



“PENTAPRISMA DICROICO FOTOVOLTAICO CON SPLITTAMENTO SPETTRALE DI RADIAZIONE SOLARE CONCENTRATA”

Antonio Parretta* e Francesco Forastieri**

*parretta@fe.infn.it

**francesco.forastieri@student.unife.it



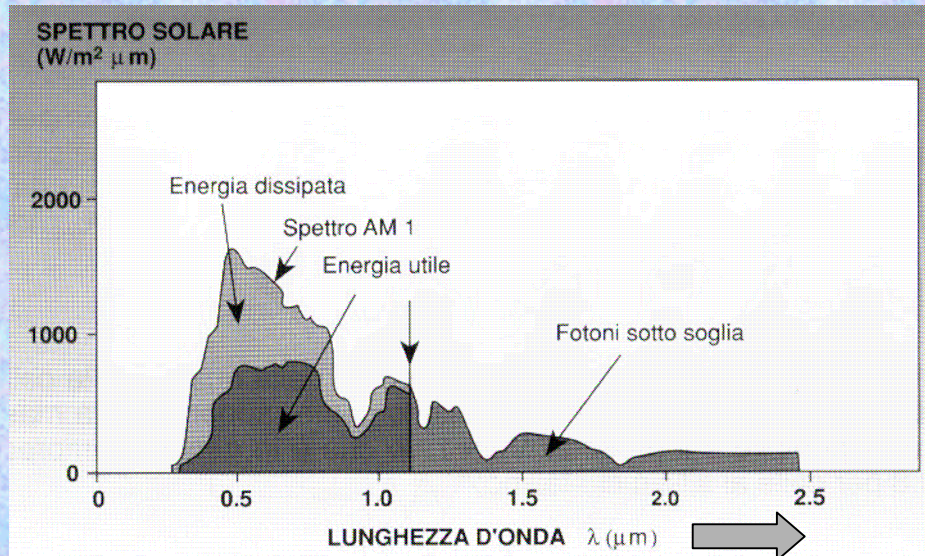
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra
Università di Ferrara

SOMMARIO

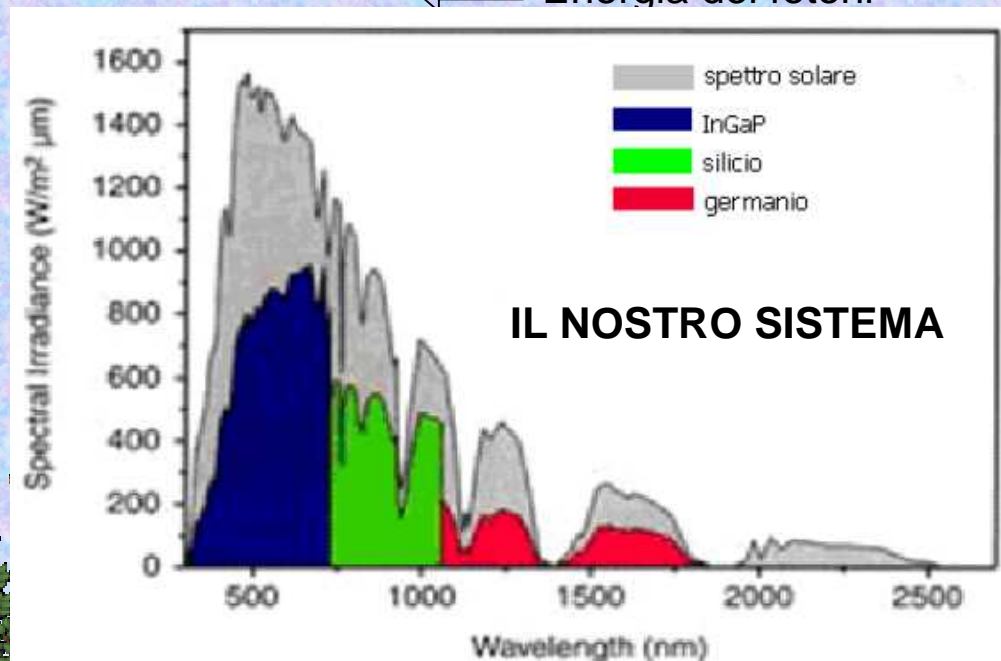
- * *Perché lo Splittamento Spettrale*
- * *Metodi di Splittamento Spettrale*
- * *Splittamento Spettrale con Pentaprisma*
- * *Simulazioni Ottiche*
- * *Pentaprisma Dicroico Fotovoltaico e sue Prestazioni*



SPLITTAMENTO SPETTRALE DELLA LUCE SOLARE



← Energia dei fotoni



**Nessuno spittamento
Spettrale (1 giunzione)**

**Efficienza
Limite !!**



*Cella solare ad omogiunzione
di Silicio cristallino:*

Efficienza max teorica ~ 30%

Efficienza max sperimentale ~ 25%

**Splittamento
spettrale**

**Efficienza
Limite !!
(∞ giunzioni)**

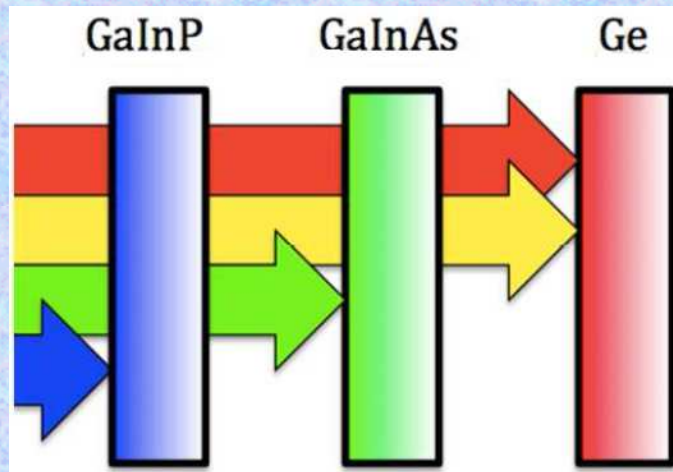


Cella solare multigiunzione

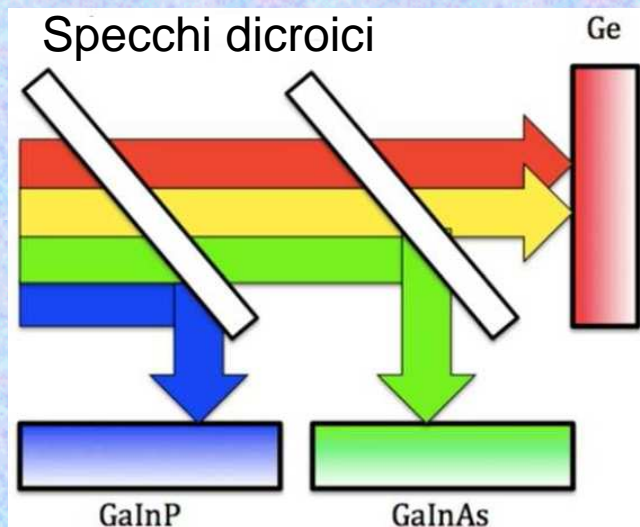
Efficienza max teorica ~ 87%

**Efficienza max sperimentale
(tre giunzioni) ~ 43.5% (Sharp)**

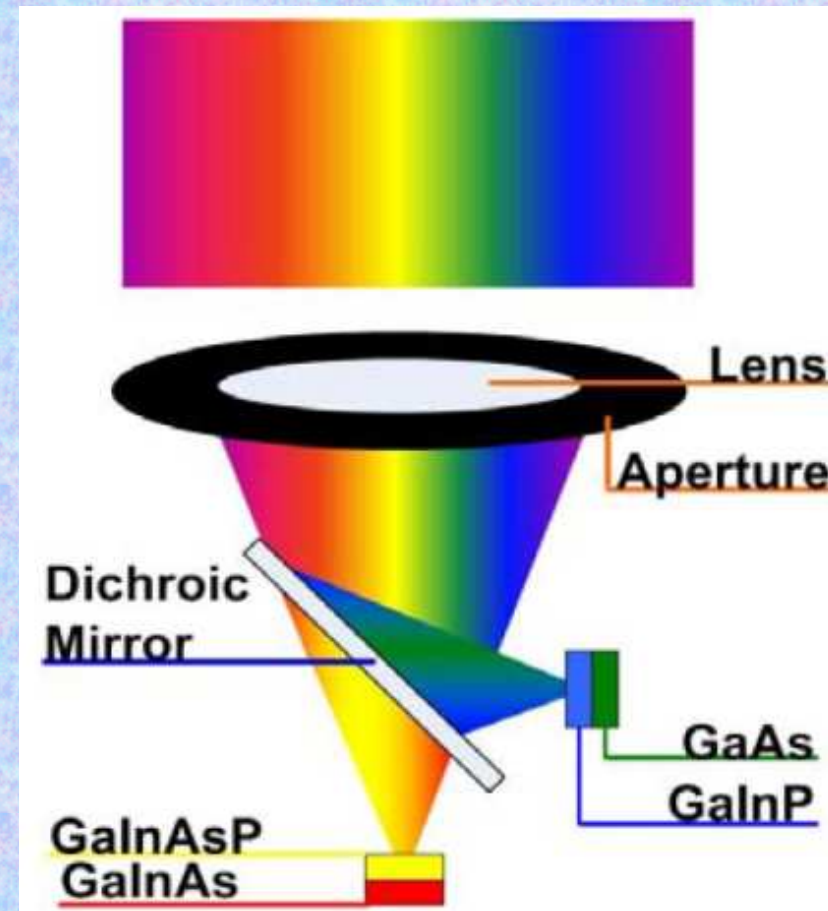
METODI DI SPLITTAMENTO SPETTRALE



Celle in serie (stessa corrente)



