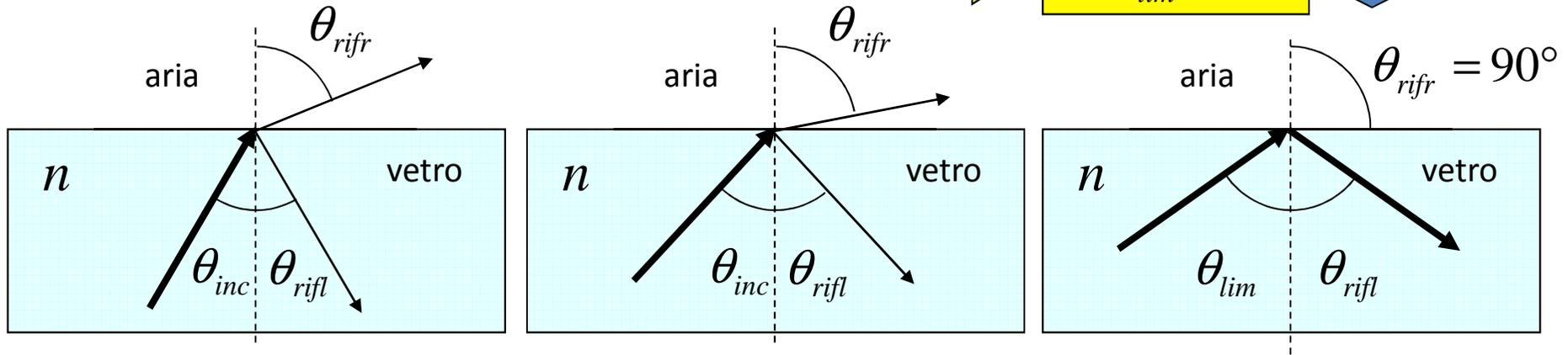
COSA C'E' DA SAPERE ?

Riflessione interna totale (TIR):

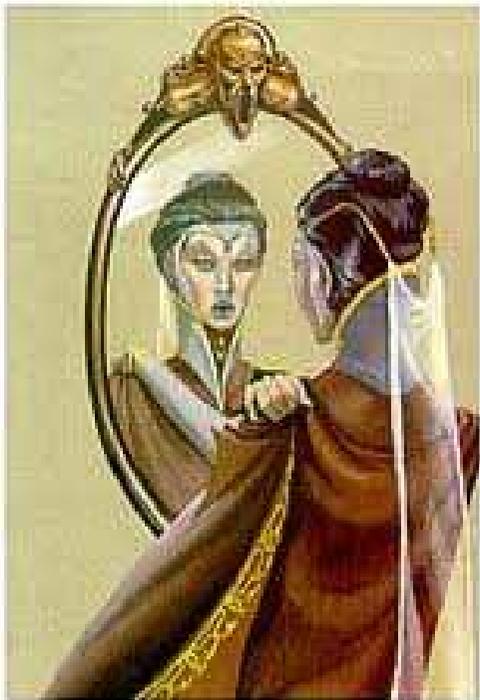
E' sfruttata generalmente nell'ottica secondaria

TIR

Il raggio rifratto scompare e appare solo quello riflesso



SPECCHI NATURALI E NON ...



Specchio delle mie brame ...



Superficie d'acqua



Superficie di vetro



Specchio realizzato con amalgama di stagno

FORMULE PER LA RIFLESSIONE

Le equazioni di Fresnel ci danno le intensità delle varie componenti riflesse e rifratte della luce.
In particolare, per la riflessione abbiamo:



Augustin Jean Fresnel
(1788 – 1827)

Nei dielettrici:

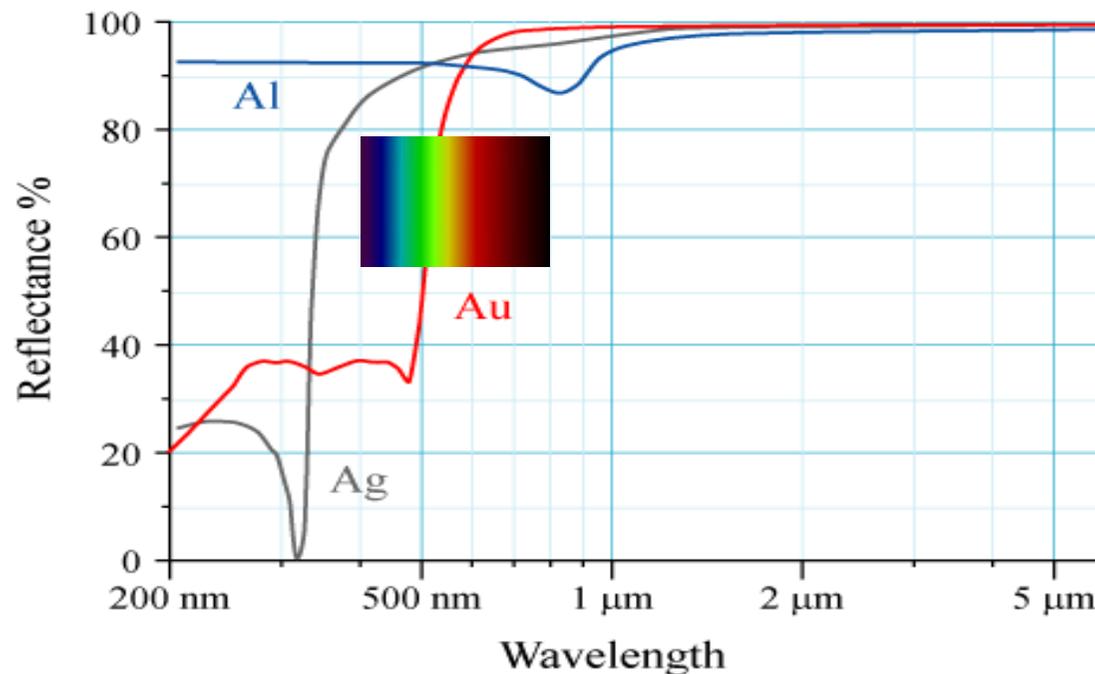
$$n = c / v$$

$$R = \left[\frac{n - 1}{n + 1} \right]^2$$

Acqua ($n=1.33$) $\rightarrow R \approx 1.5\%$

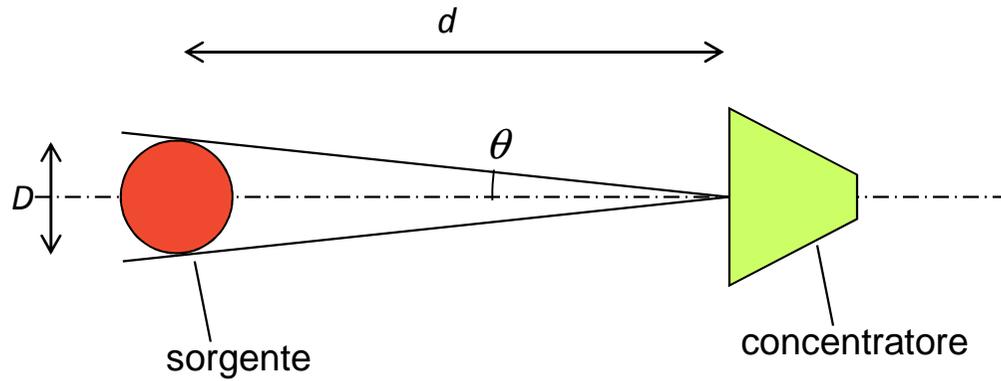
Vetro ($n \approx 1.5$) $\rightarrow R \approx 4\%$ (1 faccia)
 $\rightarrow R \approx 8\%$ (2 facce)

Nei metalli: le cose sono un po' più complicate. Riportiamo solo alcune curve di R:



PRINCIPI DELLA
CONCENTRAZIONE
SOLARE

FORMULE PER IL RAPPORTO DI CONCENTRAZIONE



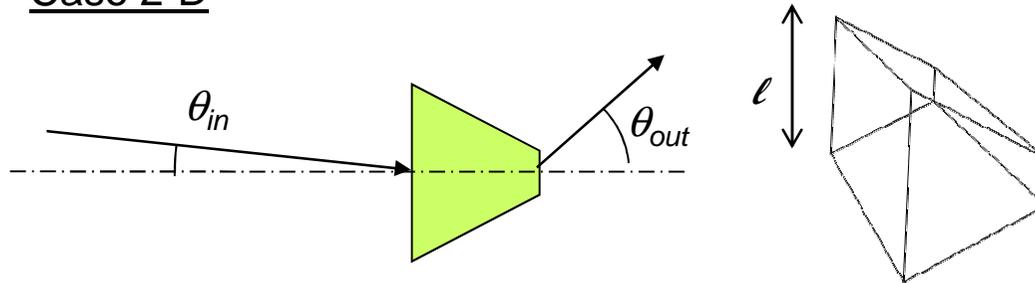
Divergenza angolare della luce:

$$\tan \theta = \frac{D}{2d}$$

Sole:

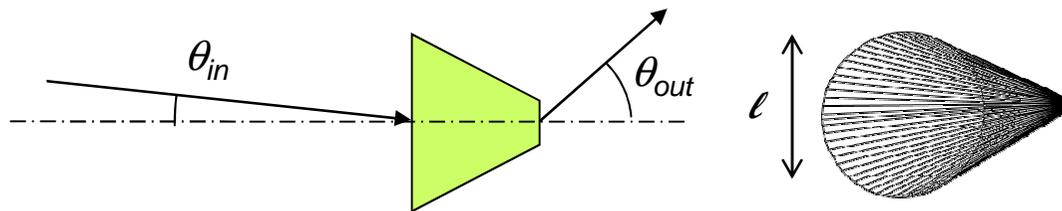
$$\theta = 0.27^\circ = 0.005 \text{ rd}$$

Caso 2-D



$$l \cdot \sin \theta = \text{const}$$

Caso 3-D



$$A \cdot \sin^2 \theta = \text{const}$$

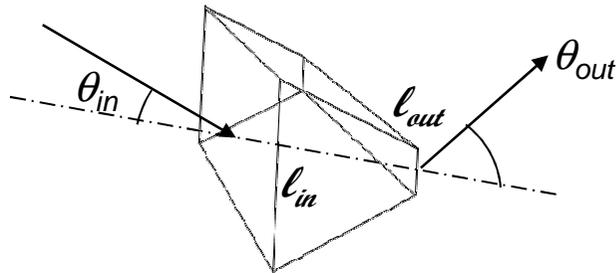
$$l^2 \approx A$$

Concentratori in aria !

