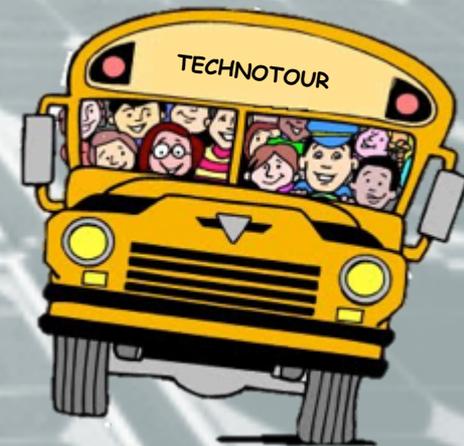


PROGETTO LAUREE SCIENTIFICHE

# TECHNOTOUR

LE TECNOLOGIE PER UNO  
SFRUTTAMENTO EFFICIENTE  
DELL'ENERGIA SOLARE



Prof. Carlo Meneghini  
Dr.ssa Micol Casadei  
Dr.ssa Francesca Paolucci

**Migliorare l'efficienza e ridurre i costi: oltre il Silicio**



## Efficienza di conversione, Rendimento

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$$

- POTENZA ELETTRICA PRODOTTA
- POTENZA ASSORBITA

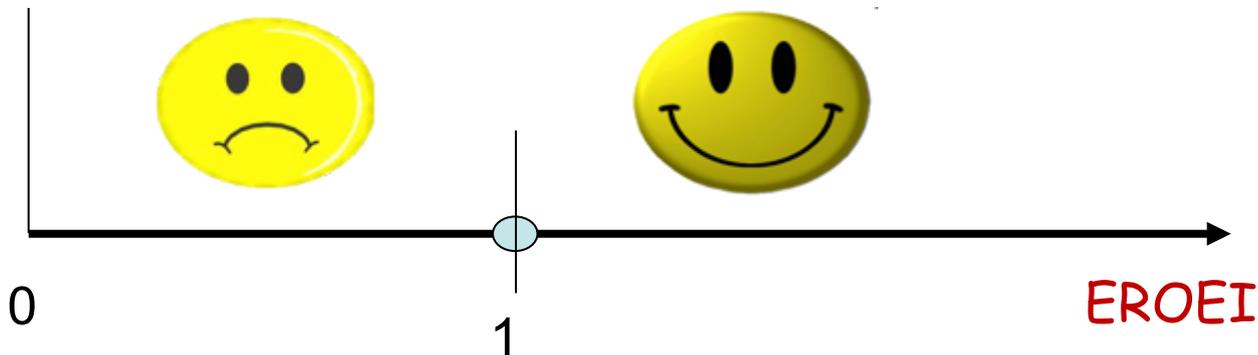
$P_{OUT}$  = Watt

$P_{IN}$  =  $C_s$  x Sup. Pannello

Potenza elettrica x vita del pannello

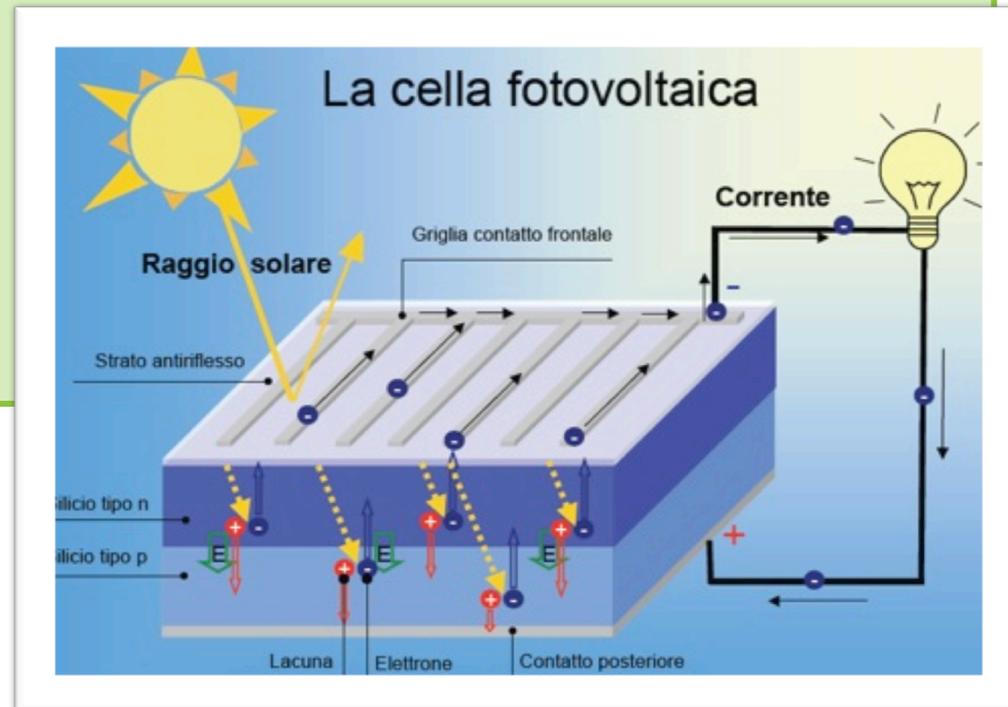
$$\text{EROEI} = \frac{\text{Energia Utilizzabile}}{\text{Energia Spesa}}$$

Produzione, Installazione, Manutenzione, Smaltimento pannelli  
Distribuzione, stoccaggio energia elettrica



# Aumentare l'energia prodotta e ridurre i costi

- 1) Aumentare la quantità di radiazione che viene assorbita dalla cella
- 2) Scegliere materiali che assorbano la radiazione in modo più efficiente
- 3) Aumentare la quantità di radiazione che giunge sulla cella
- 4) Ridurre le perdite di energia
- 5) Ridurre i costi:
  - a) meno materiale
  - b) materiali più economici
  - c) semplificare la produzione



# Aumentare la quantità di radiazione che viene assorbita all'interno della cella

$$I_{\text{ass}} = I_0 (1 - e^{-\mu t})$$

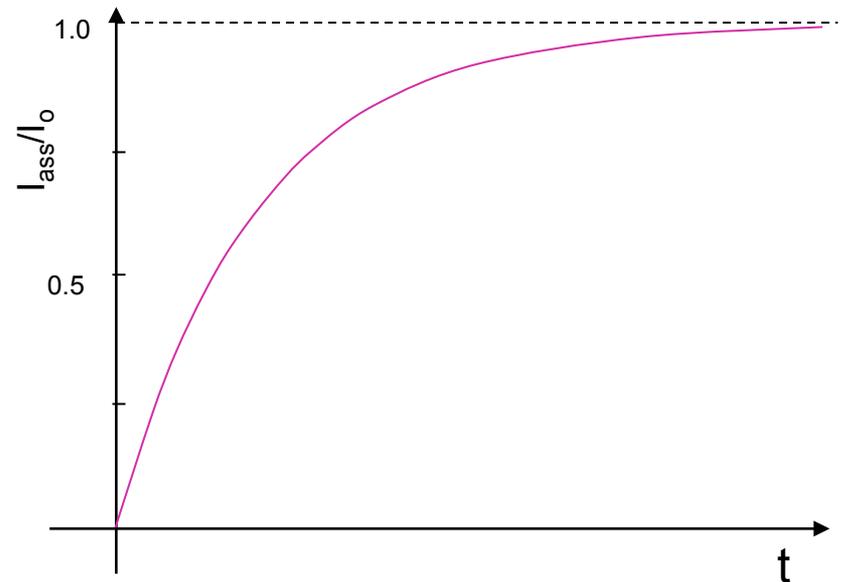
$I_0$  = intensità della radiazione incidente