Celle in parallelo (stessa tensione)

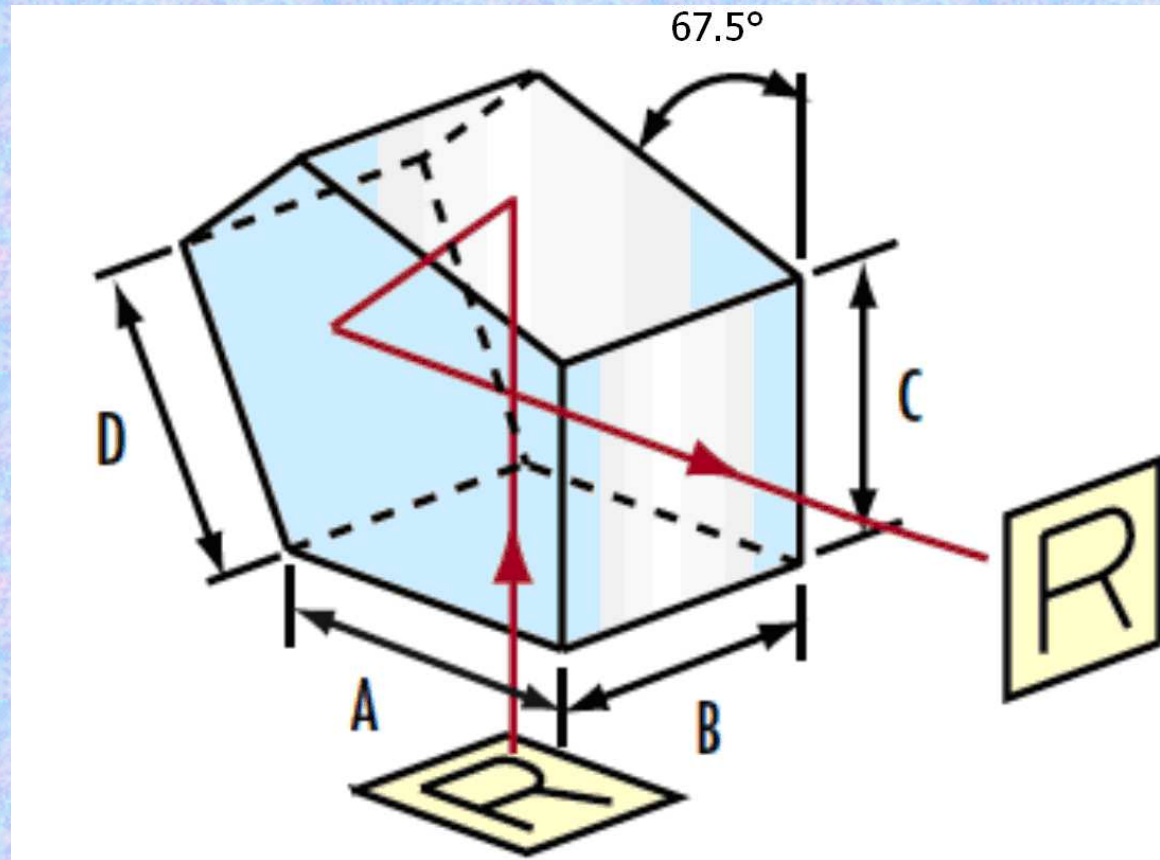


*Concentrazione +
Splittamento spettrale misto
(dicroico + stacked cells)*



METODO DEL PENTAPRISMA

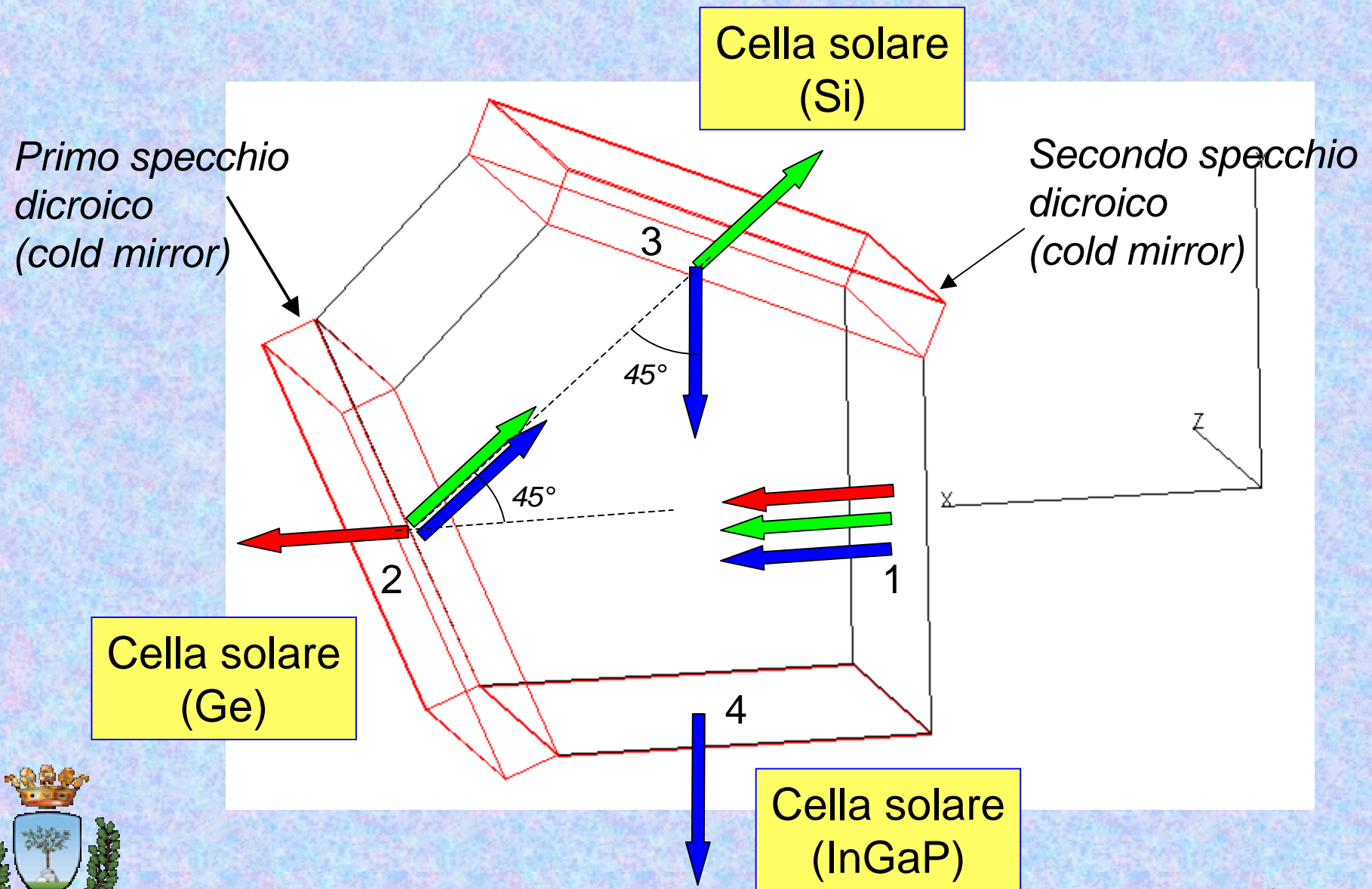
Obiettivo: Evitare le perdite ottiche alle interfacce dei filtri dicroici.
Pentaprisma come trappola di luce.