FORMULE PER IL RAPPORTO DI CONCENTRAZIONE

Caso 2-D

$$l \cdot \sin \theta = \text{const}$$



$$l_{in} \cdot \sin \theta_{in} = l_{out} \cdot \sin \theta_{out}$$

$$\frac{l_{in}}{l_{out}} = C^{2D} = \frac{\sin \theta_{out}}{\sin \theta_{in}}$$

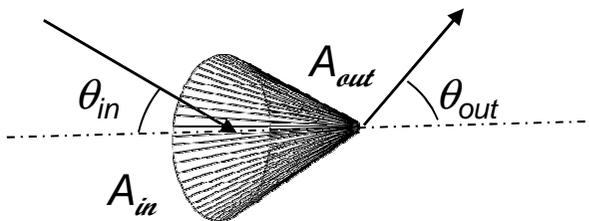
Sole:

$$C_{\max}^{2D} = \frac{l_{in}}{l_{out}} = \frac{1}{\sin \theta_{in}}$$

$$C_{\max}^{2D} \approx 200$$

Caso 3-D

$$A \cdot \sin^2 \theta = \text{const}$$



$$A_{in} \cdot \sin^2 \theta_{in} = A_{out} \cdot \sin^2 \theta_{out}$$

$$\frac{A_{in}}{A_{out}} = C^{3D} = \frac{\sin^2 \theta_{out}}{\sin^2 \theta_{in}}$$

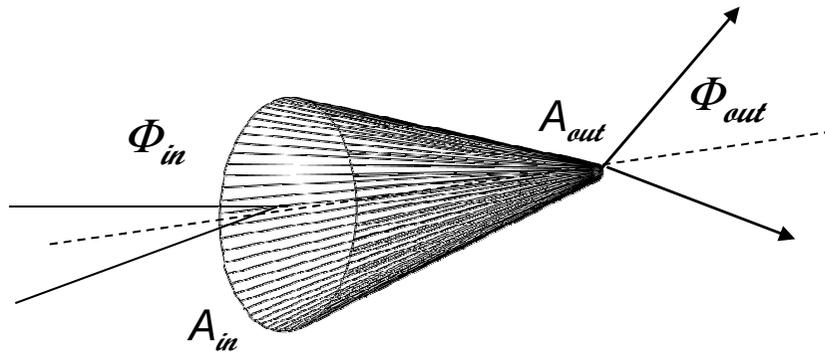
Sole:

$$C_{\max}^{3D} = \frac{A_{in}}{A_{out}} = \frac{1}{\sin^2 \theta_{in}}$$

$$C_{\max}^{3D} \approx 40\,000$$

Concentratori in aria !

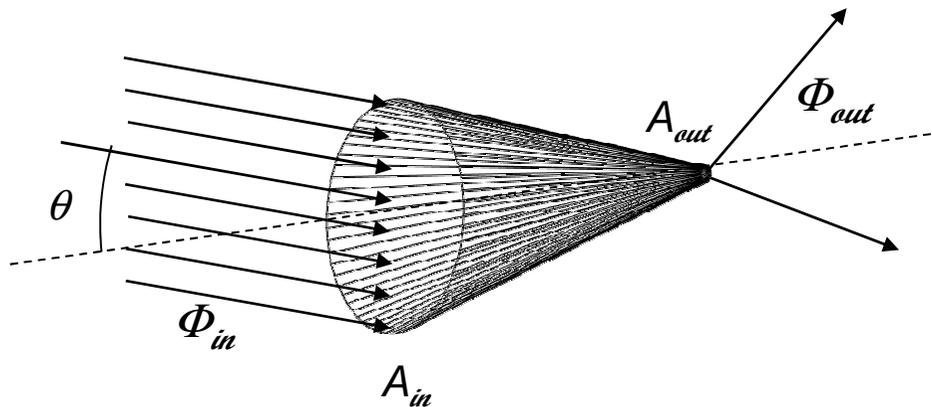
EFFICIENZA OTTICA



$$\eta_{opt} = \frac{\Phi_{out}}{\Phi_{in}} \leq 1$$

L'efficienza ottica dipende dall'angolo d'incidenza del fascio !

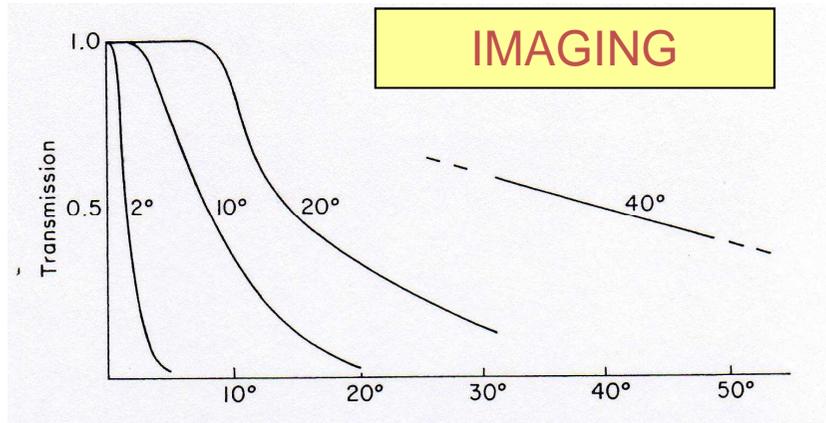
$$\eta_{opt} = \eta_{opt}(\theta)$$



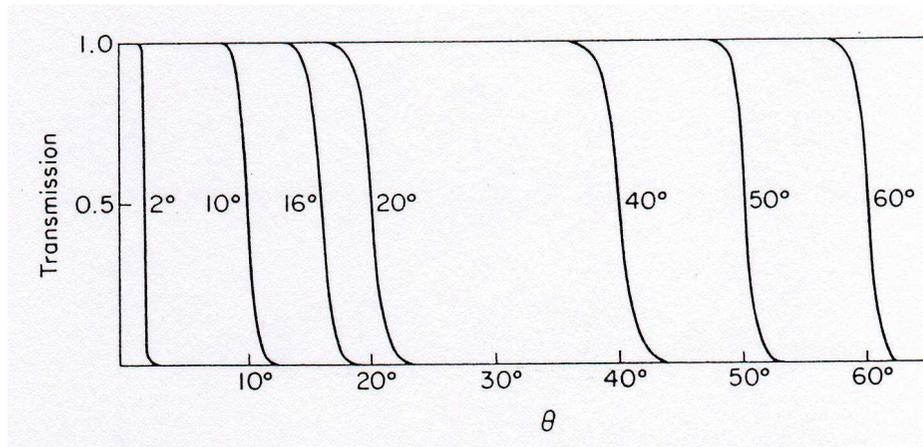
$$\eta_{opt} = \frac{\Phi_{out}(\theta)}{\Phi_{in}} = \eta_{opt}(\theta)$$

EFFICIENZA OTTICA

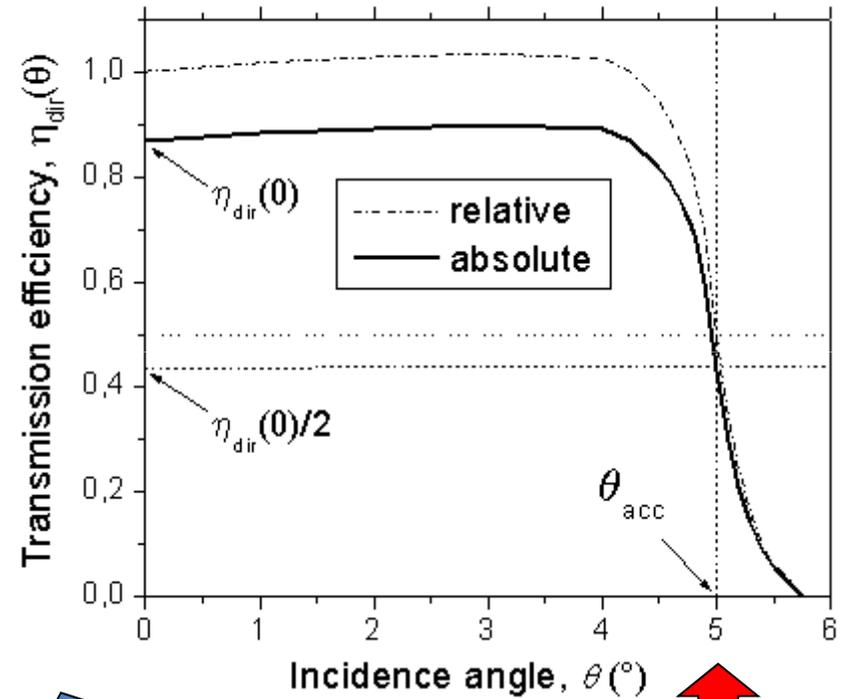
Come si presenta la curva di efficienza ottica ?



NONIMAGING



Curva tipica di un CPC 3-D



Angolo di accettazione !

L'OTTICA "SENZA IMMAGINE" (NIO)

E

I CONCENTRATORI CPC

"Inventore" dell'ottica
"senza immagine" !

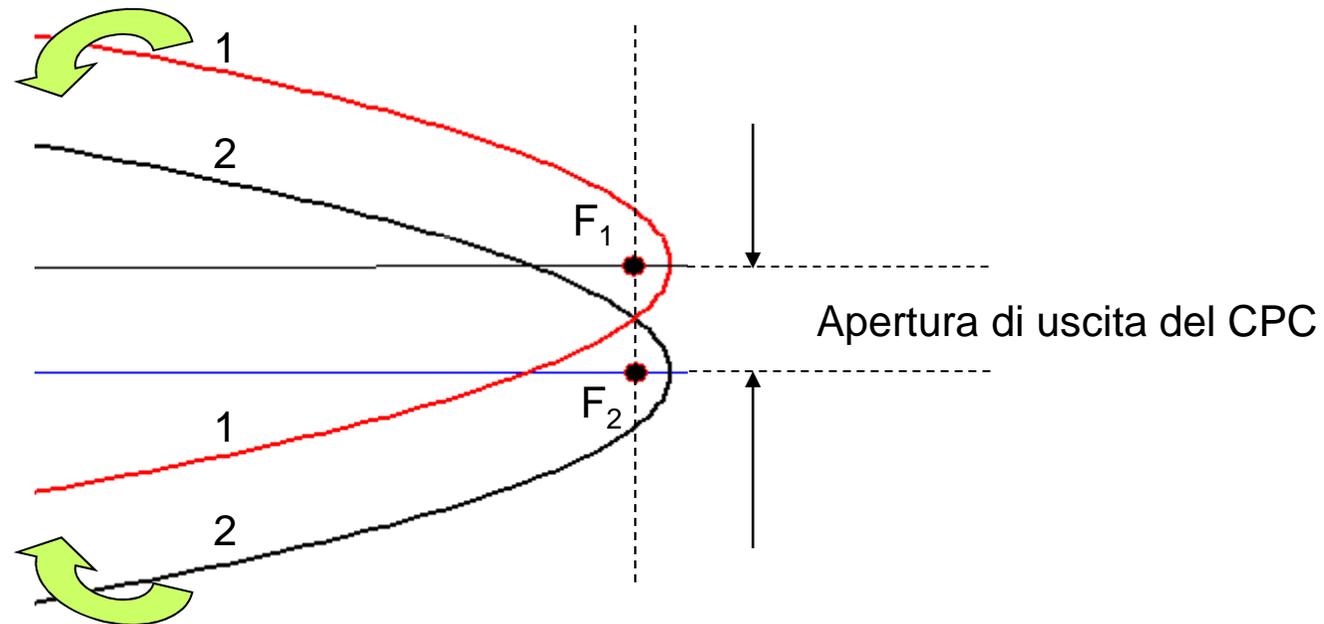


Roland Winston
UC-Merced, California

L'OTTICA SENZA IMMAGINE (NIO)

Come si costruisce un CPC ?