$I_{\text{ass}}$  = intensità della radiazione assorbita

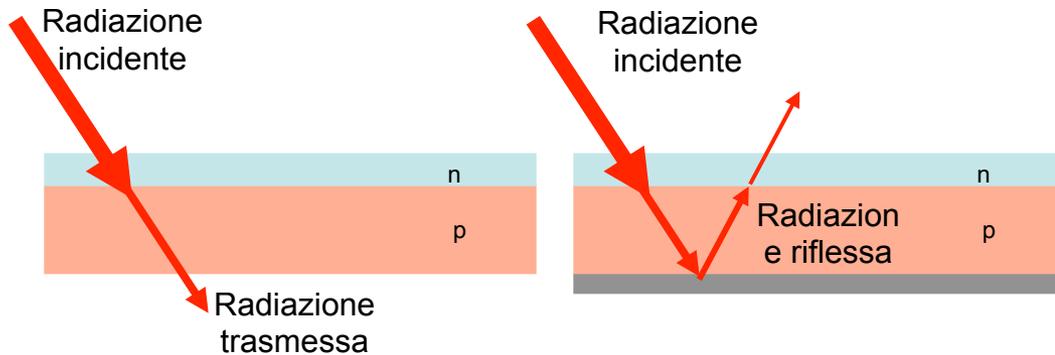
$\mu$  = coefficiente di assorbimento

$t$  = cammino della radiazione all'interno della cella (Cammino ottico)

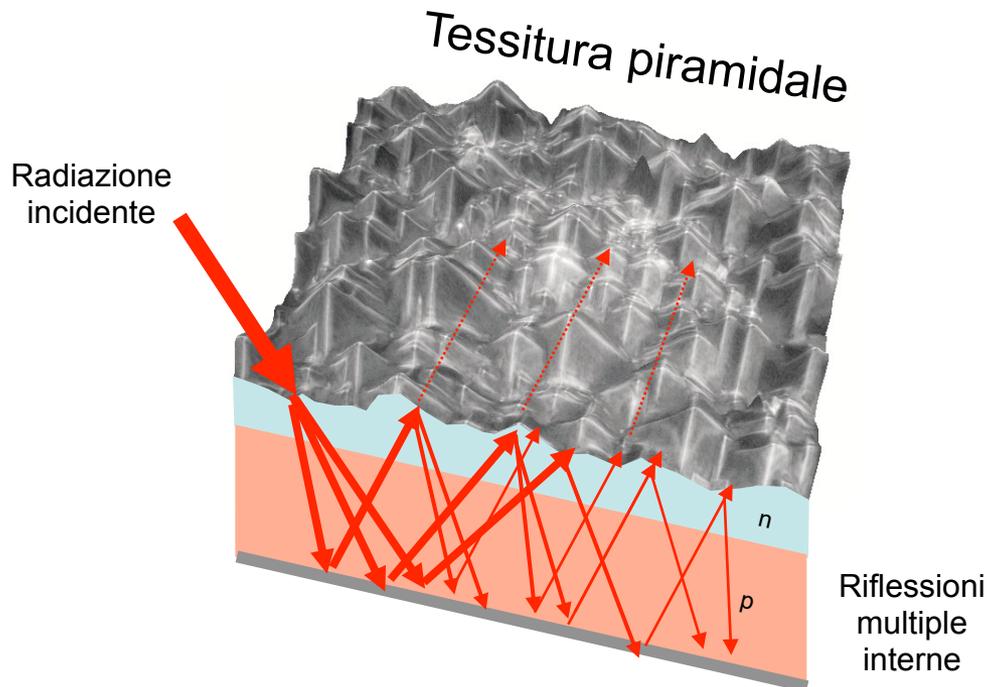
**Aumentare  $t$   
riflessioni multiple  
aumento della  
superficie assorbente**



# La tessitura delle superfici aumenta la quantità di radiazione che viene intrappolata nella cella per riflessioni multiple



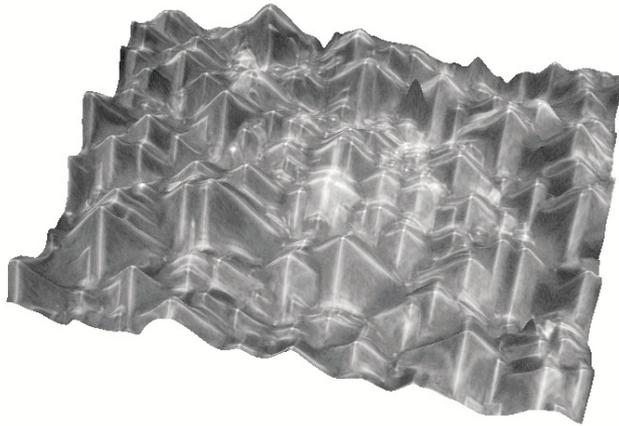
La riflessione su uno strato inferiore aumenta il cammino ( $t$ ) della radiazione nella cella e quindi aumenta l'intensità assorbita



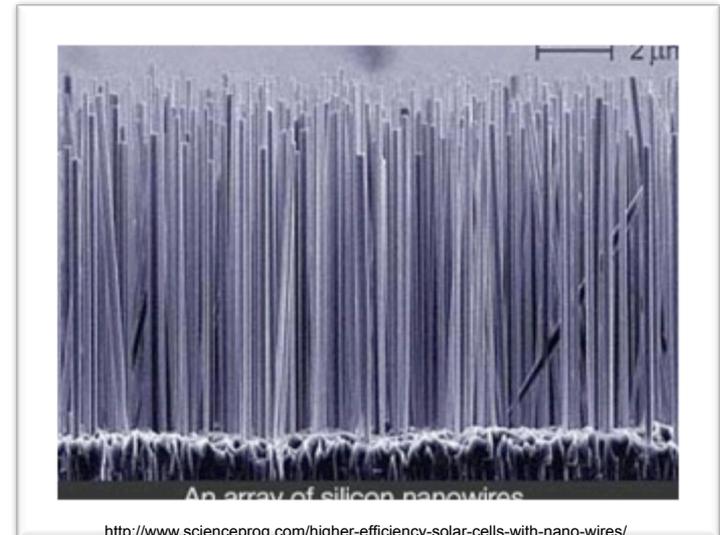
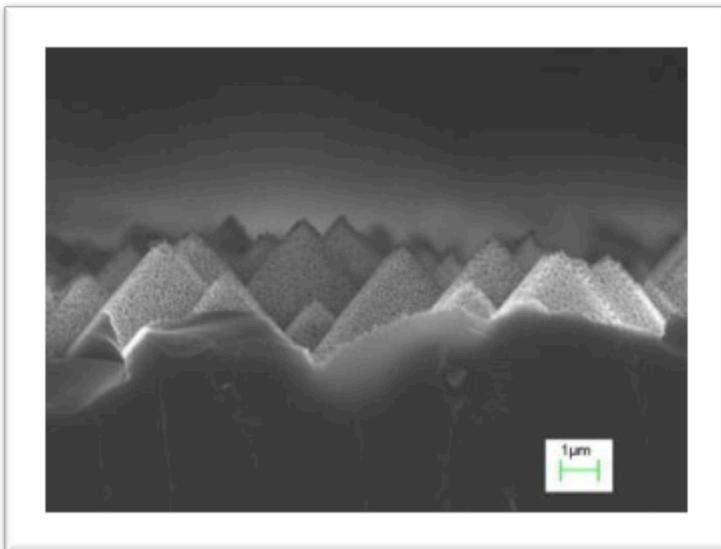
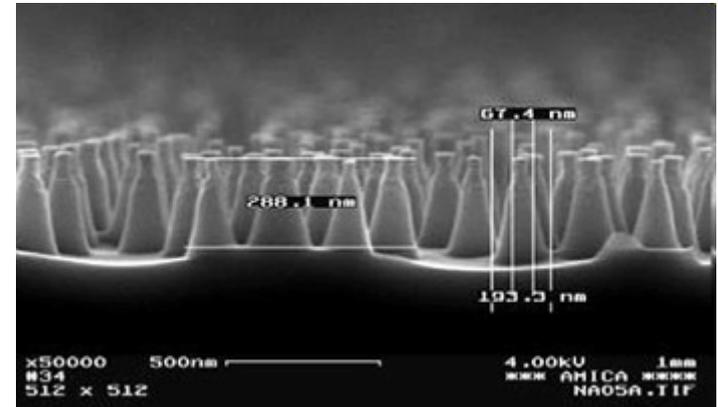
Aumenta il cammino della radiazione all'interno degli strati attivi della cella