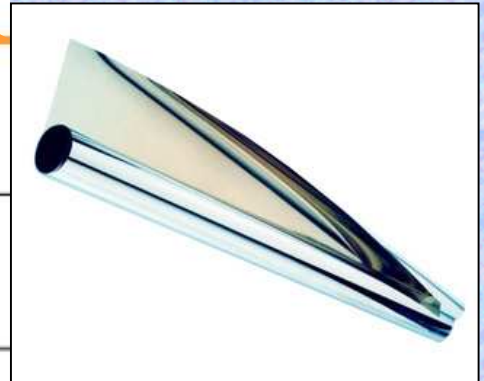
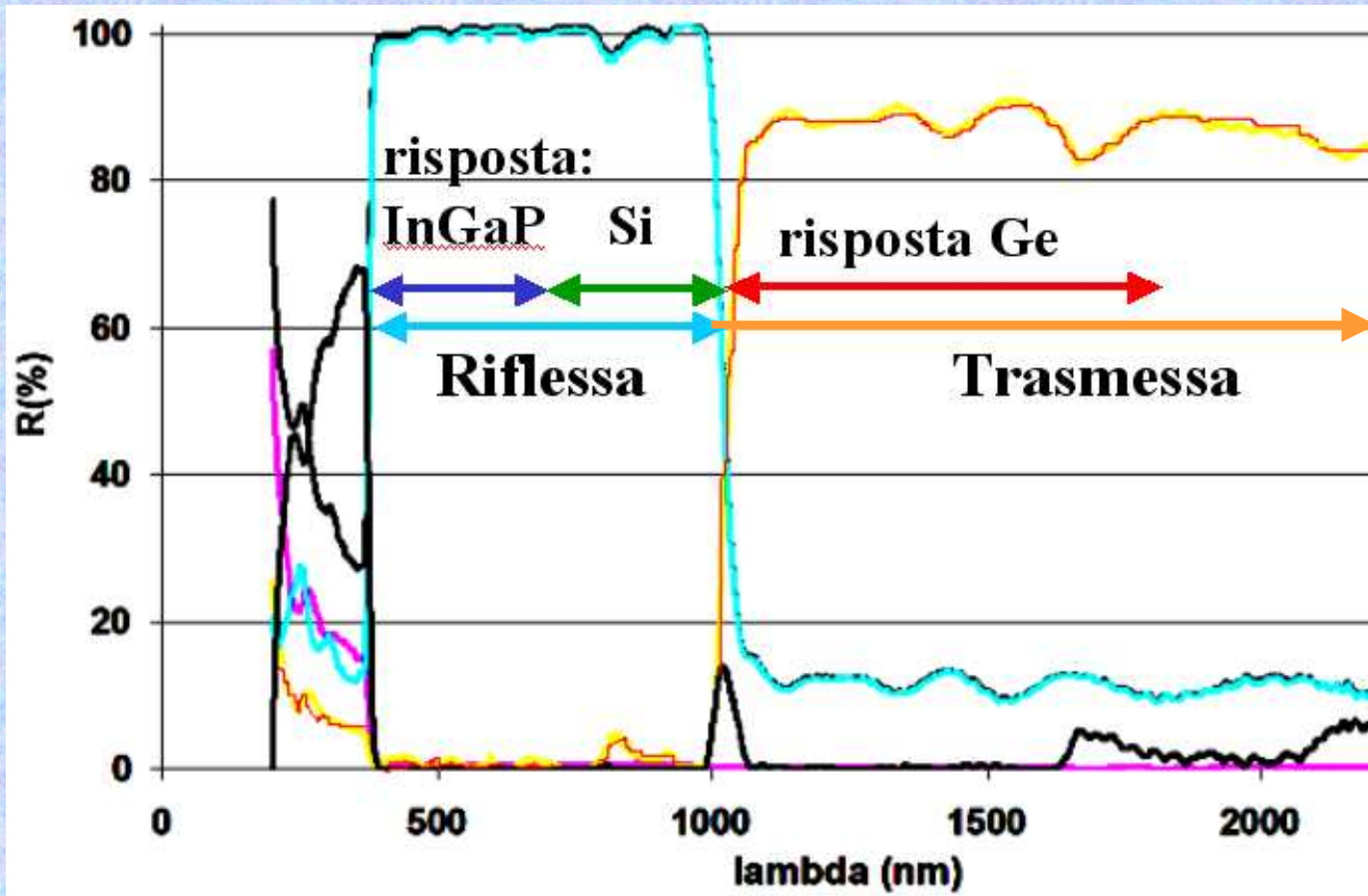
UV Fused Silica Pentaprism
($T=98\%$ per $\lambda=400-1700$ nm)



METODO DEL PENTAPRISMA



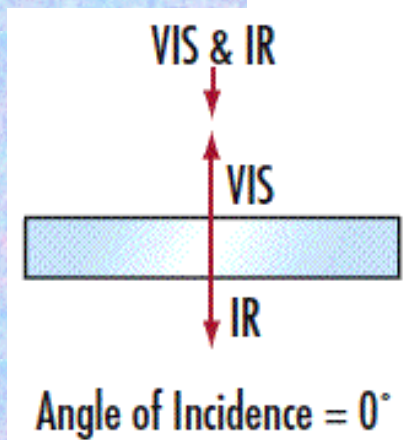
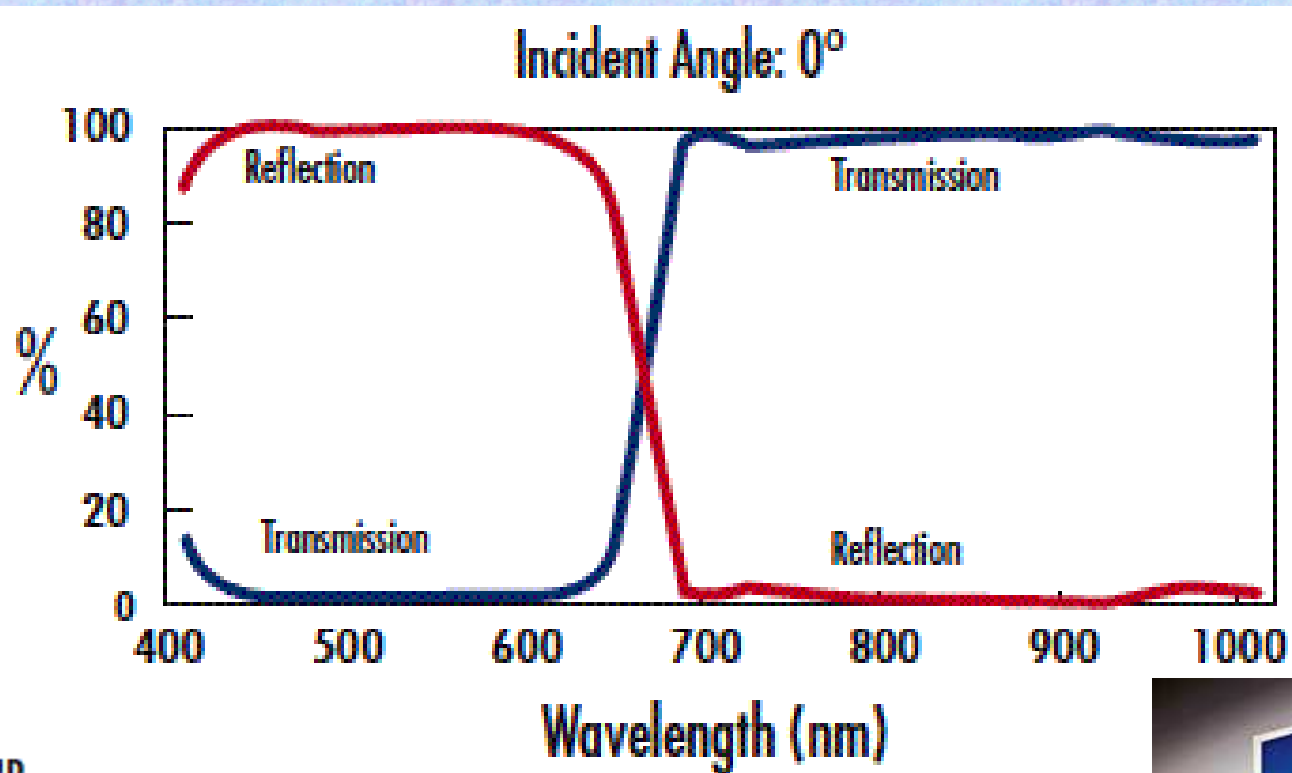
PRIMO FILTRO DICROICO: Radiant Mirror Film VM2002 (3M)