Rotazione CCW dell'angolo di accettazione, con fulcro in F_1

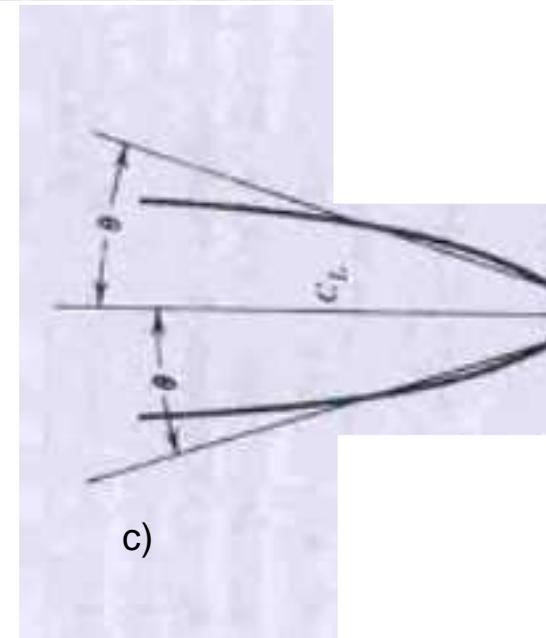
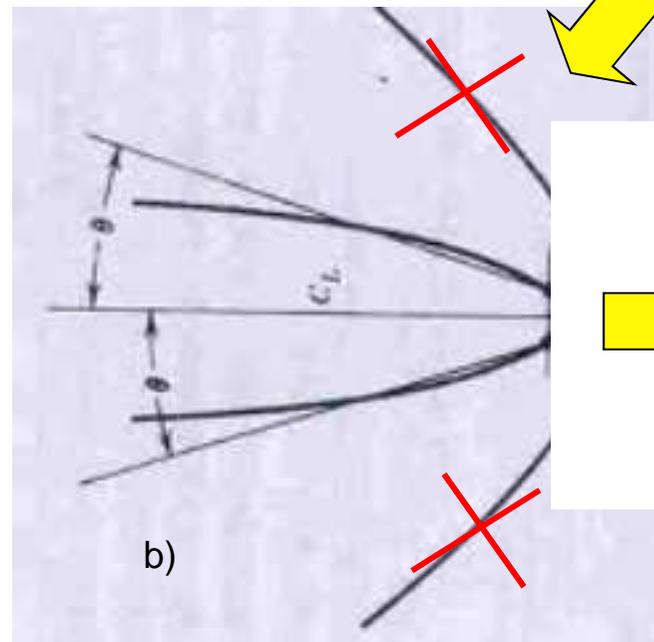
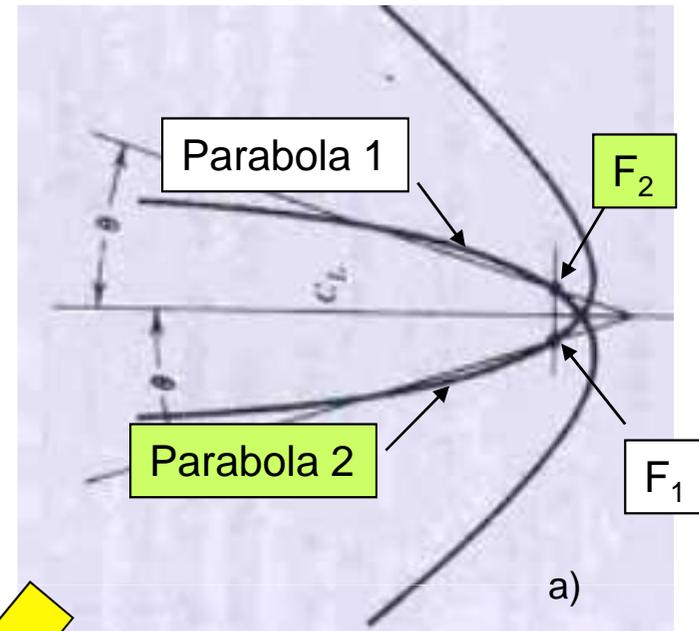


Rotazione CW dell'angolo di accettazione, con fulcro in F_2

L'OTTICA SENZA IMMAGINE (NIO)

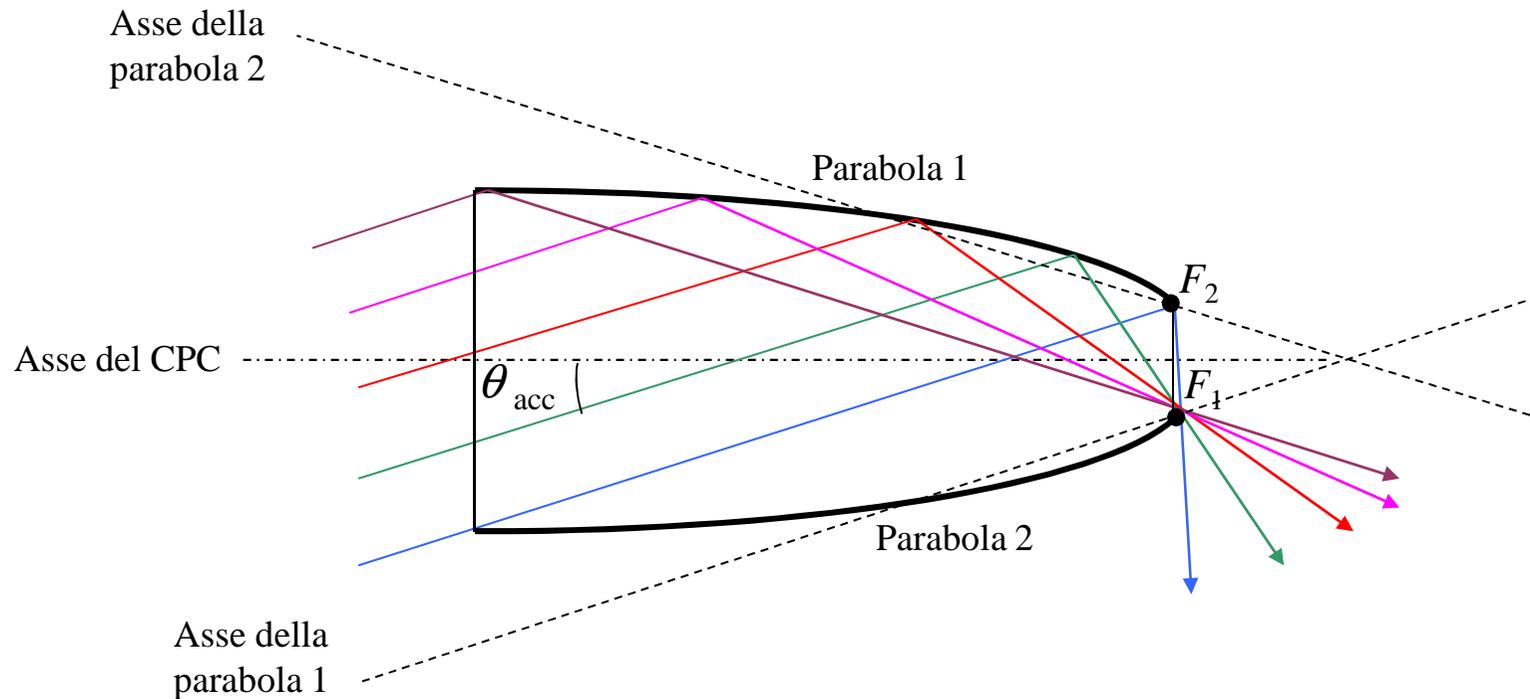
Come si costruisce un CPC ?

- i) Si prendano due parabole affiancate con gli assi paralleli.
- ii) La distanza tra i fuochi si ponga uguale al diametro di uscita.
- iii) Si faccia fulcro sui due fuochi e si ruotino le parabole, una CW e una CCW, dell'angolo di accettazione desiderato. Situazione:
- iv) Si cancellino le curve al di là dei fuochi
Il 2D-CPC è fatto !
- v) Se si ruotano i due rami di parabola attorno all'asse ottico, il 3D-CPC è fatto!



Per sapere qual è la lunghezza del CPC ideale ($\theta_{out}=90^\circ$), andate a trovare il punto sulla parabola in c) in cui la tangente è parallela all'asse ottico del CPC. Quello è il punto sul bordo dell'apertura d'ingresso che delimita il concentratore.

COME LAVORA UN CPC ?

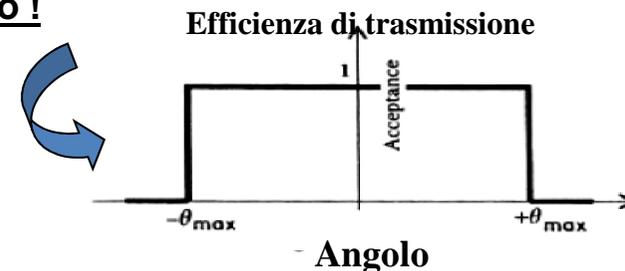


Un fascio incidente parallelo all'asse della parabola 1 convergerà nel fuoco F_1 , sul bordo dell'apertura di uscita.

L'angolo di questo fascio è l'angolo di accettazione del CPC (θ_{acc}). Infatti, se aumentiamo quest'angolo, i raggi incontreranno la parete del CPC e verranno rimandati indietro.

Se invece diminuiamo quest'angolo, tutti i raggi passeranno !

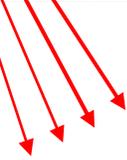
Quindi, il CPC è in grado di trasmettere tutti i raggi al di sotto di θ_{acc} , mentre respinge indietro tutti i raggi al di sopra di θ_{acc} . **La sua risposta è a gradino !**



COME SI CARATTERIZZA

UN CONCENTRATORE

Sorgente lambertiana



METODO DIRETTO

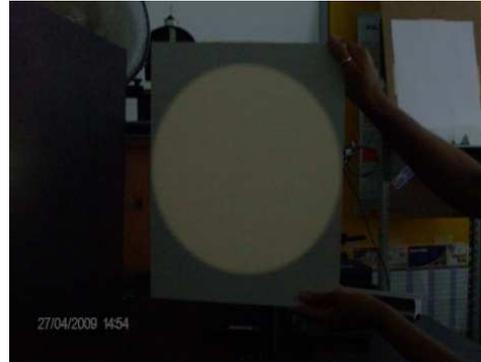
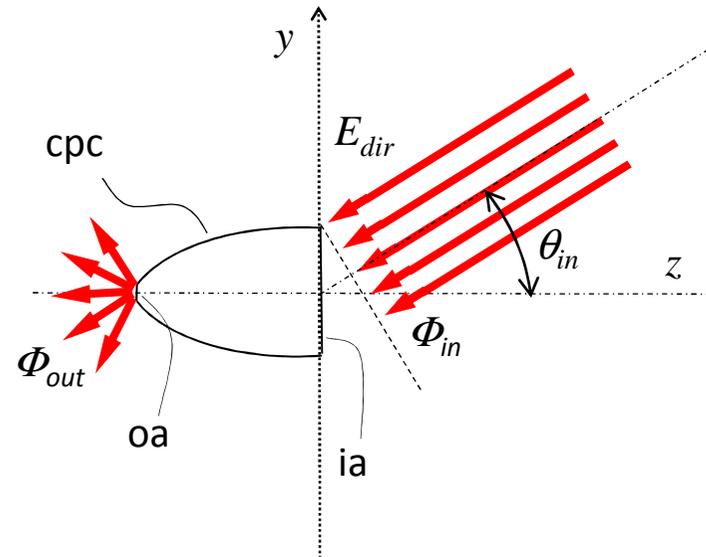
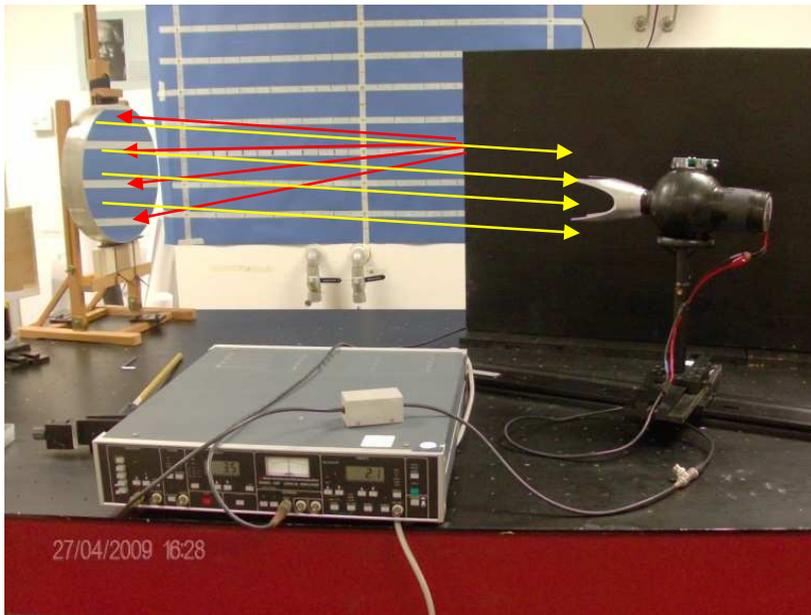