# Esempi di tessitura e strutturazione delle superfici su scala nanometrica

## Tessitura piramidale

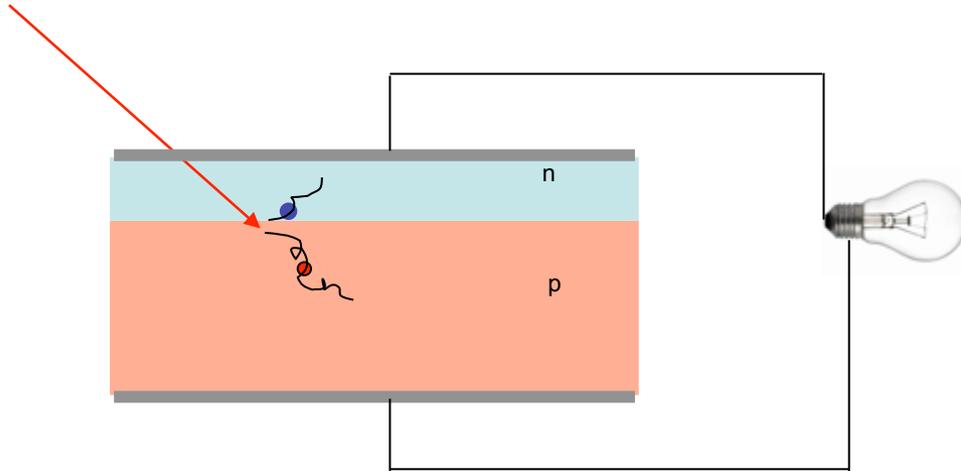


## Nano-cupole



<http://www.scienceprog.com/higher-efficiency-solar-cells-with-nano-wires/>

# La ricombinazione delle cariche riduce l'efficienza delle celle



**Lunghezza di ricombinazione  $L_R$ :  
distanza media percorsa dalle cariche prima di ricombinarsi**

L'effetto della ricombinazione riduce l'efficienza di una cella:  
La radiazione produce una coppia di cariche (+,-) che si muovono in direzioni opposte nella giunzione. Alcune di queste cariche non giungono sugli elettrodi ma perdono energia sotto forma di calore e vengono riassorbite (ricombinazione).

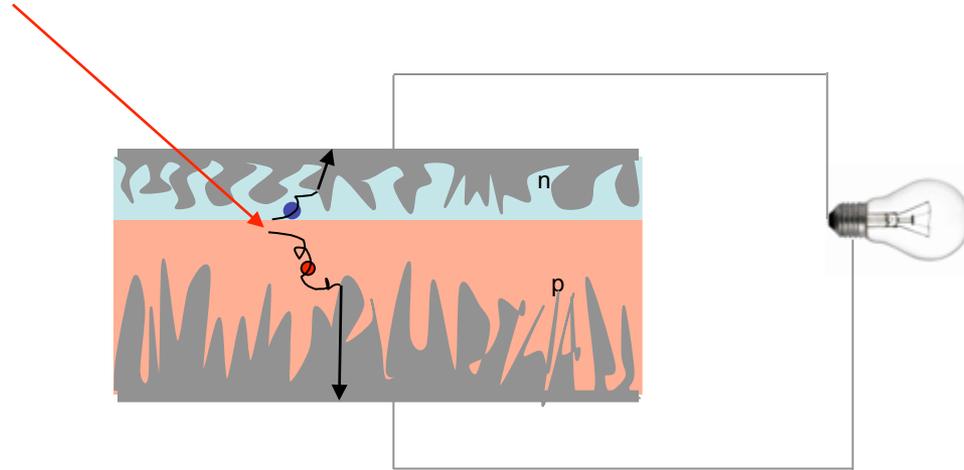
**$L_R$  decresce: all'aumentare della temperatura**

**$L_R$  decresce: in presenza di "difetti" strutturali**

**causando perdita di efficienza**

# Soluzione: ridurre lo spessore di materiale tra due elettrodi

## Nanostrutturazione delle giunzioni



### Vantaggi della nanostruttura:

- elevato rapporto superficie volume e quindi minore utilizzo di materiale
- proprietà particolari che non si ritrovano nei materiali massivi,
- proprietà di autoaggregazione
- Le nanostrutture sono deformabili.

**UNI-SOLAR**  
United Solar Ovonic

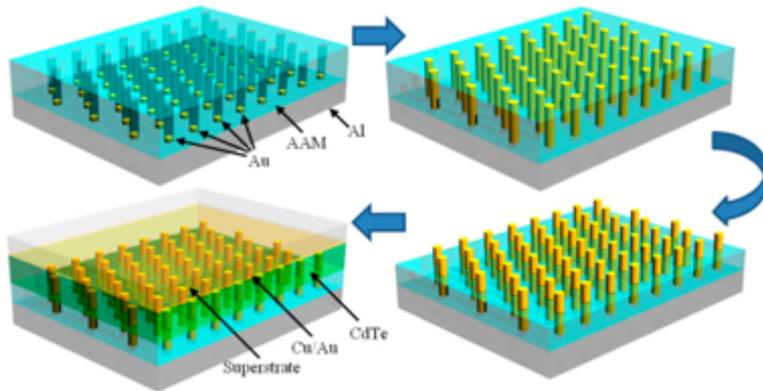


# Esempio di configurazioni nanostrutturate

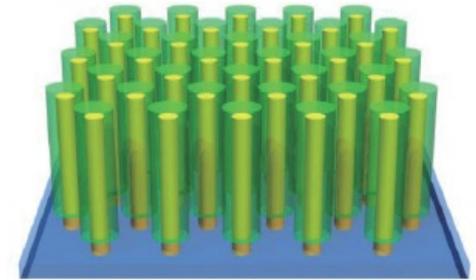
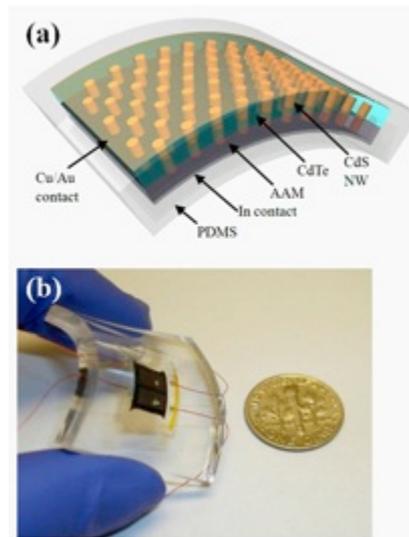
## Nano-piloni

Il materiale che ricopre i "piloni" assorbe la radiazione mentre le giunzioni nei "piloni" trasferiscono le cariche al circuito esterno.

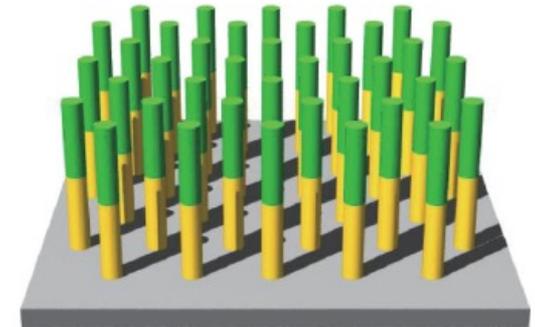
Le dimensioni dei "piloni" sono piccole rispetto alla lunghezza di ricombinazione e quindi migliorano l'efficienza.