Trasmette il NIR alla cella al Germanio



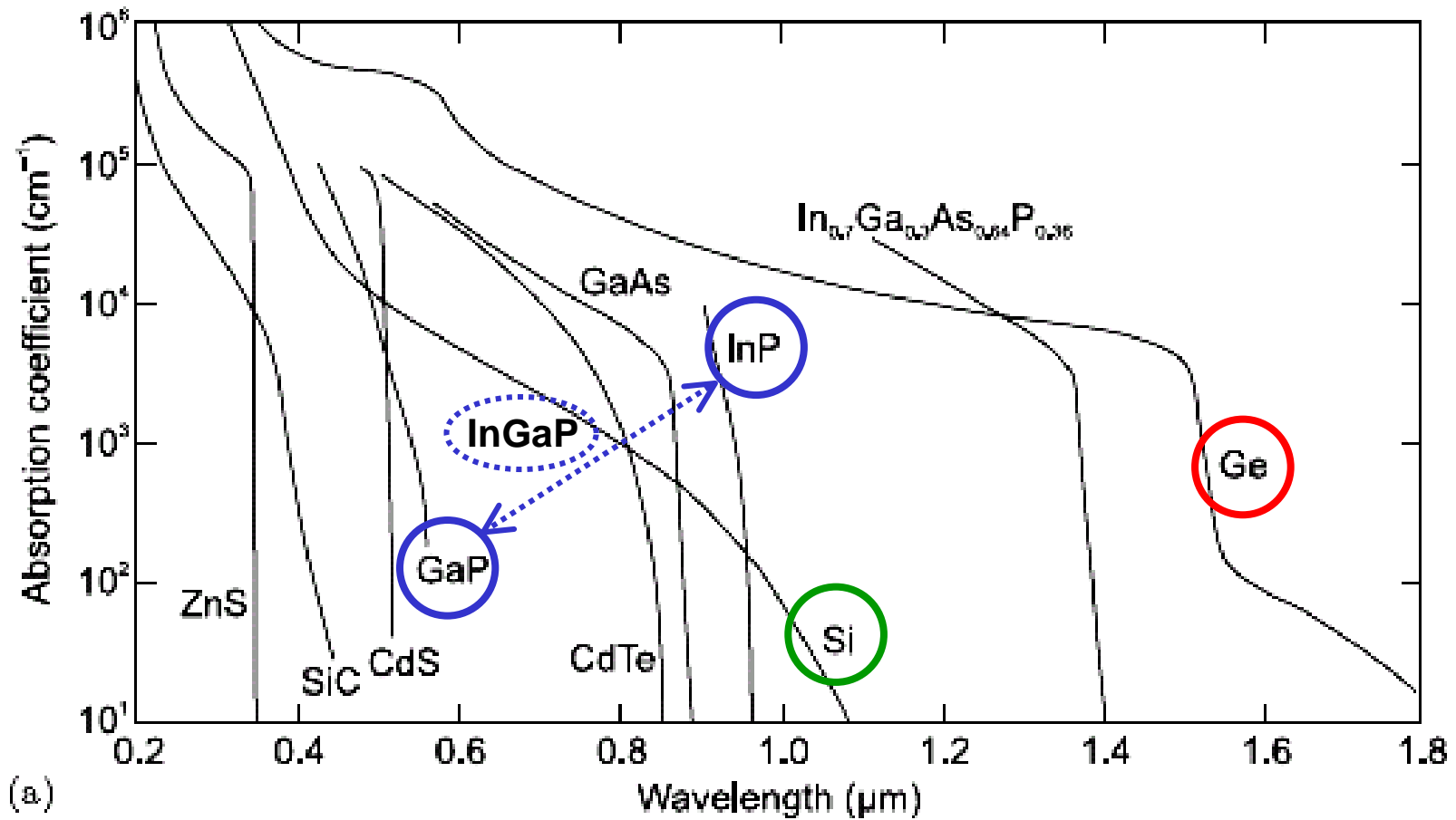
SECONDO FILTRO DICROICO: 0° AOI 50mm Sq, Cold Mirror (Edmund)



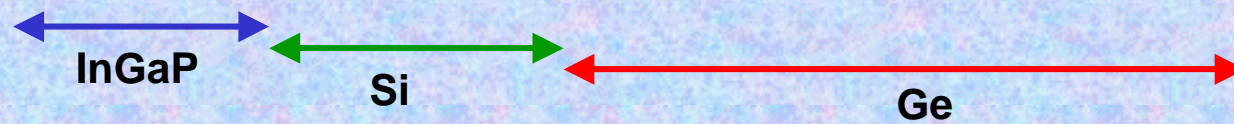
Trasmette il Rosso-NIR alla cella al Silicio



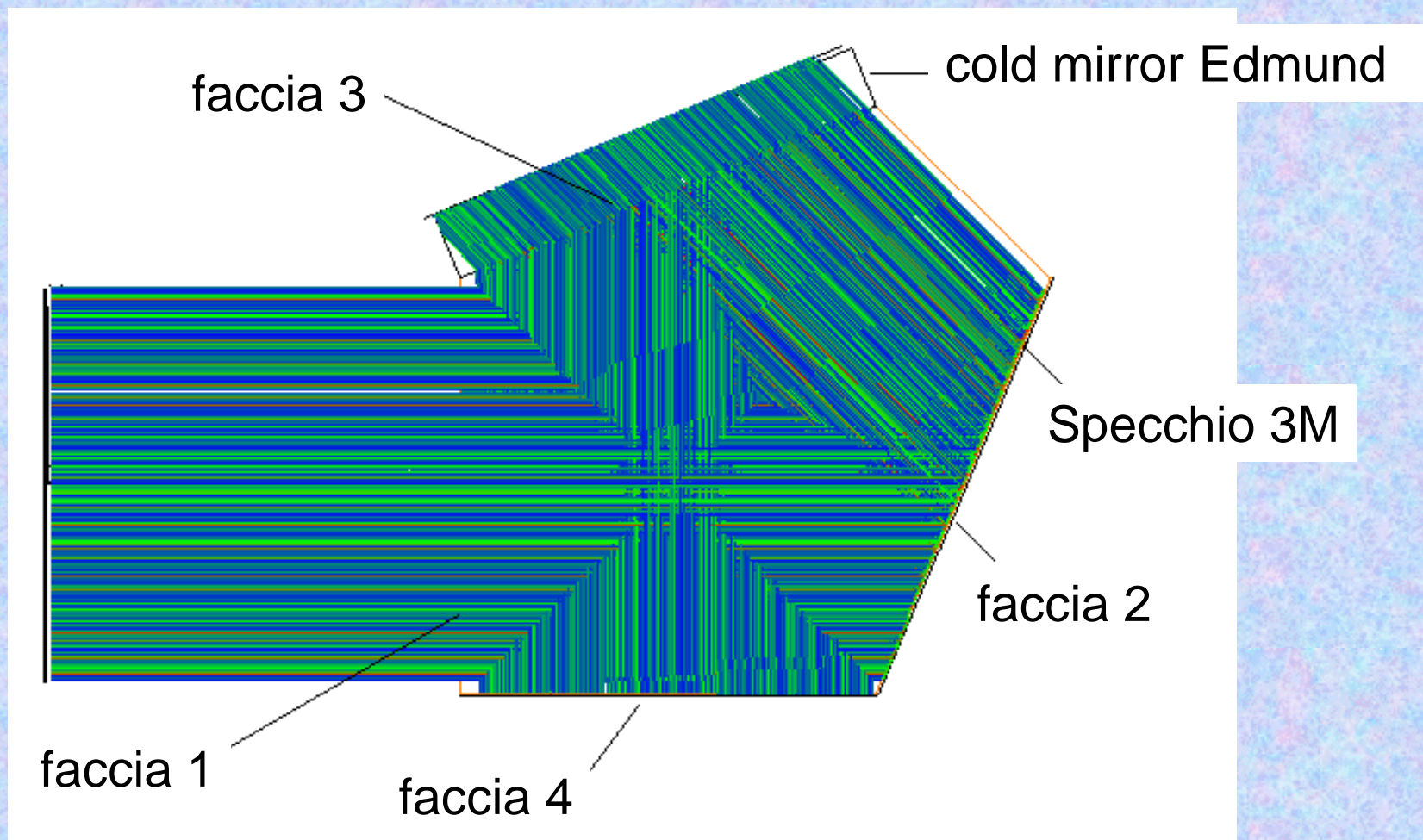
COEFFICIENTI DI ASSORBIMENTO



(a)



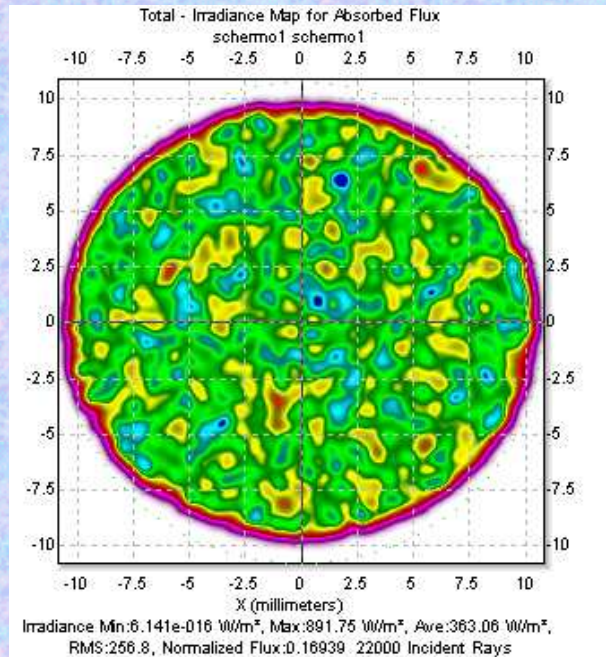
SIMULAZIONI OTTICHE SENZA CONCENTRAZIONE (TracePro)