Immagine del fascio collimato



Schema di principio del metodo diretto



Il fascio collimato è inviato al concentratore

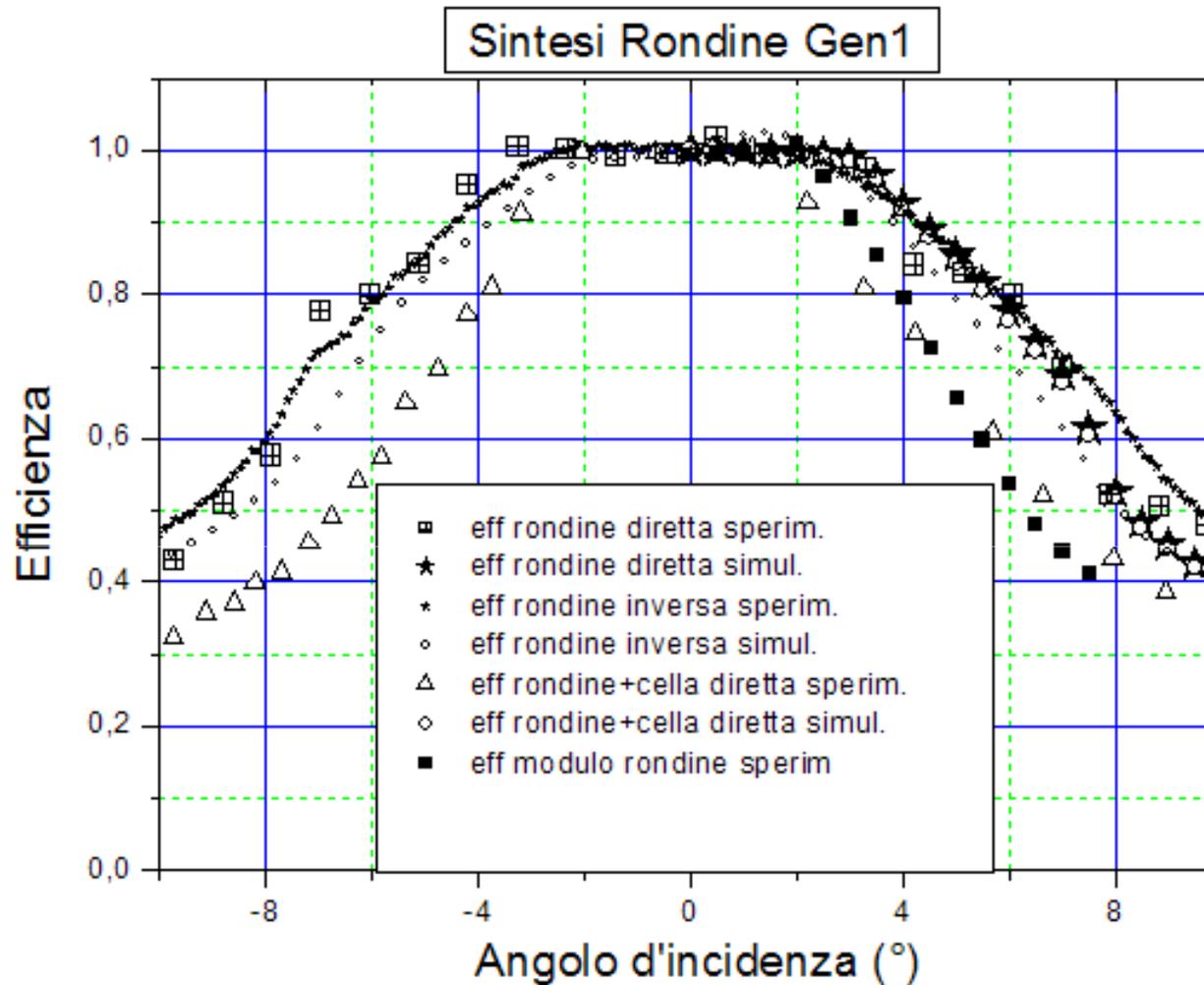


Rondine Gen1 accoppiato con una sfera integratrice per la misura del flusso trasmesso



Rondine Gen1 accoppiato con una cella solare per la misura del flusso trasmesso

METODO DIRETTO - RISULTATI

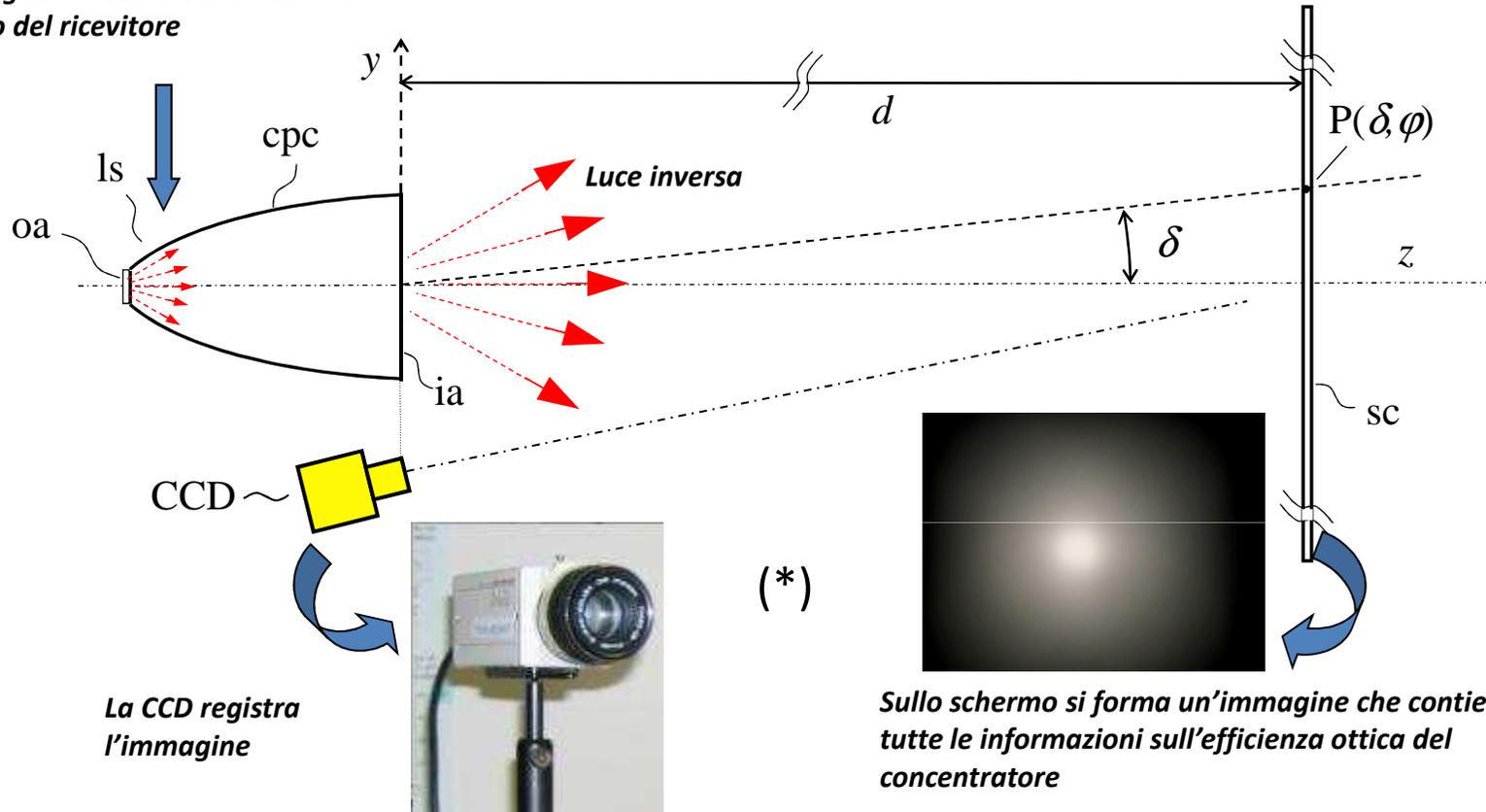


Il metodo “diretto” richiede troppe misure, troppo tempo, un apparato costoso, e inoltre non fornisce tutti i possibili dati.