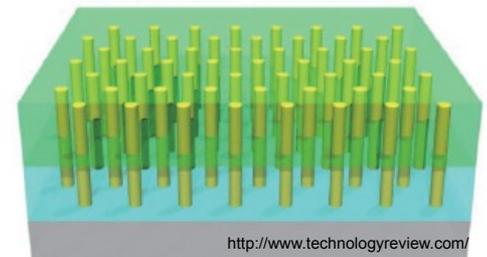
Ogni "bastoncino" è una nano-cella solare



giunzione radiale



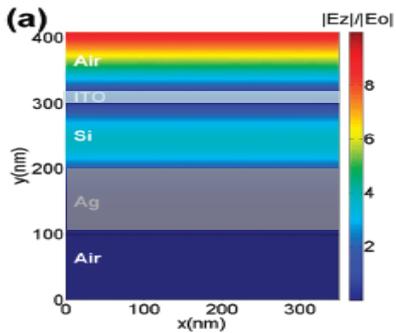
giunzione assiale



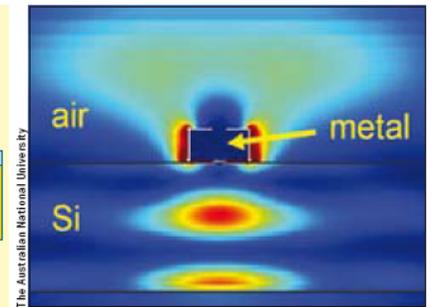
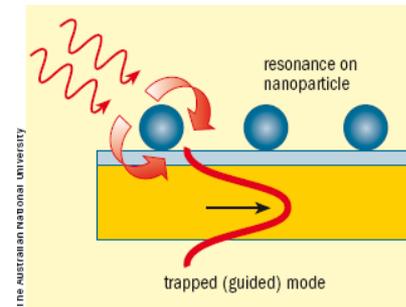
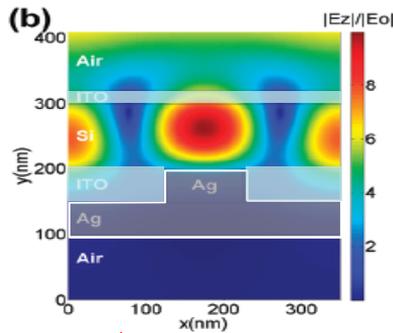
Immersione in matrici opportune

# Soluzione 2: Intrappoliamo la radiazione in spessori molto sottili mediante nano-antenne e risonatori

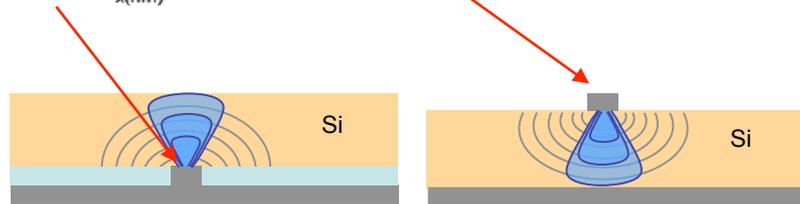
Cella normale



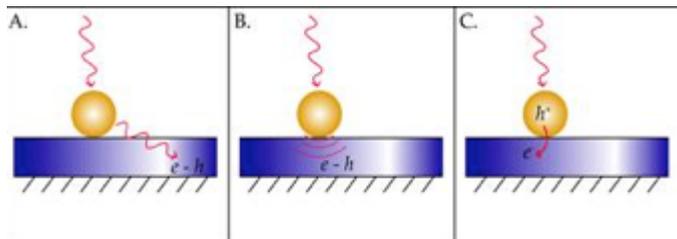
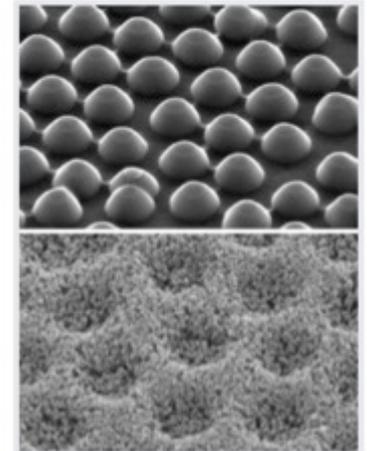
Nanostrutture risonanti



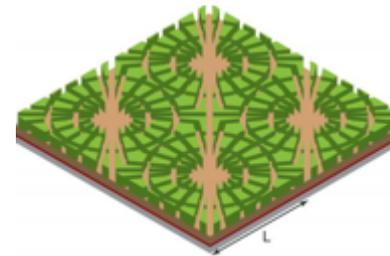
**NANO LETTERS**  
Broadband Light Absorption Enhancement in Thin-Film Silicon Solar Cells  
Wei Wang,<sup>1</sup> Shaomin Wu,<sup>1</sup> Kitt Reinhardt,<sup>1</sup> Yalin Lu,<sup>1,4</sup> and Shaochen Chen<sup>1,11</sup>



0.4  $\mu\text{m}$

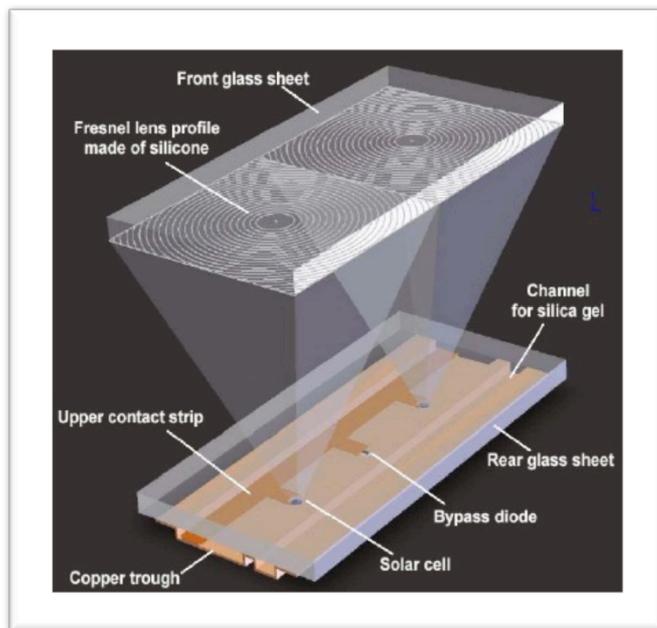


<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl8022548>



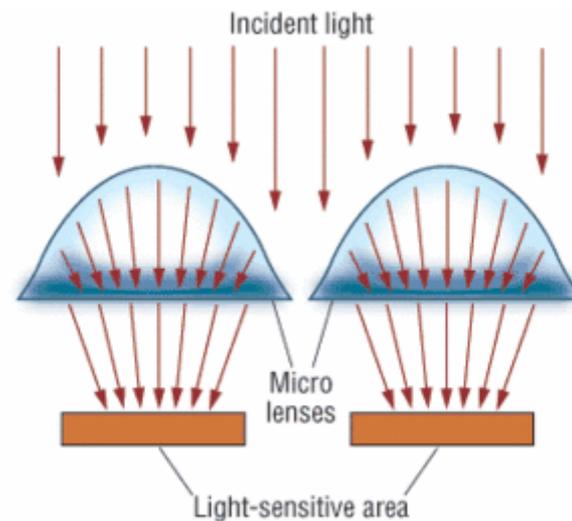
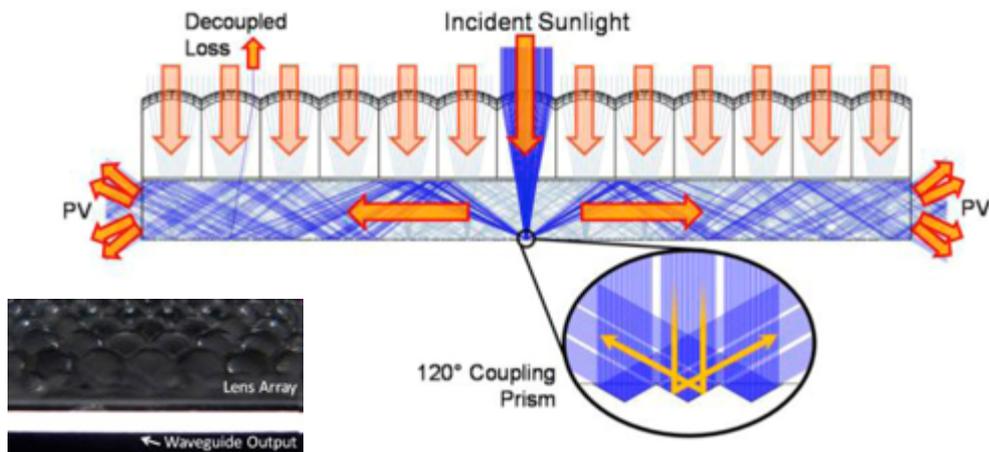
Scattering layer  $\epsilon=12.5$  Active layer  $\epsilon=2.5$   
Cladding layer  $\epsilon=12.5$  Mirror

Idea: una cella solare costa tanto, ma lenti e specchi costano poco e possono essere usati per concentrare la radiazione su piccole celle.