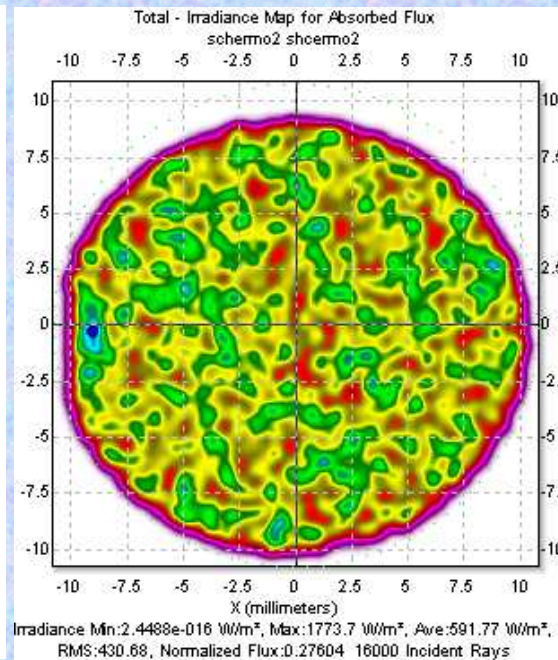
Celle fittizie sulle facce 2, 3 e 4



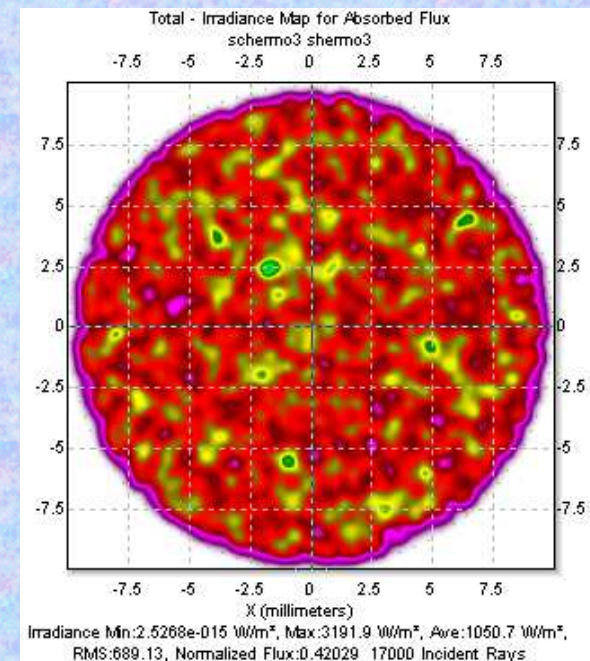
SIMULAZIONI OTTICHE SENZA CONCENTRAZIONE



Primo ricevitore
(Ge)
($\lambda > 1050\text{nm}$)
Flusso: ~17%



Secondo ricevitore
(Si)
($\lambda = 675 \div 1050\text{nm}$)
Flusso: ~28%

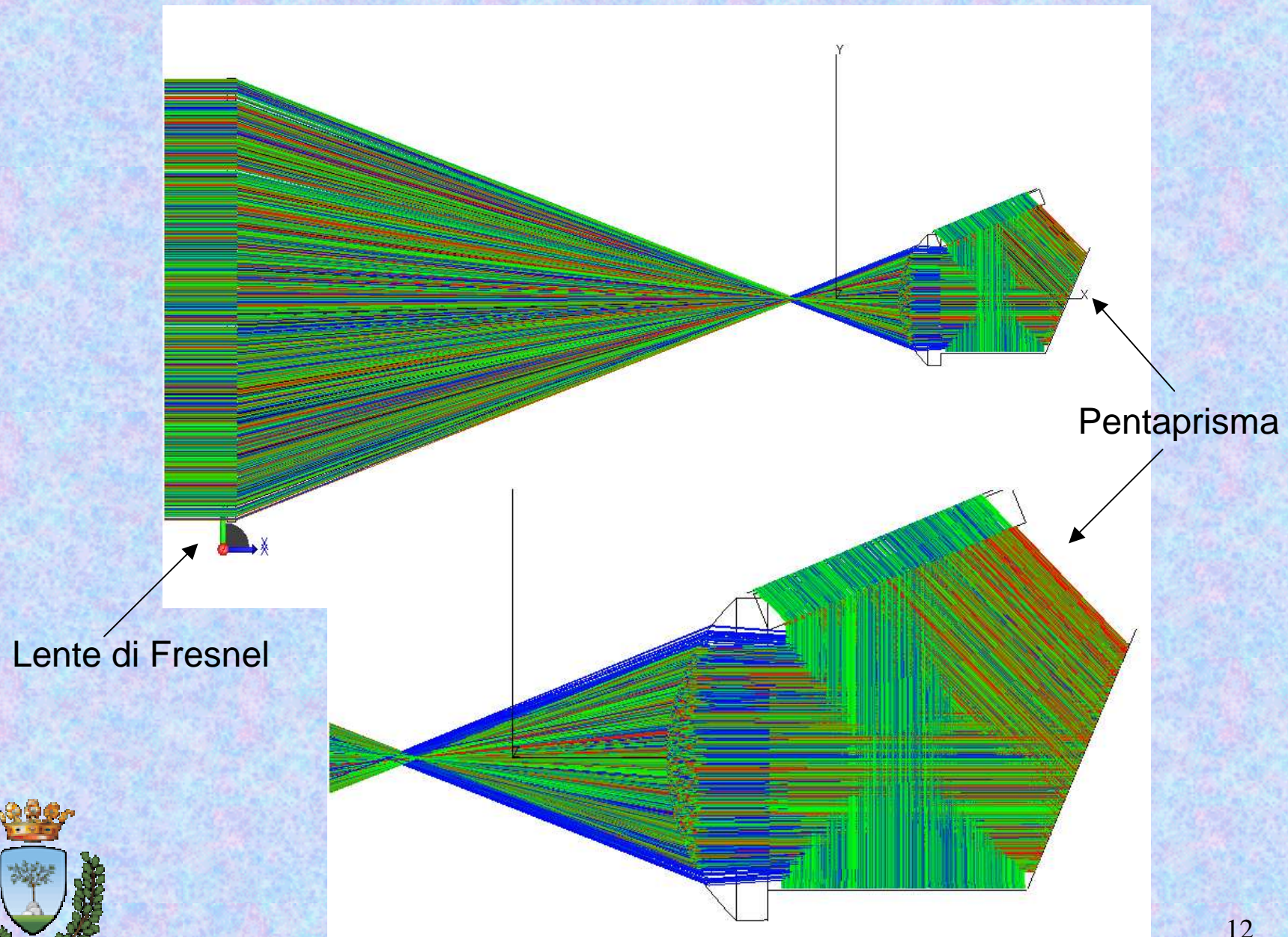


Terzo ricevitore
(InGaP)
($\lambda = 400 \div 675\text{nm}$)
Flusso: ~42%

Efficienza ottica: ~ 87%
(senza antiriflesso all'ingresso)

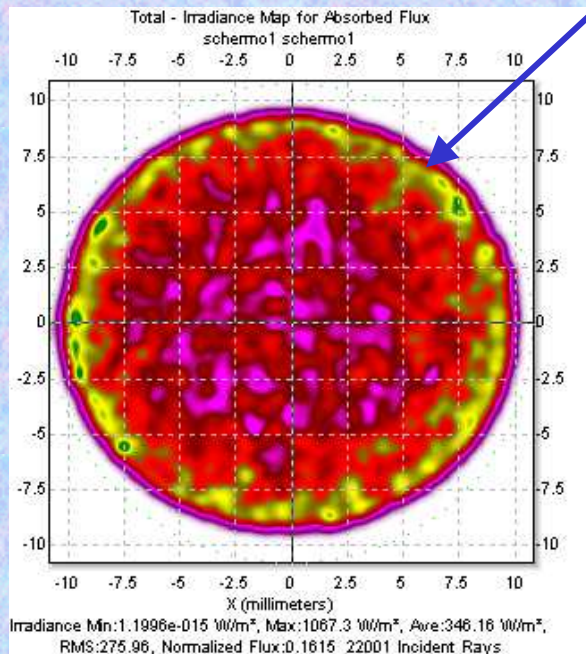


SIMULAZIONI OTTICHE A CONCENTRAZIONE

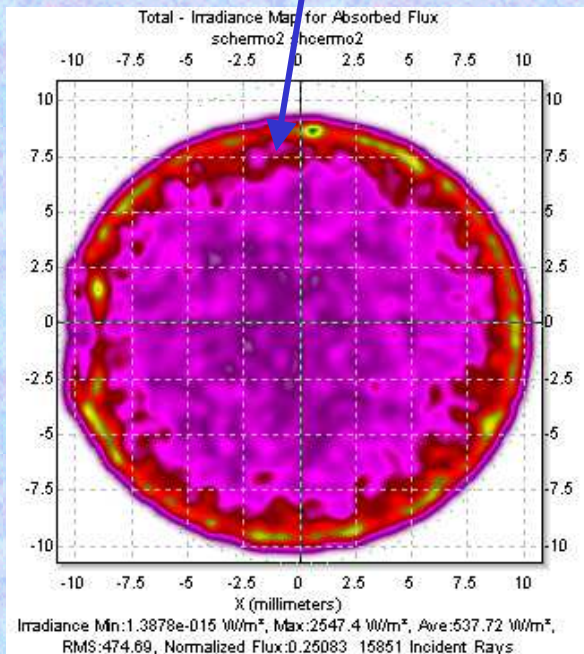


SIMULAZIONI OTTICHE A CONCENTRAZIONE

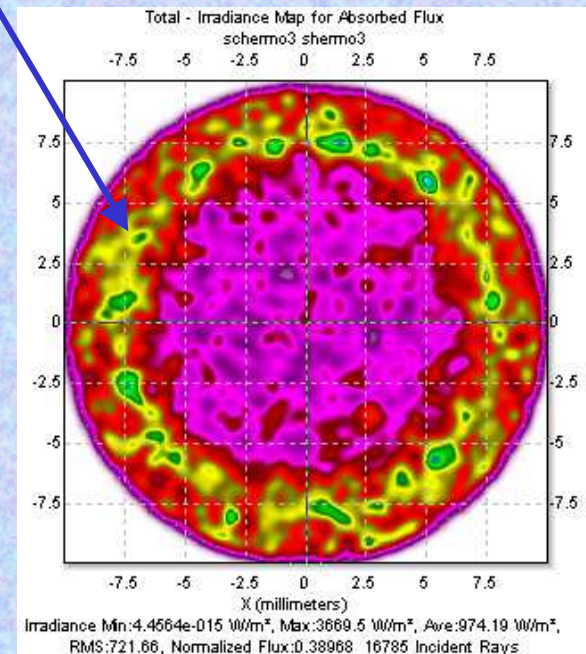
Aberrazioni cromatiche!