METODO INVERSO (*)

Se il raggio rifratto è rinviato direttamente al punto di incidenza, esso sarà rifratto verso la linea descritta prima dal raggio incidente (I. Newton)

Una sorgente lambertiana è messa al posto del ricevitore



La CCD registra l'immagine

Sullo schermo si forma un'immagine che contiene tutte le informazioni sull'efficienza ottica del concentratore

$$L_{rel}(\delta, \varphi) = E_{rel}(\delta, \varphi) \cdot \frac{1}{\cos^4 \delta} = \eta_{rel}(\delta, \varphi)$$

δ angolo polare
 φ angolo azimutale

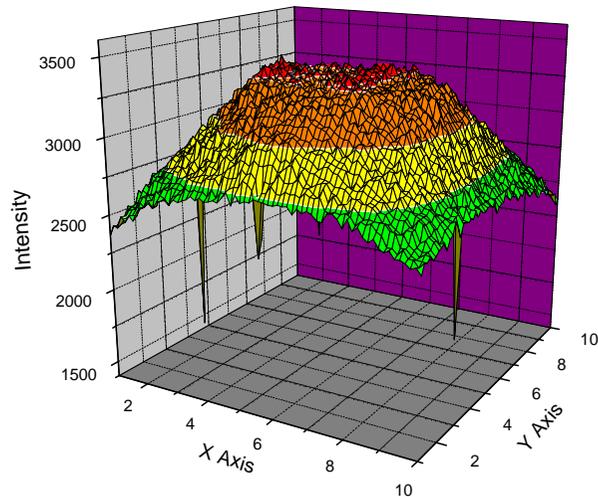
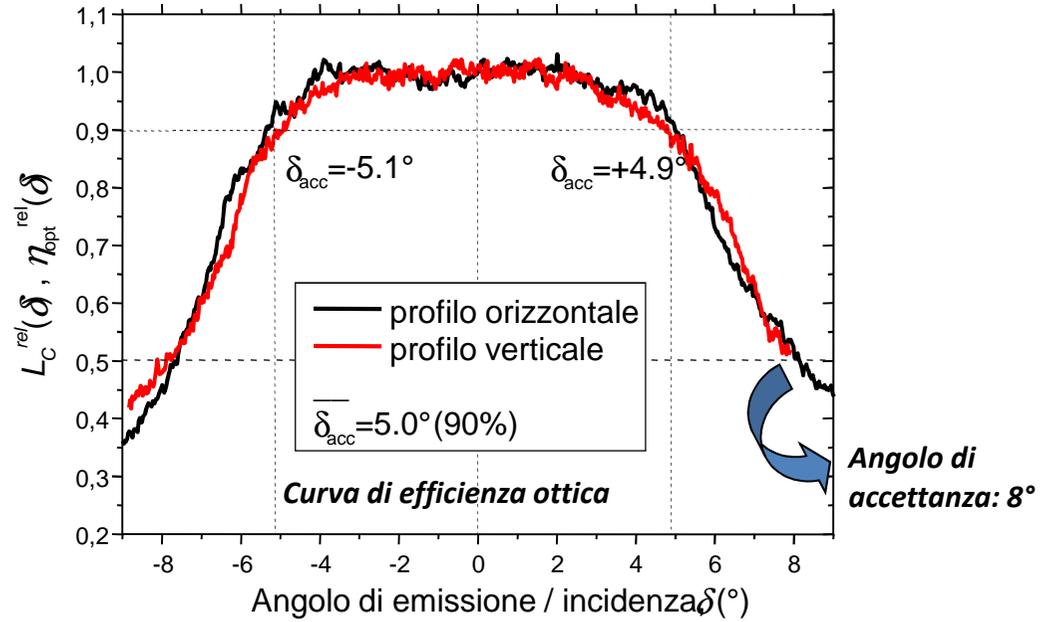
La radianza L del concentratore si ottiene dall'irradianza E misurata dall'immagine sullo schermo. La radianza L del concentratore ha lo stesso profilo dell'efficienza ottica η .

(*) A. Parretta et al., "Optical efficiency of solar concentrators by a reverse ...", *Optics Letters*, **33** (2008) 2044-2046.
A. Parretta, "Optics of Solar Concentrators", *Applied Optics*, in press.

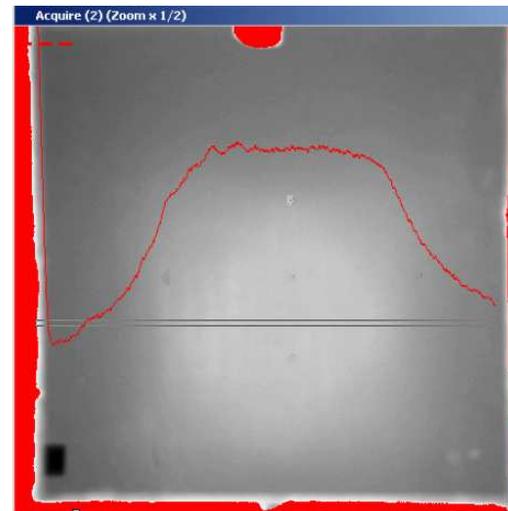
METODO INVERSO - RISULTATI



“Rondine” Gen2 3D-CPC



Mapa dell'intensità

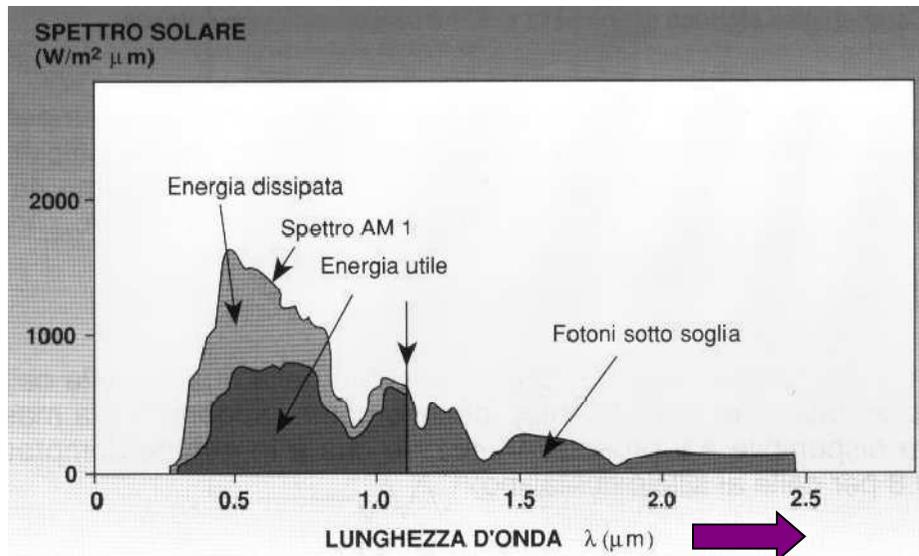


Dall'immagine sullo schermo si ricava un qualsiasi profilo ...

... che poi si elabora per ottenere la curva di efficienza ottica ...

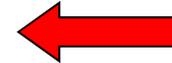
CONCENTRATORI SOLARI
FOTOVOLTAICI
CON “SPLITTAMENTO SPETTRALE”

PERCHE' LO SPLITTAMENTO SPETTRALE DELLA LUCE

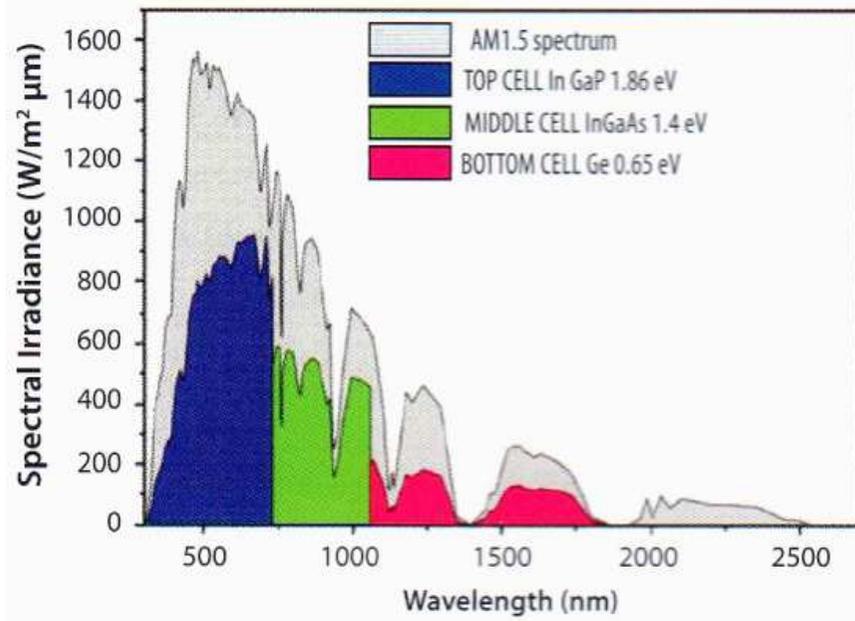


← Energia dei fotoni

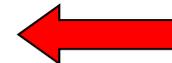
**Nessuno
splittamento
spettrale**



*Cella solare ad omogiunzione
di Silicio cristallino:
Efficienza max teorica ~ 30%
Efficienza max sperimentale ~ 25%*



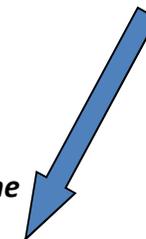
**Splittamento
spettrale**



Cella solare multigiunzione

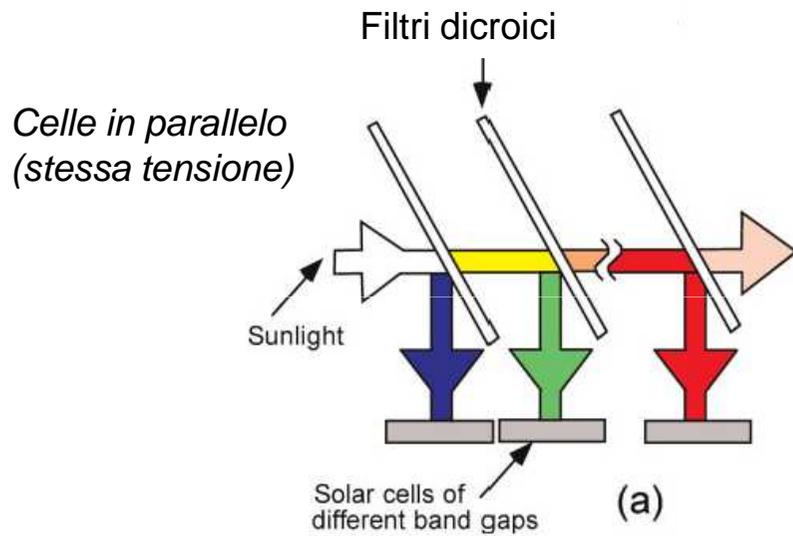
*Efficienza max teorica ~ 87%
Efficienza max sperimentale
(tre giunzioni) ~ 42%*

**Efficienza
limite per un
numero
illimitato di
celle !!**

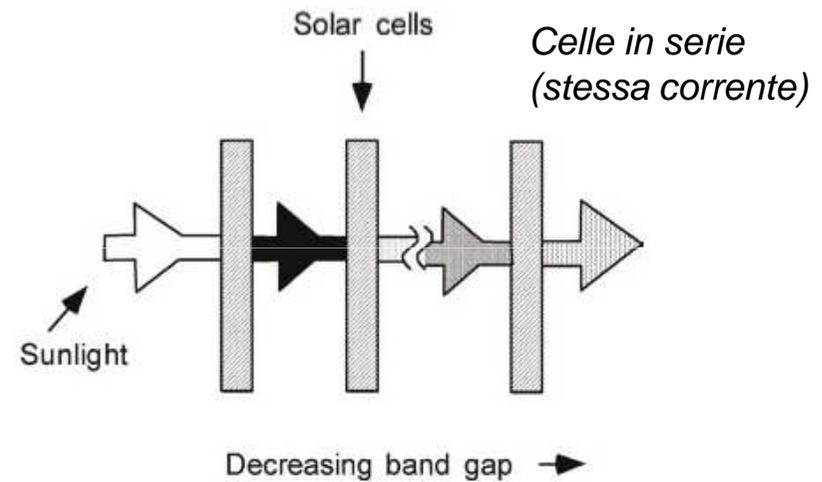


LO SPLITTAMENTO SPETTRALE DELLA LUCE

Splittamento spettrale



Splittamento dello spettro con filtri dicroici
Efficienza ~ 43% (a concentrazione)



Pila di celle in serie (monolitiche o singole)
Efficienza ~ 40% (a concentrazione)