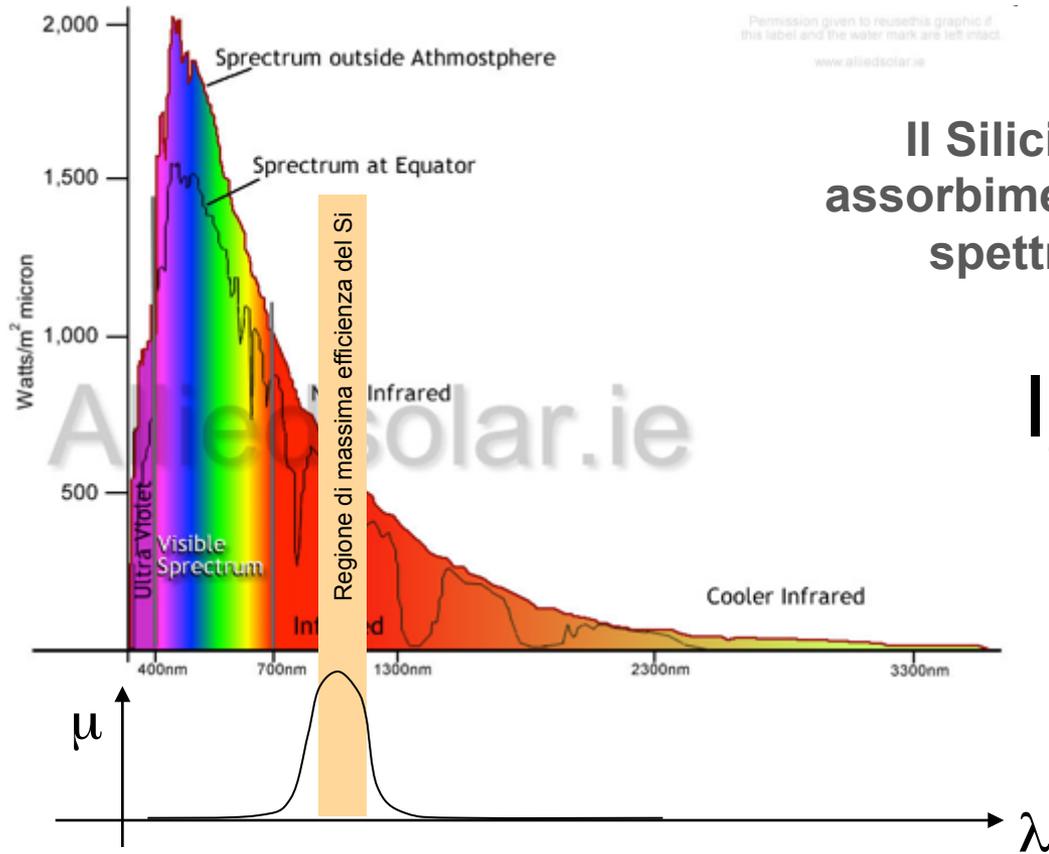


## Problemi da considerare:

- 1) riscaldamento della cella
- 2) necessità di orientare i moduli
- 3) Lavorazione di specchi e lenti



# Celle multigiunzione



Il Silicio ha una elevata efficienza di assorbimento in una regione ristretta dello spettro solare, intorno a  $\lambda=1.1 \mu\text{m}$

$$I_{\text{ass}} = I_0 (1 - e^{-\mu t})$$

**Cerchiamo materiali che assorbano la radiazione alle altre lunghezze d'onda**

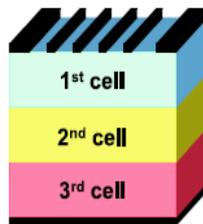
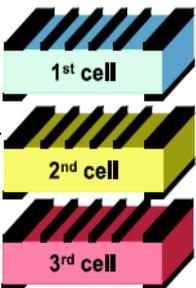
# Celle multigiunzione

Mechanically stacked multi-terminal



Monolithically integrated, two-terminal

Decreasing band gap

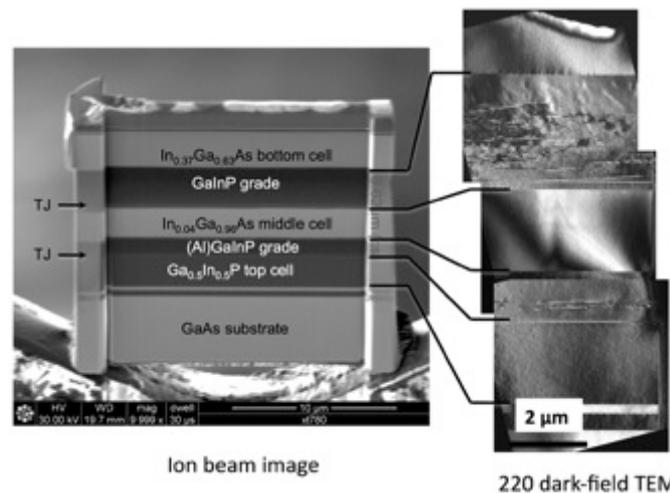
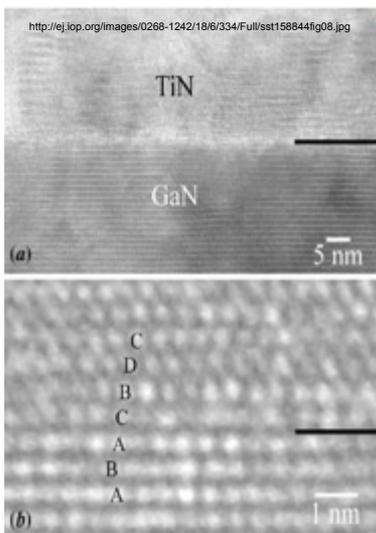
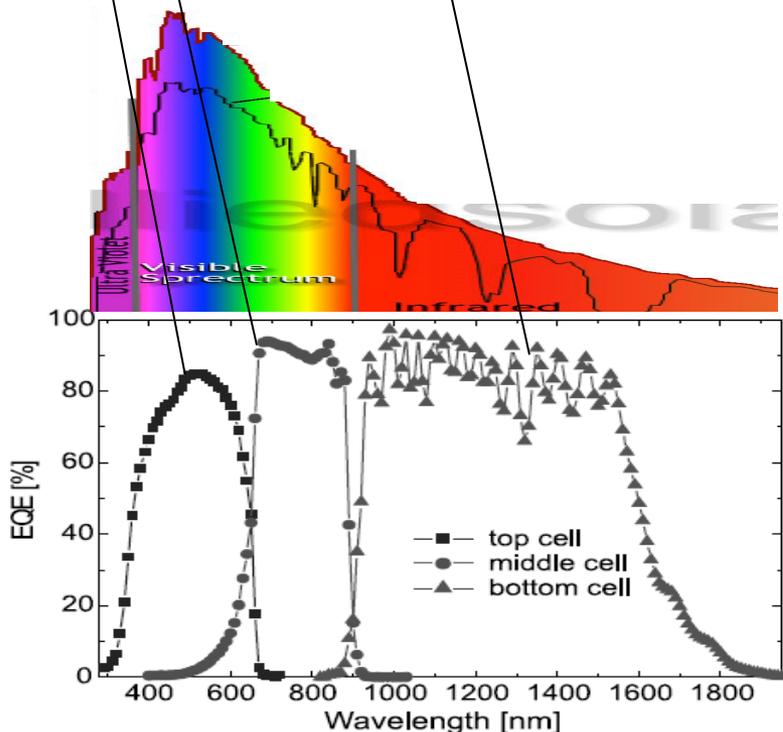