Primo ricevitore
(Ge)
($\lambda > 1050\text{nm}$)
Flusso: ~16%



Secondo ricevitore
(Si)
($\lambda = 675 \div 1050\text{nm}$)
Flusso: ~25%



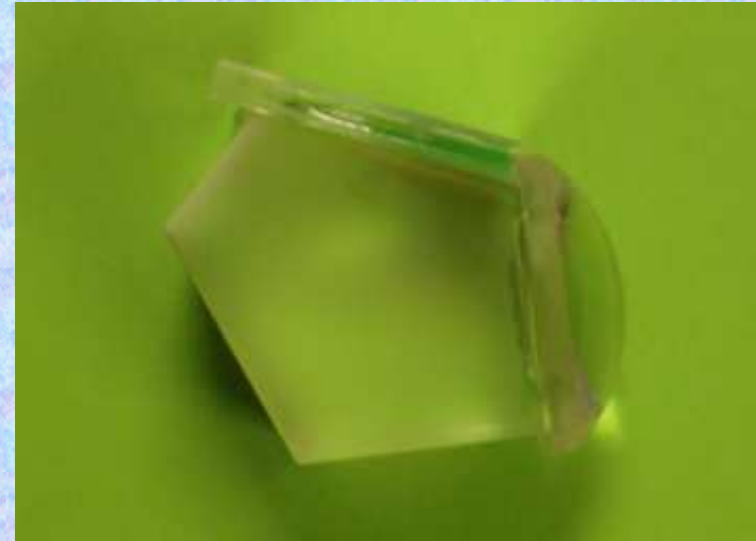
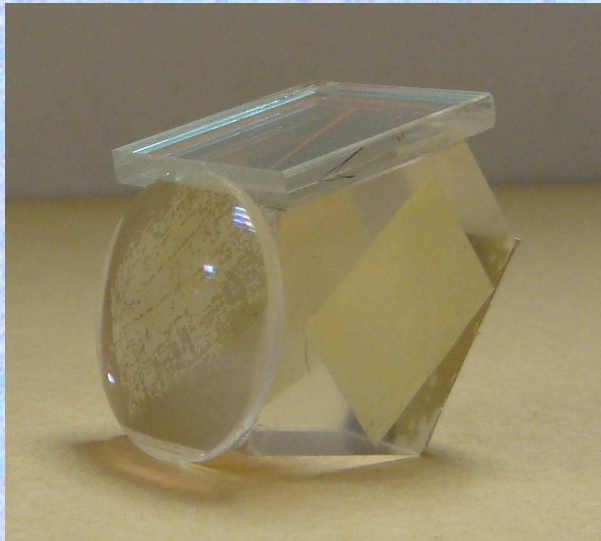
Terzo ricevitore
(InGaP)
($\lambda = 400 \div 675\text{nm}$)
Flusso: ~39%

Efficienza ottica: ~ 81%

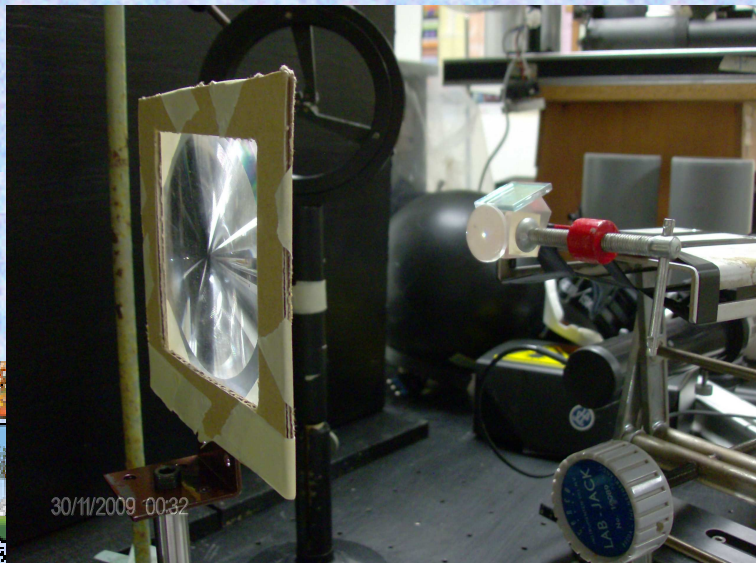
Bassa!
E' dovuta al
concentratore.



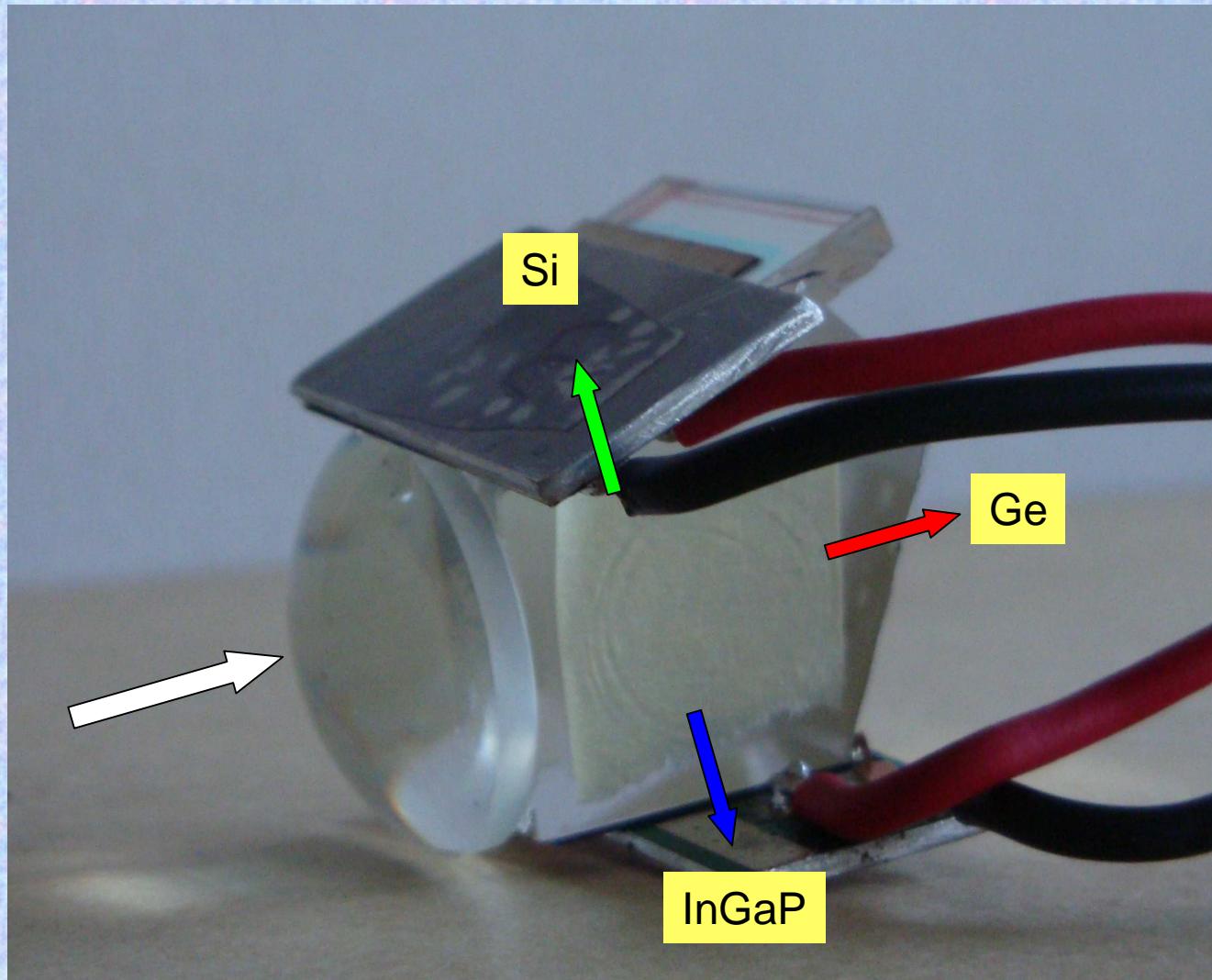
REALIZZAZIONE PRATICA DEL “PENTAPRISMA DICROICO”