CONCENTRATORI SOLARI FV DICROICI

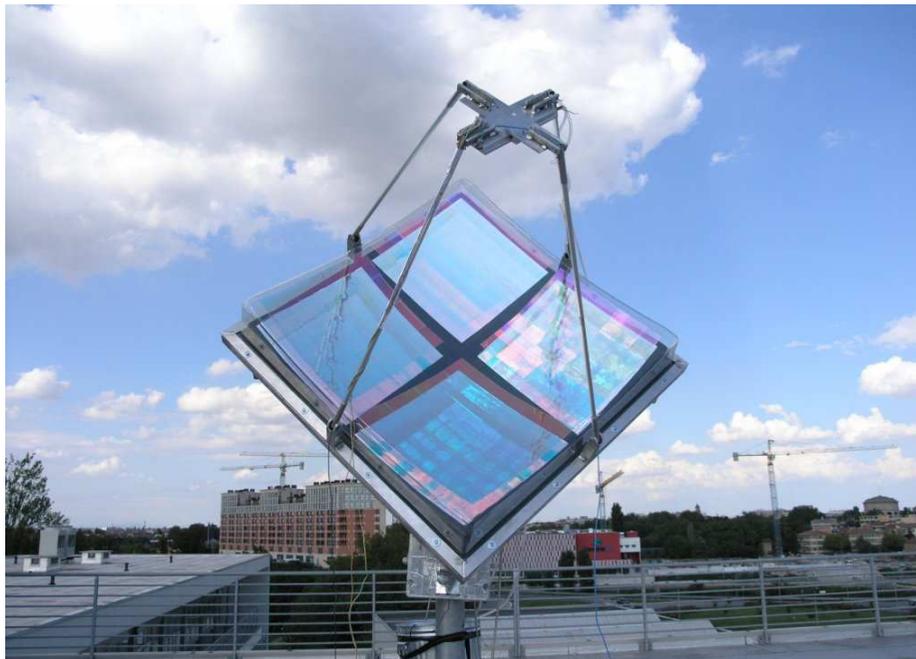


Due parabole fuori asse

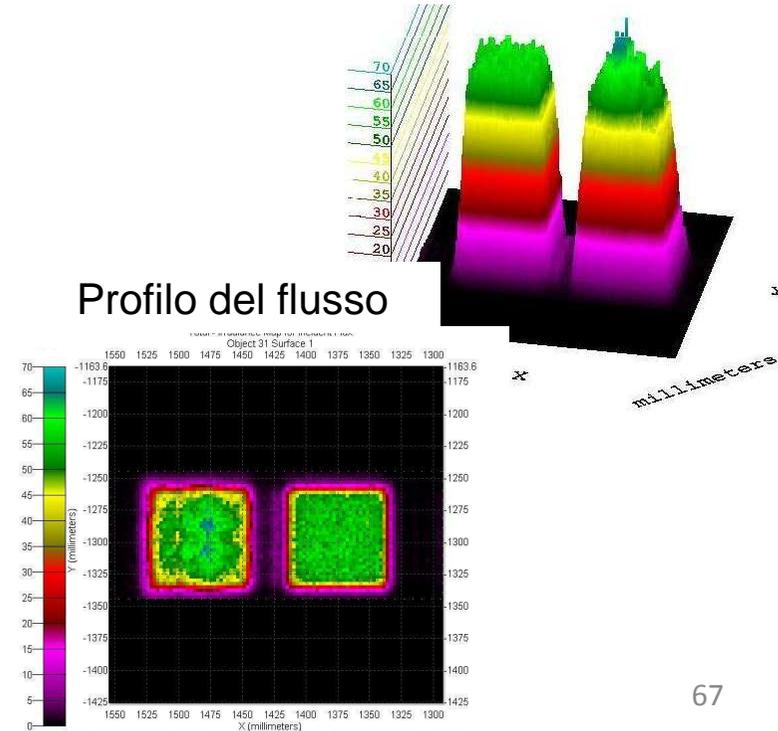
+



Due ricevitori FV

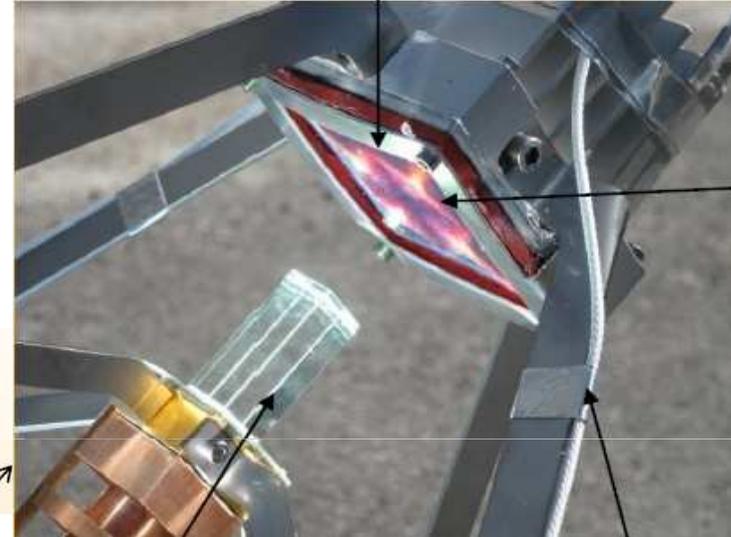


Impianto FV dicroico (Università di Ferrara)

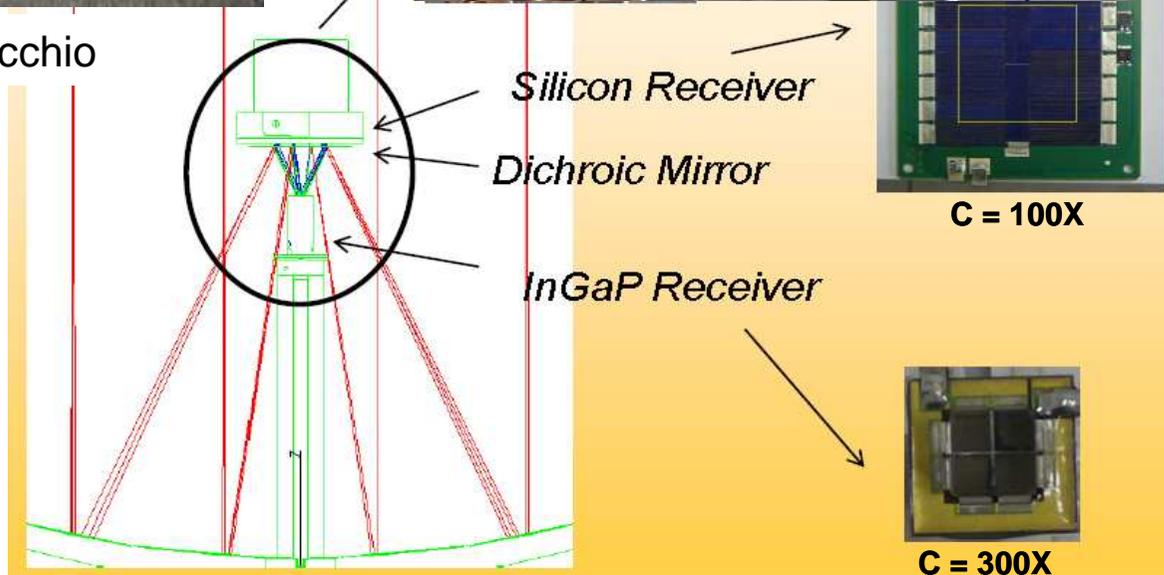


CONCENTRATORE SOLARE

(Fotovoltaico 3-D a media concentrazione con SS)



Concentratore dicroico a specchio

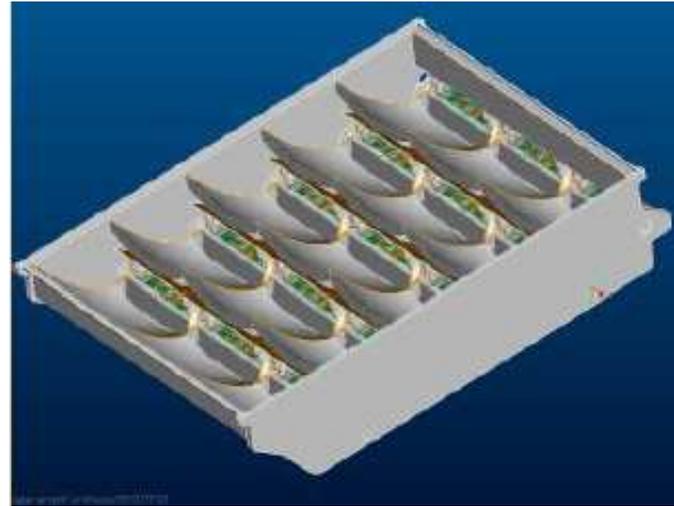


CONCENTRATORE SOLARE

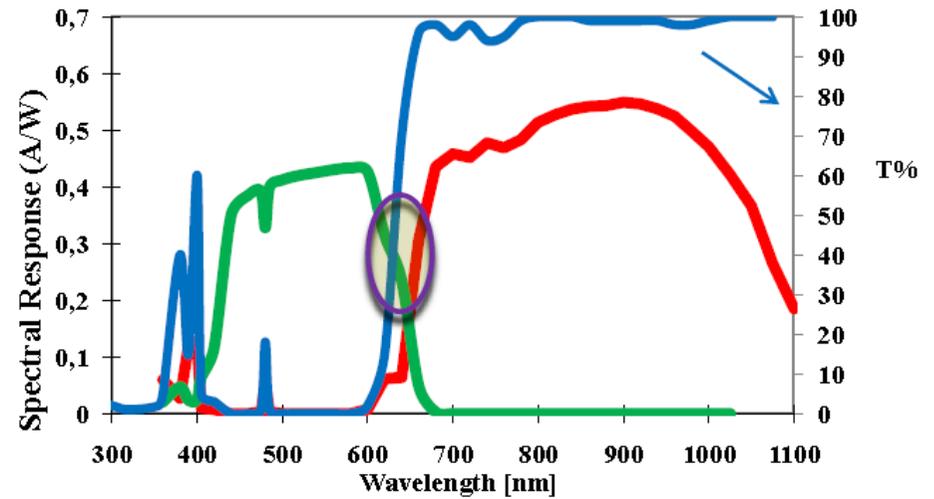
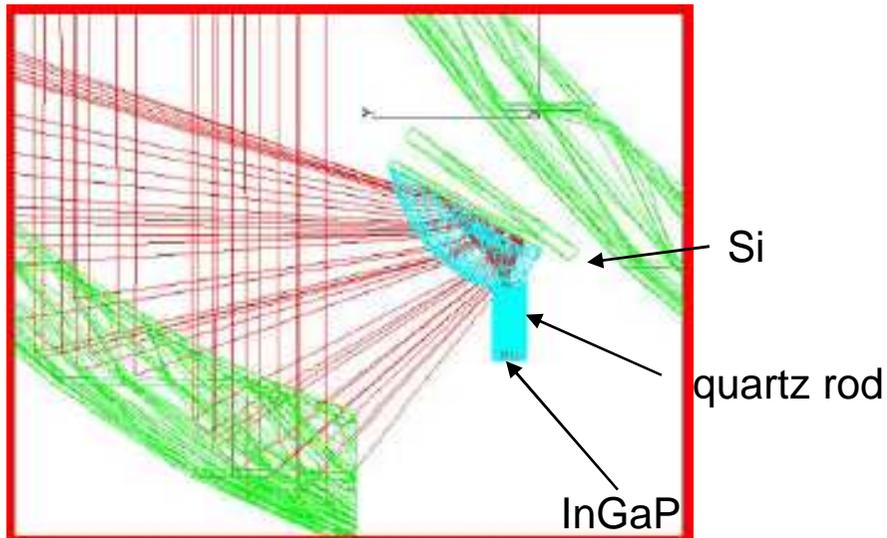
(Fotovoltaico 3-D a media concentrazione con SS)