a

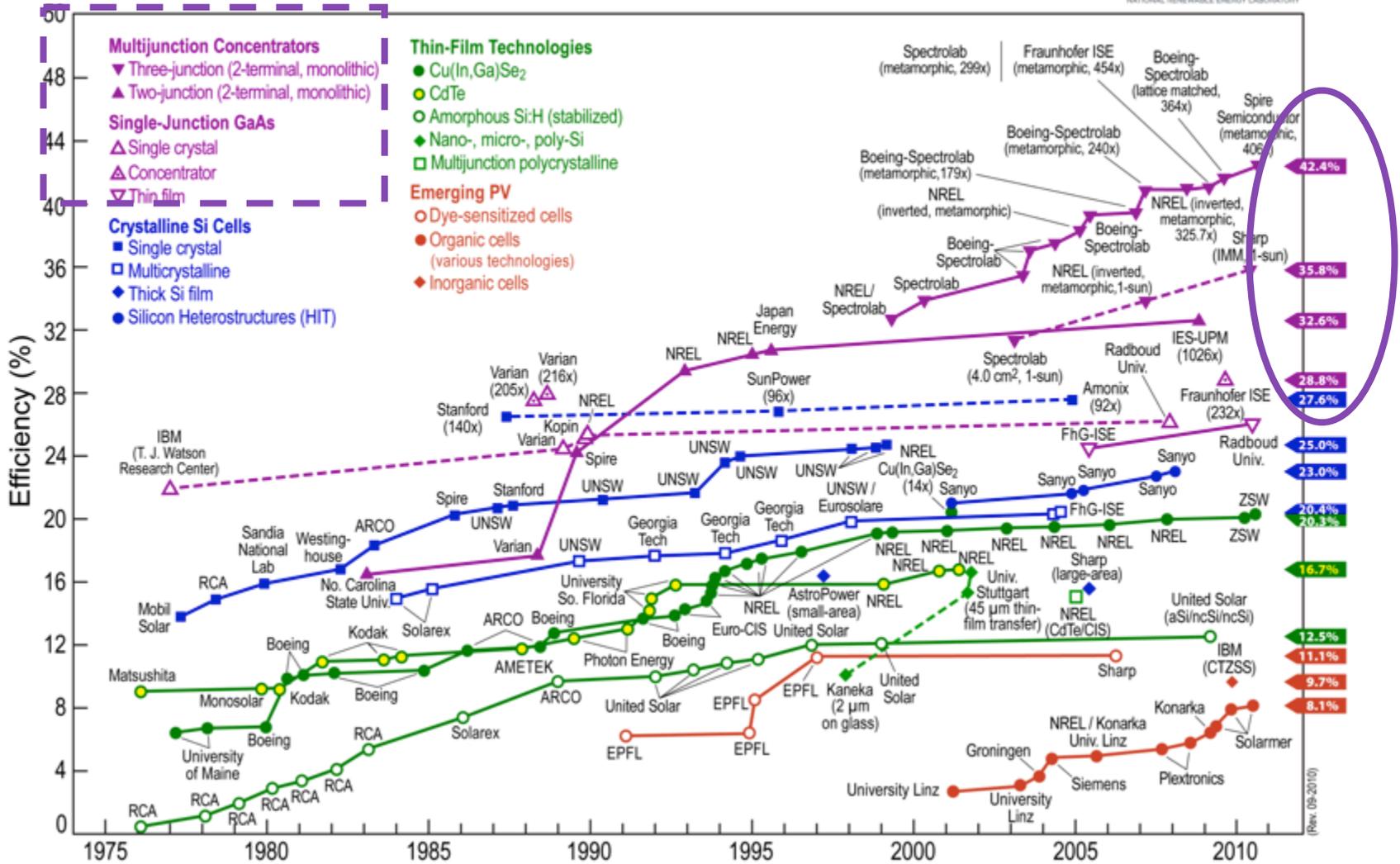
b

Diverse giunzioni sovrapposte, ognuno efficiente in una diversa regione dello spettro

La costruzione necessita di tecnologie d'avanguardia molto costose ma l'efficienza arriva al 40%



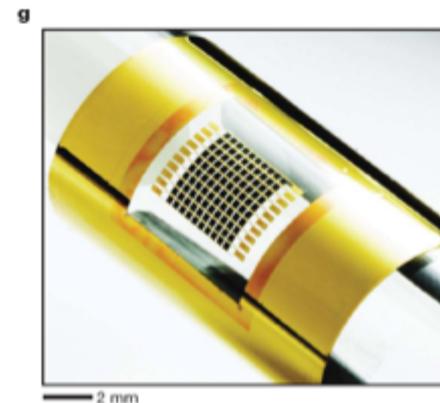
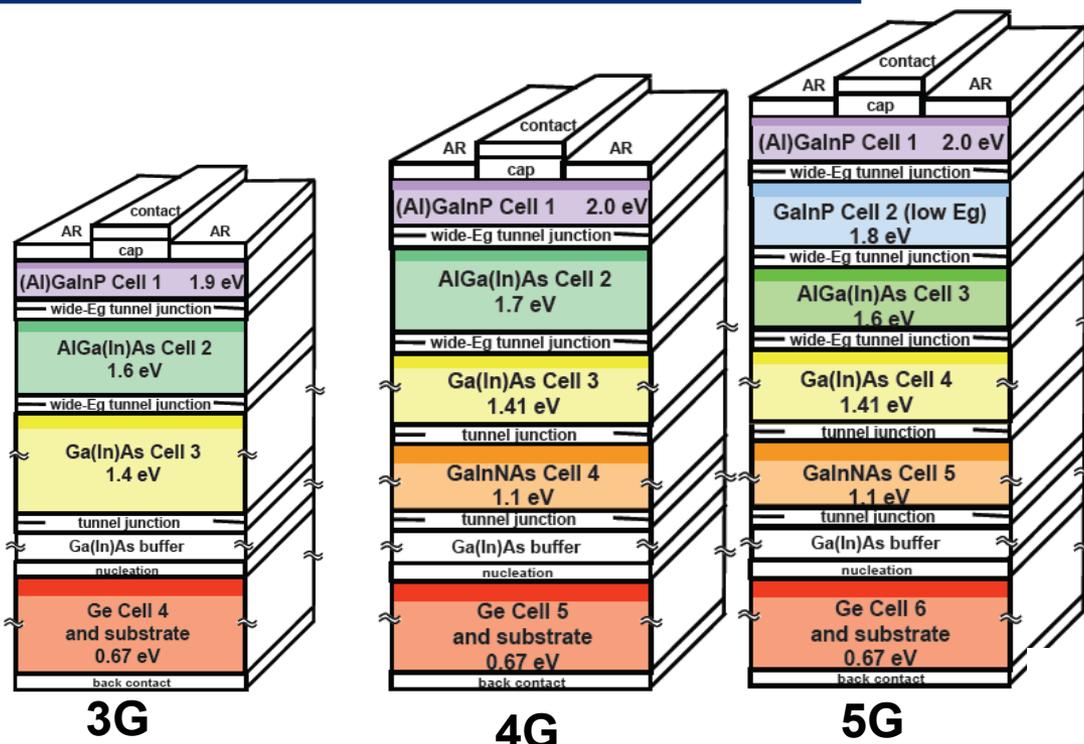
# Best Research-Cell Efficiencies