Pentaprism fused Edmund PO: 046047 (con lente piano-convessa; $f=20\text{mm}$)

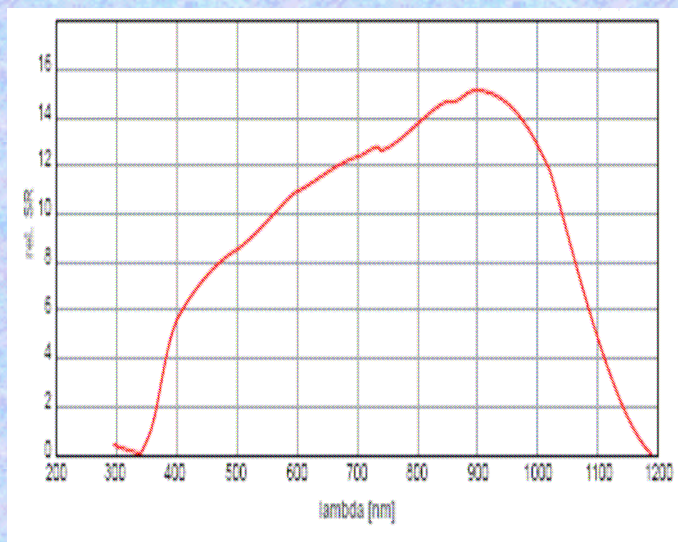


REALIZZAZIONE PRATICA DEL “PENTAPRISMA DICROICO FOTOVOLTAICO”

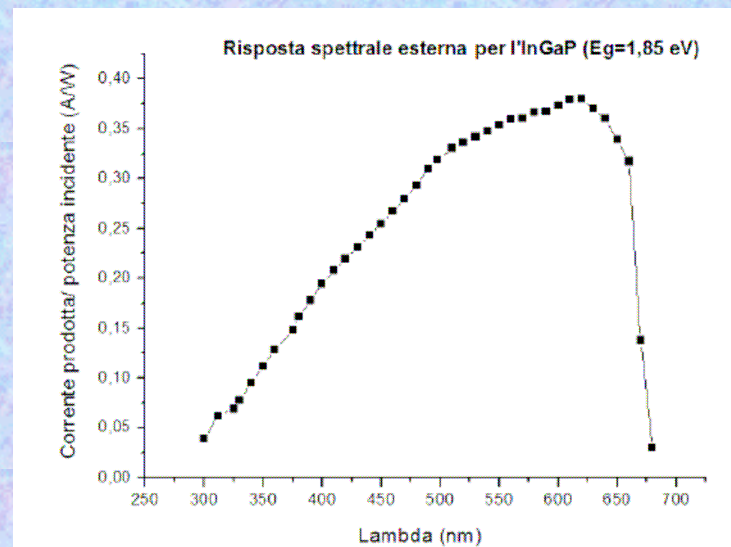


Cella solare al Germanio assente
101° Congresso SIF, Roma 21-25 Settembre 2015

CARATTERIZZAZIONE ELETTRICA DELLE SINGOLE CELLE SOLARI

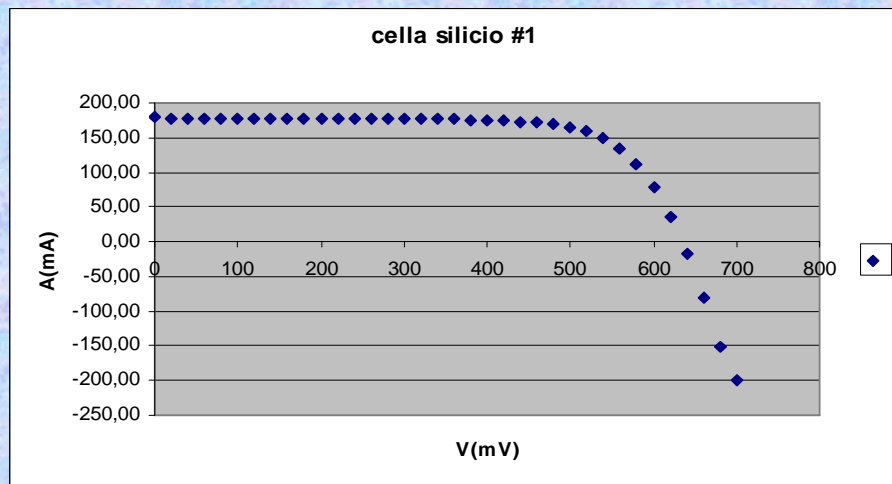


Si



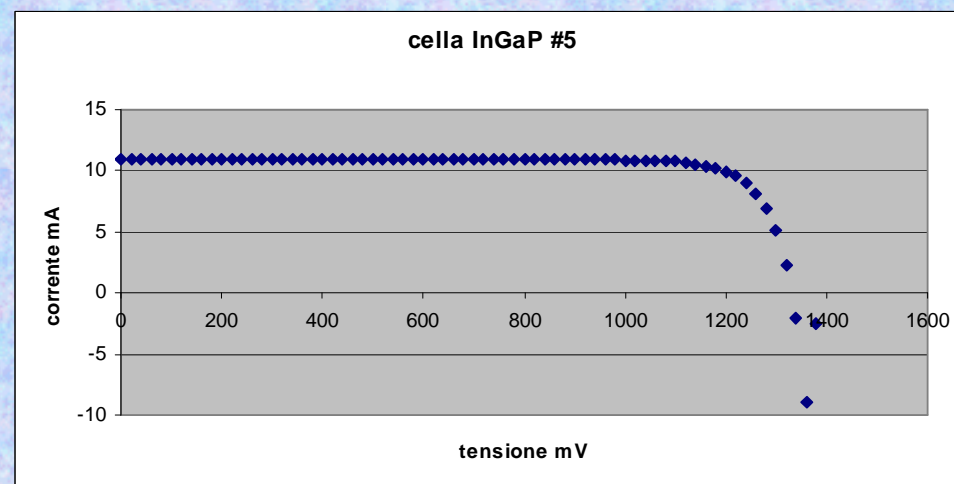
Risposta spettrale

InGaP



Si

Curva I-V alla luce

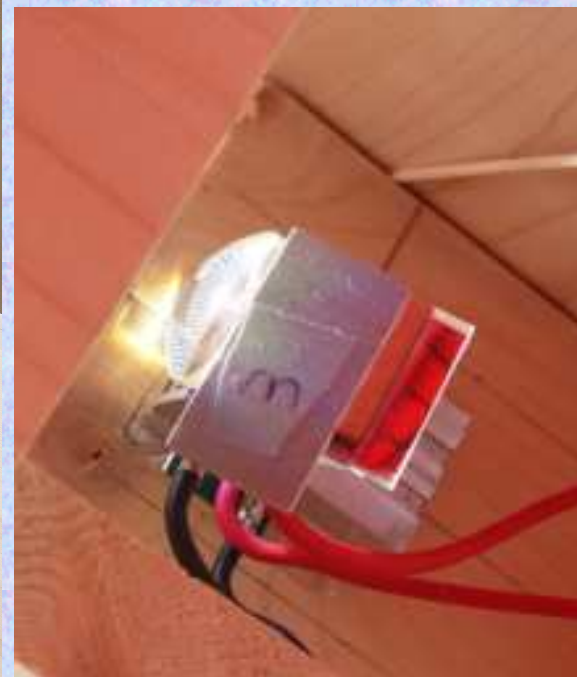
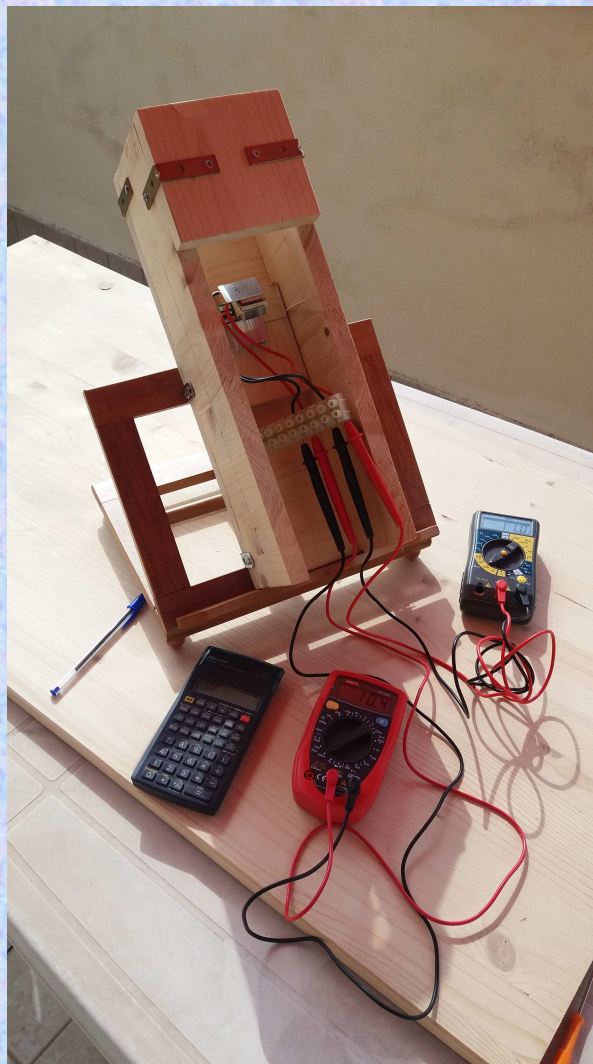
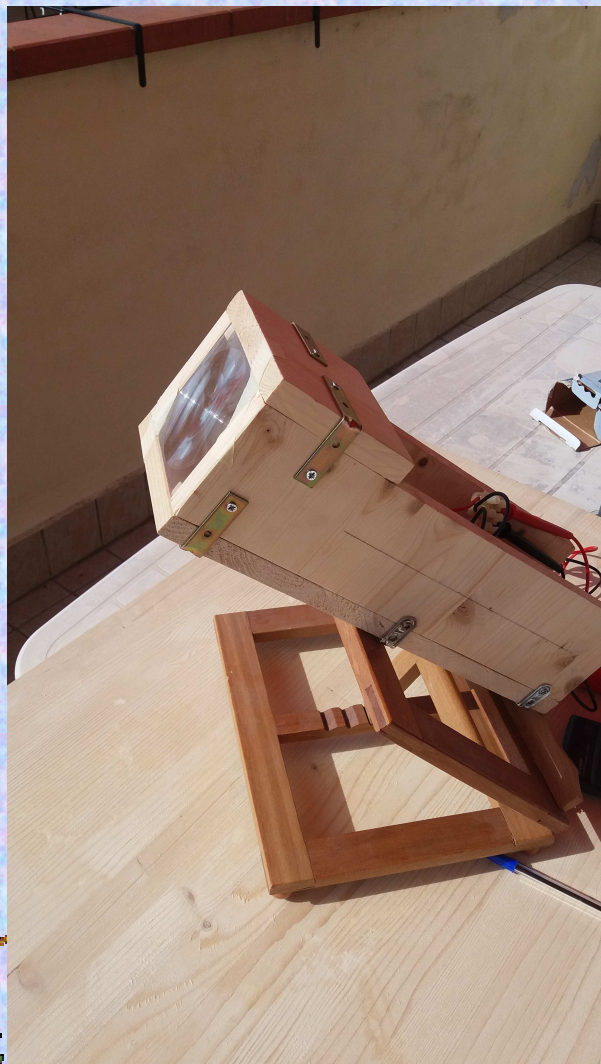