Concentratore

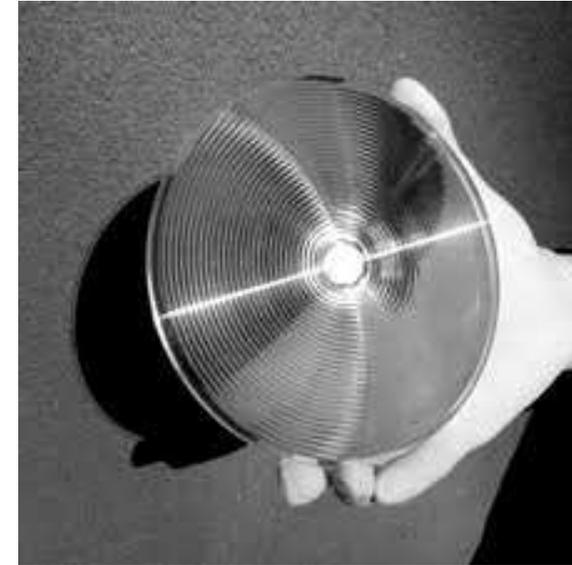
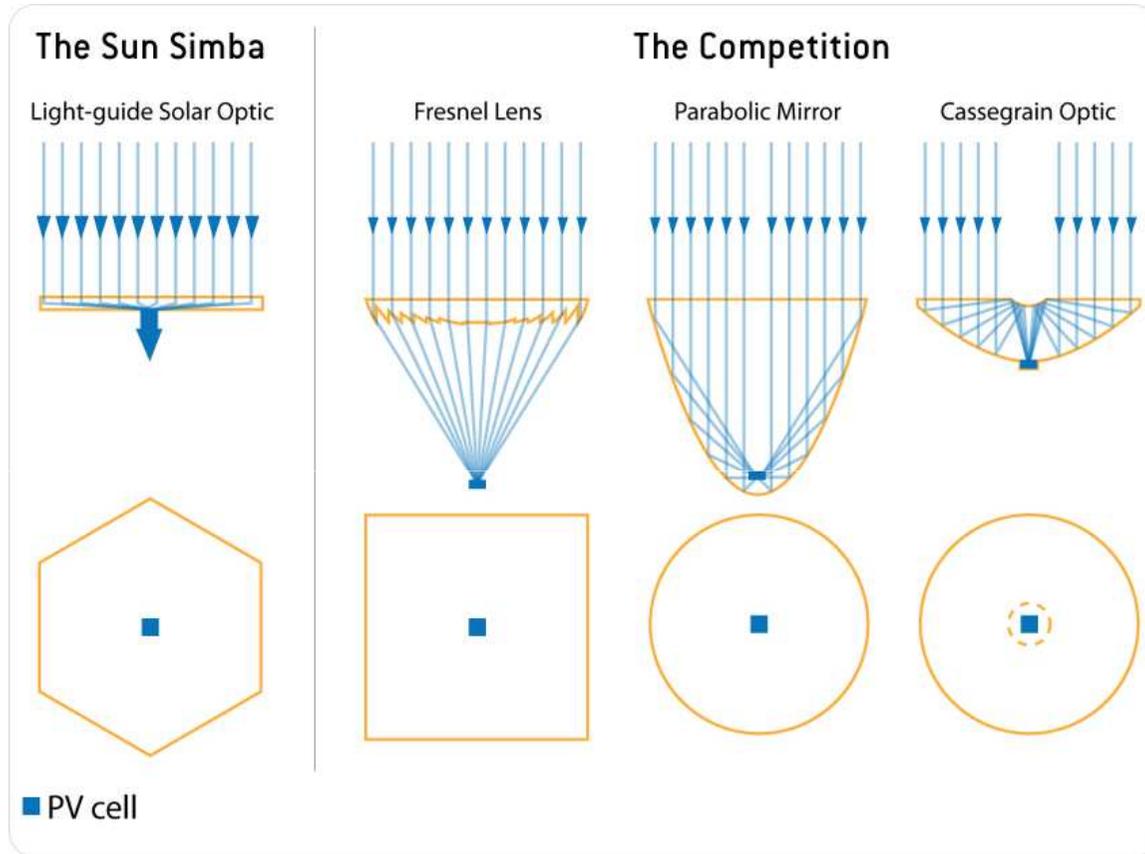


Piccoli moduli da 30 W
Efficienza \approx 20%



ALTRI MODI PER
CONCENTRARE LA LUCE

CONCENTRATORE SOLARE (Fotovoltaico 3-D a rifrattivo sottile)

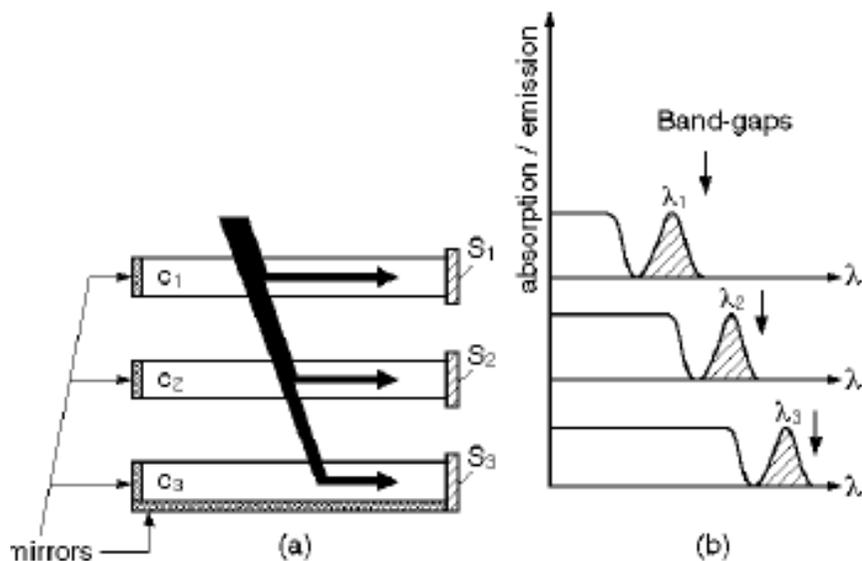


Sun Simba - Morgan Solar

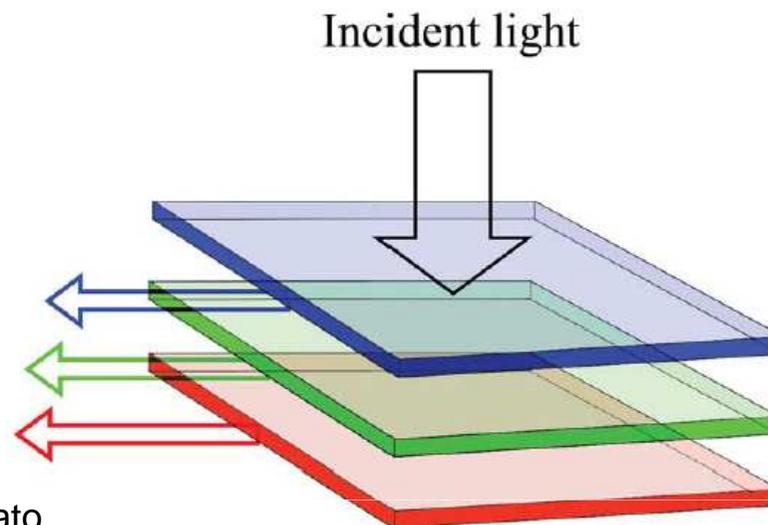
C ≤ 1000X

Concentratore CPV ultra sottile, leggero e di basso costo.
Realizzato con materiali di lunga durata e con processi semplici.
Non richiede manutenzione e si adatta a molte applicazioni.

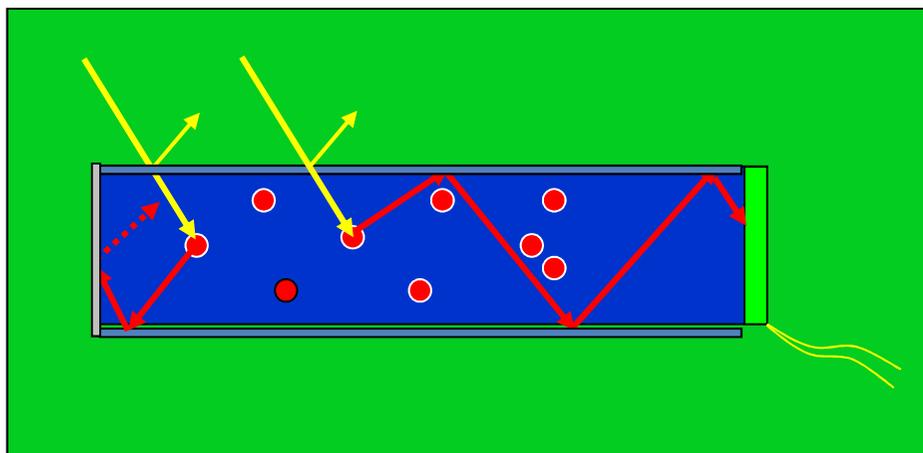
CONCENTRATORI SOLARI LUMINESCENTI



Concentratori a colorante



- a) Concentratore luminescente a tre strati. Ciascuno strato assorbe e riemette luce con lunghezza d'onda via via più grande.
- b) Spettro di assorbimento e luminescenza.