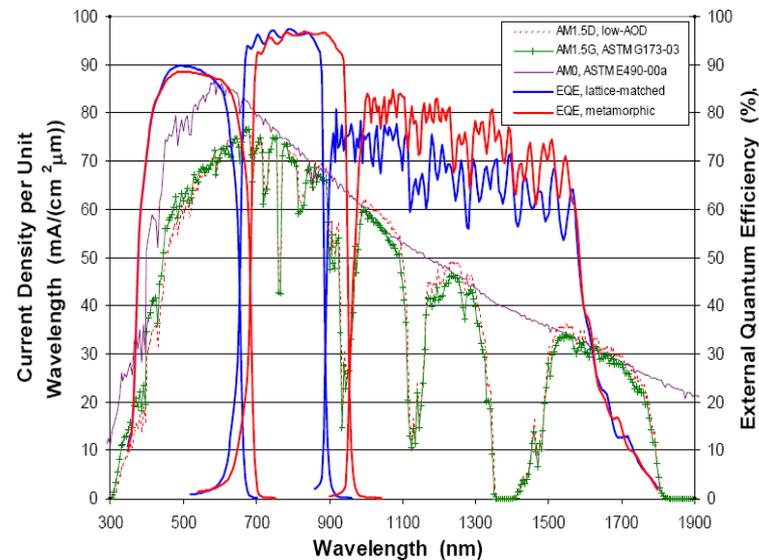
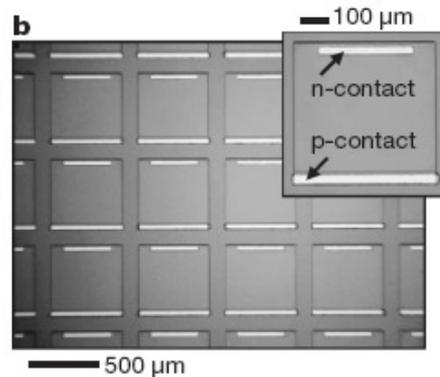
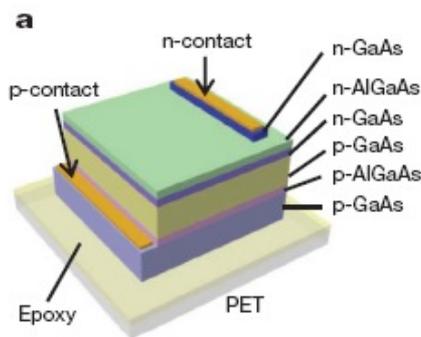
(Rev. 09-2010)

# Record di efficienza:

$\eta > 41\%$



Vol 465 | 20 May 2010 | doi:10.1038/nature09054



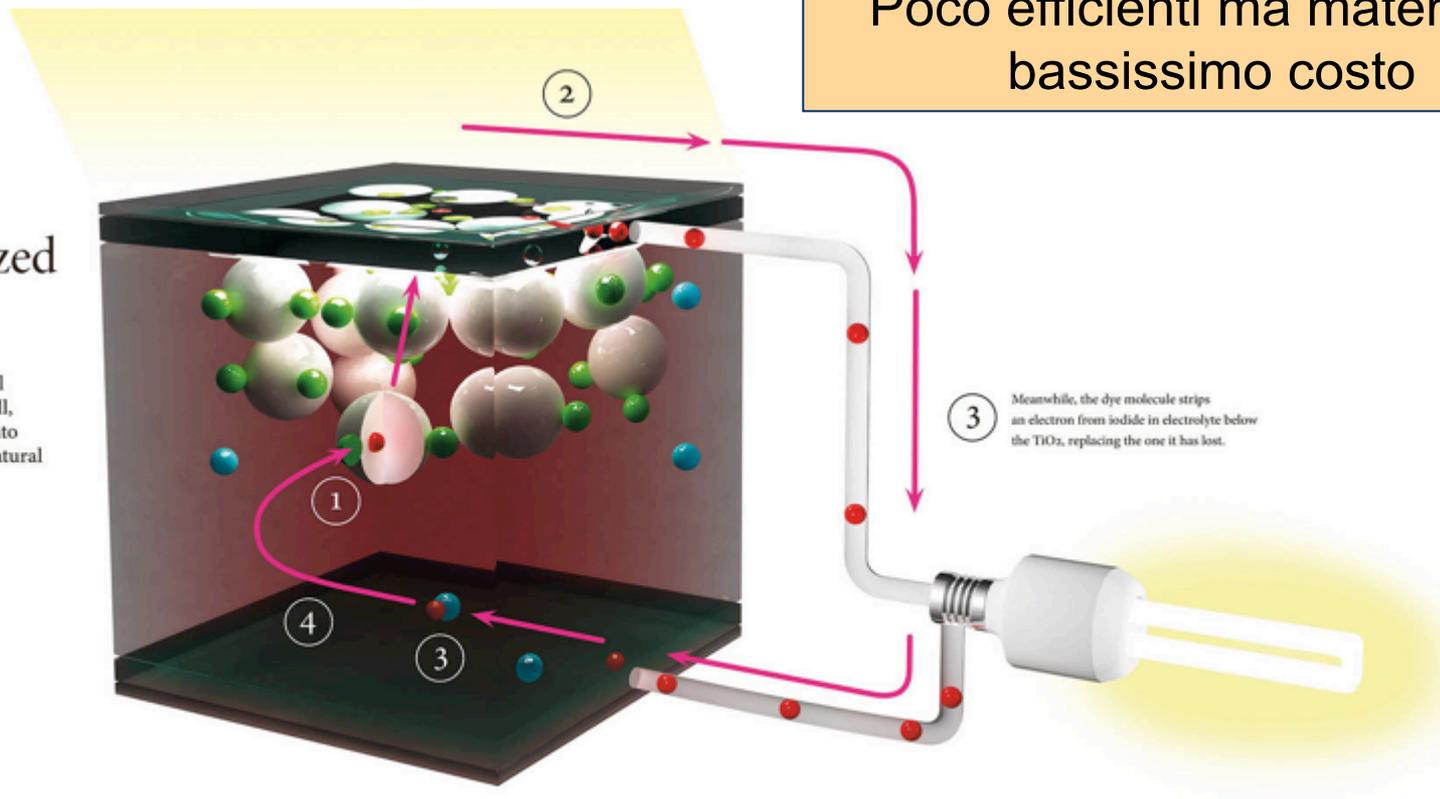
# Celle a Dye

## (Dye sensitized solar cells: DSC)

Poco efficienti ma materiali a bassissimo costo

### Dye sensitized solar cells

Third-generation solar cell technology, the Grätzel cell, converts solar radiation into electricity imitating the natural photosynthesis.