InGaP

16



PROTOTIPO DI CONCENTRATORE SOLARE CON “PENTAPRISMA DICROICO FOTOVOLTAICO”



CELLE SOLARI E CALCOLO DELLA EFFICIENZA DEL SISTEMA

Cella solare **Ge**
($\eta=3\%$)

Cella solare **Si**
($\eta=13.5\%$)

Cella solare **InGaP**
($\eta=11.6\%$)

Efficienza per C = 1X con filtri diecrici:

($\lambda > 1050\text{nm}$)
 $\eta \sim 3\%$

($\lambda = 675 \div 1050\text{nm}$)
 $\eta \sim 14.9\%$

($\lambda = 400 \div 675\text{nm}$)
 $\eta \sim 15.5\%$

Efficienza per C = 18X con filtri diecrici:

($\lambda > 1050\text{nm}$)
 $\eta \sim 3.5\%$ (20x)

($\lambda = 675 \div 1050\text{nm}$)
 $\eta \sim 18.4\%$

($\lambda = 400 \div 675\text{nm}$)
 $\eta \sim 17.4\%$

Spittamento
spettrale

$$\eta_{sistema} = \eta_{Ge} \frac{P_{in}^{Ge}}{P_{tot}} + \eta_{Si} \frac{P_{in}^{Si}}{P_{tot}} + \eta_{InGaP} \frac{P_{in}^{InGaP}}{P_{tot}}$$

C = 1X:

$\eta_{sistema} \sim 24.4\%$

+
Concentrazione

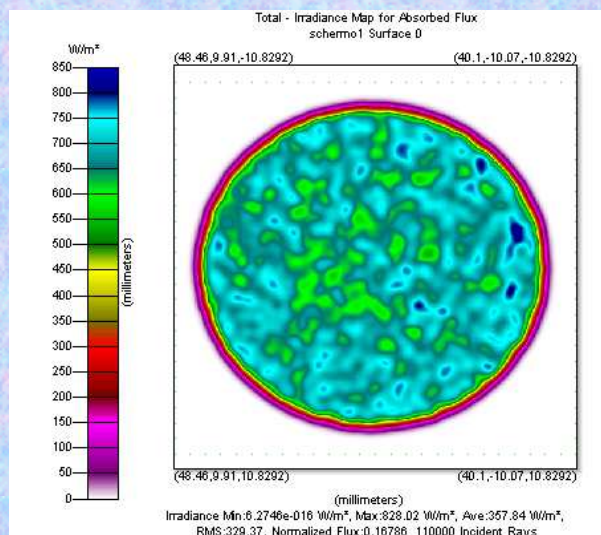
C = 18X:

$\eta_{sistema} \sim 28.7\%$

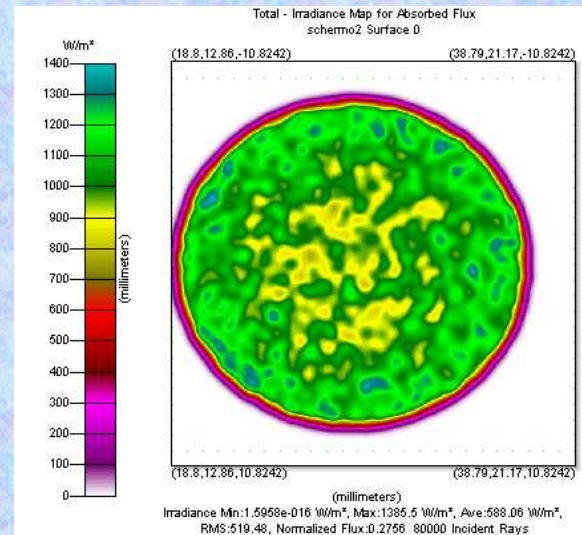


MIGLIORAMENTI AL PROGETTO

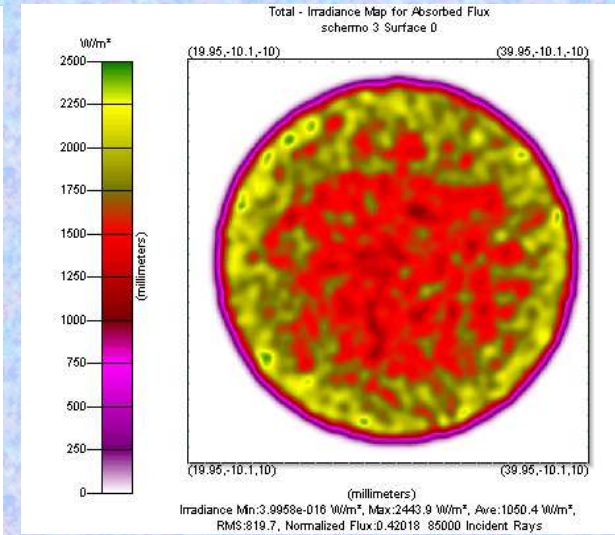
- 1) Aumento del fattore di concentrazione: almeno 50x.
- 2) Uso di un concentratore a specchio anziché a lente, e di una lente asferica sul pentaprisma, quindi maggiore efficienza ottica e assenza di aberrazioni cromatiche, ovvero flussi più omogenei sulle celle:



1a cella



2a cella



3a cella

- 3) Impiego di celle a più alta efficienza (Si: 15%).

Efficienza minima prevista con questi miglioramenti: ~ 33%.



CONCLUSIONI

- Il pentaprisma dicroico fotovoltaico (PDF) (Patent Pending) è una nuova soluzione di ricevitore per sistemi a concentrazione con splittamento spettrale.
- Un prototipo di PDF è stato realizzato in laboratorio partendo da semplici componenti ottici.
- Le simulazioni ottiche e le misure sperimentali sul prototipo hanno mostrato un' efficienza di conversione prossima al 30% a medie concentrazioni, che può essere migliorata riducendo le perdite ottiche del concentratore e aumentando la concentrazione.
- Il pentaprisma riduce al minimo le perdite ottiche alle interfacce sui filtri dicroici, comportandosi come una trappola per la luce e quindi rendendo ottimale l'efficienza ottica complessiva del ricevitore.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Unifestival. Dal 25 al 27 settembre l'Università di Ferrara scende in piazza



Riferimento:

F. Forastieri: "Progetto ottico di un pentaprisma dicroico per lo splittamento spettrale di luce bianca applicabile a sistemi fotovoltaici a concentrazione".

Tesi di Laurea in Fisica, A.A. 2010-11, Università di Ferrara.