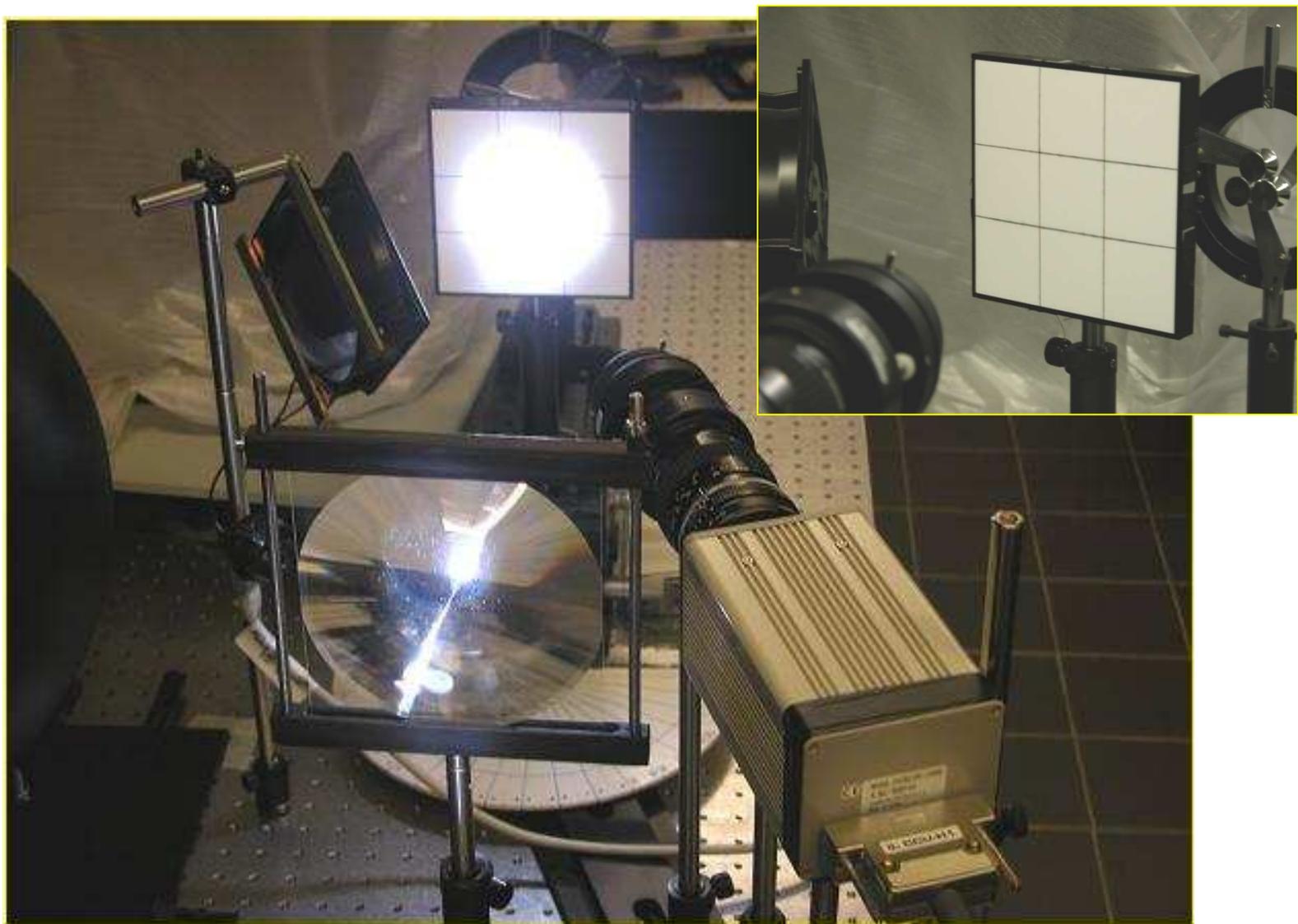


Luce di fotoluminescenza raccolta per riflessione interna totale.

COME SI CARATTERIZZA

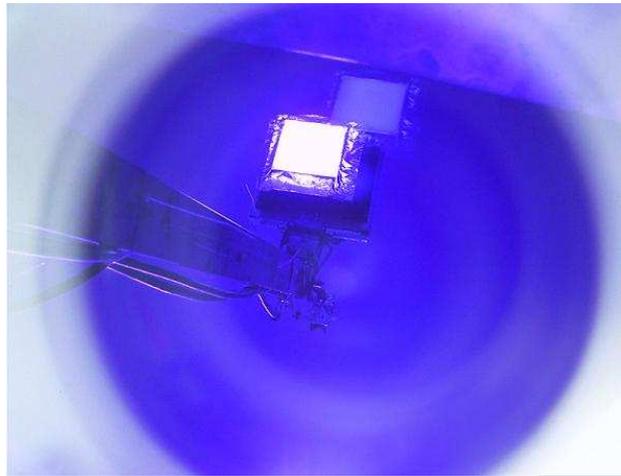
IL FASCIO CONCENTRATO

METODO CAMERA-TARGET (In riflessione)

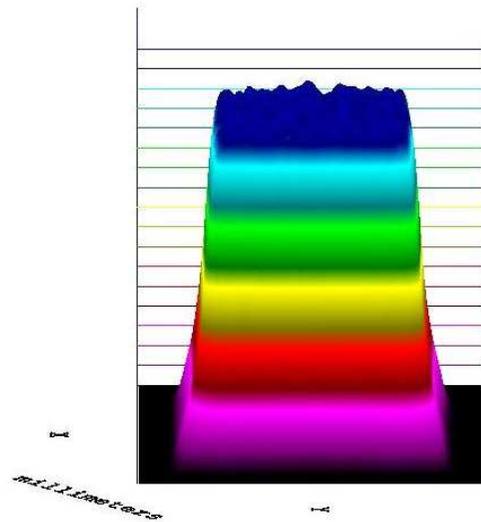


Laboratori ENEA - Portici

METODO CAMERA-TARGET (In riflessione)

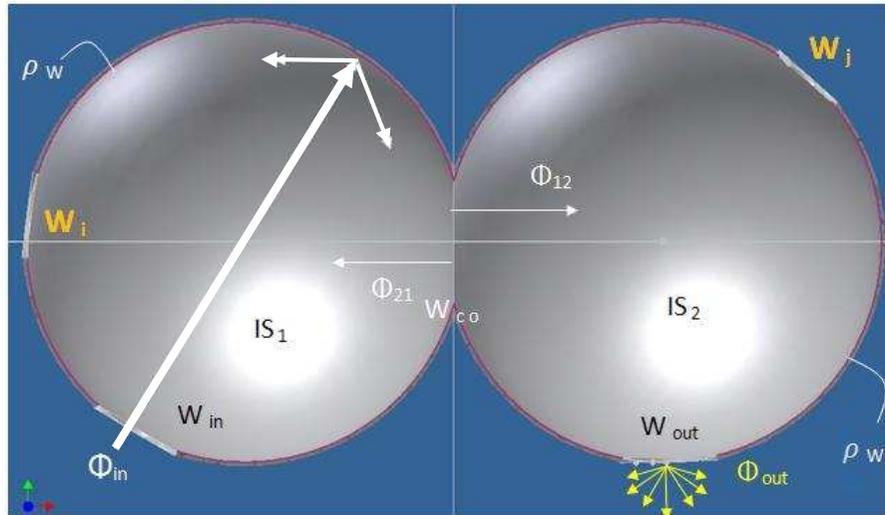


Total - Irradiance Map for Absorbed Flux
Object 3 Surface 1

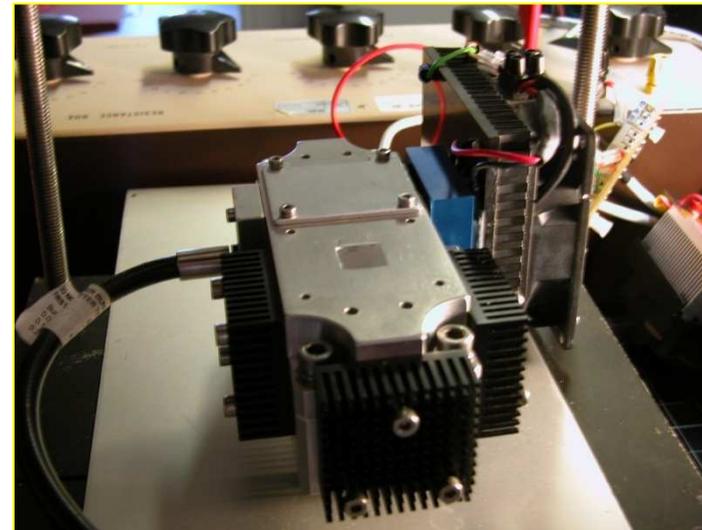


Profilo del flusso

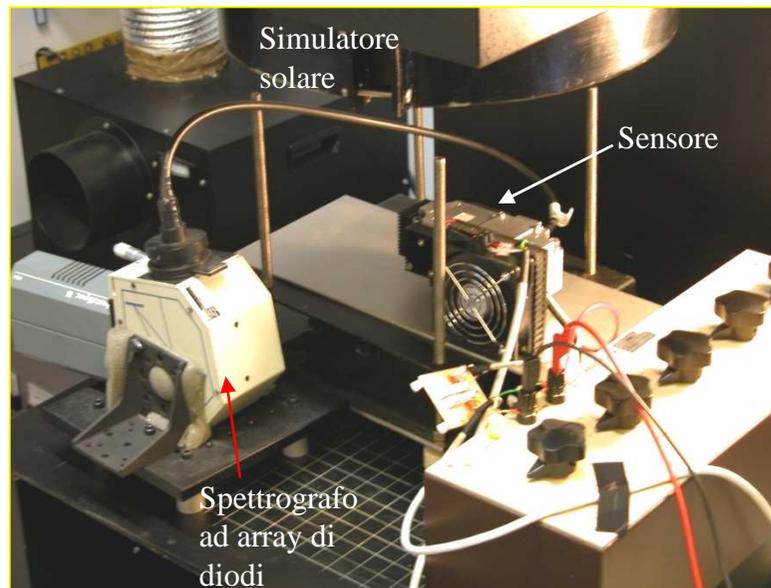
METODO RADIOMETRICO (Per concentratori 3-D)



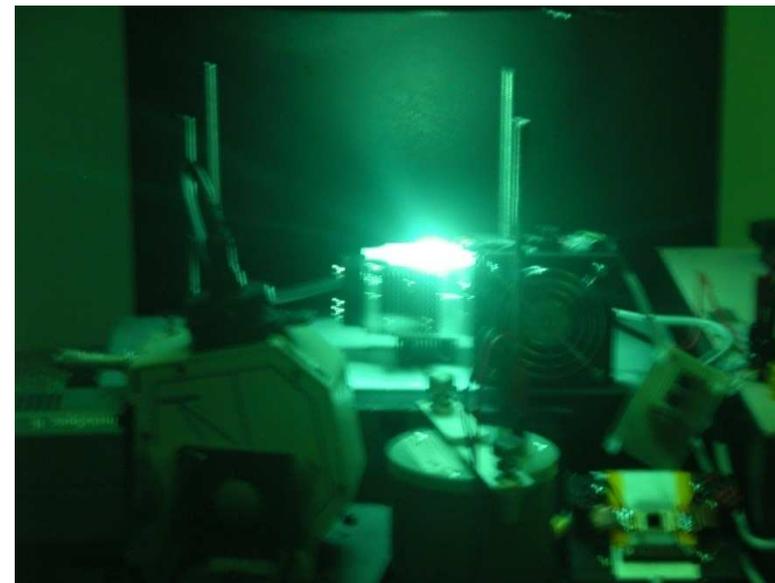
Doppia sfera integratrice



Prototipo DCR



L'apparato DCR

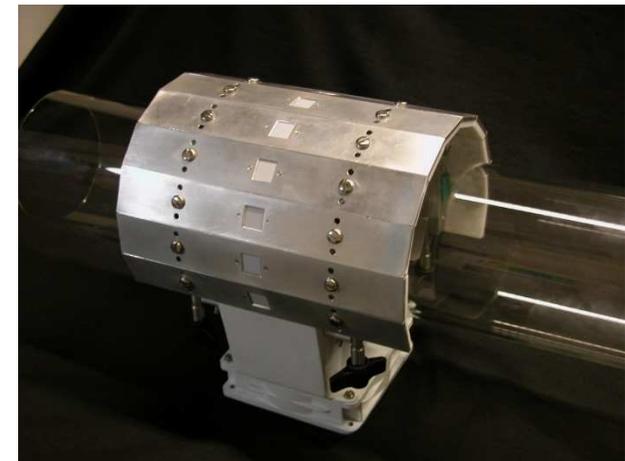


Prova al simulatore solare

METODO RADIOMETRICO (Per concentratori 2-D)



Radiometro statico



METODO RADIOMETRICO (Per concentratori 2-D)

Radiometro mobile **(A. Parretta e A. Moretti)**

IL FUTURO



L'energia solare prenderà il volo?

The End

The End