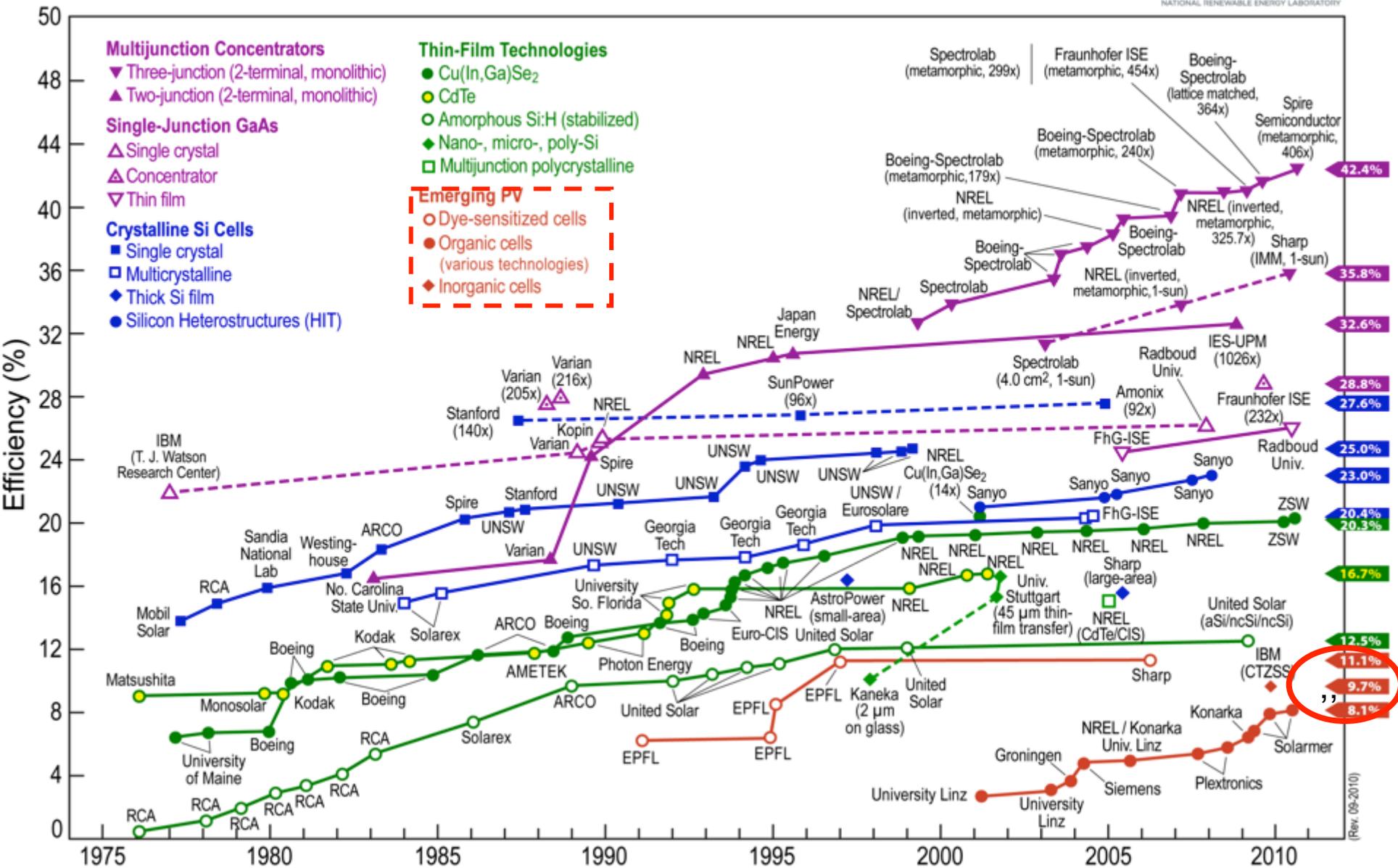


1 Sunlight entering the cell strikes the dye molecules on the surface of the titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>). Energy to be absorbed creates an excited state of the dye, from which an electron is injected into the TiO<sub>2</sub> particles.

2 The released electrons move by diffusion to the anode on top and transfer to an external circuit.

4 The iodide recovers its missing electron by mechanically diffusing to the bottom of the cell, where the counter electrode re-introduces the electrons after flowing through the external circuit.

# Best Research-Cell Efficiencies



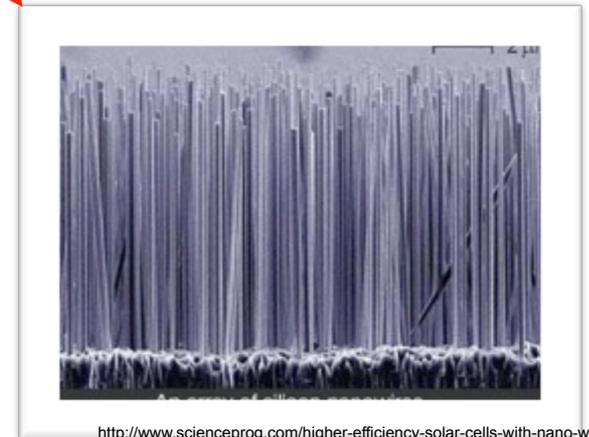
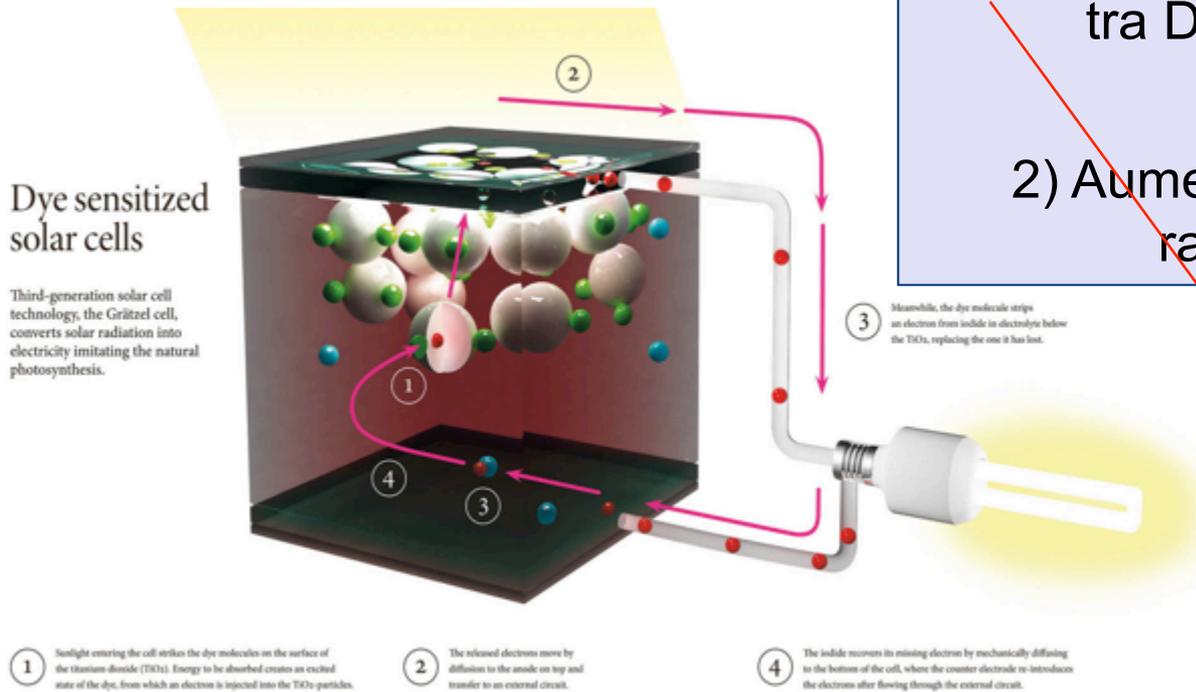
(Rev. 09-2010)

# Celle a Dye

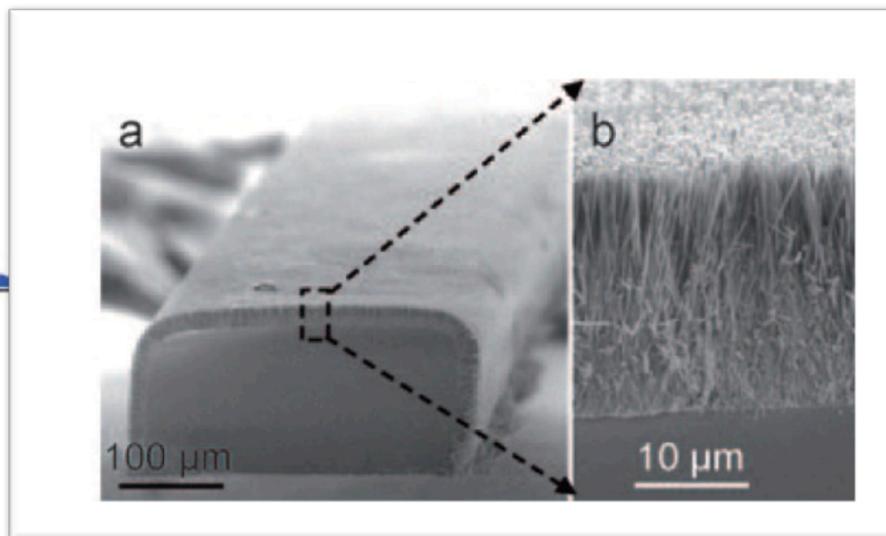
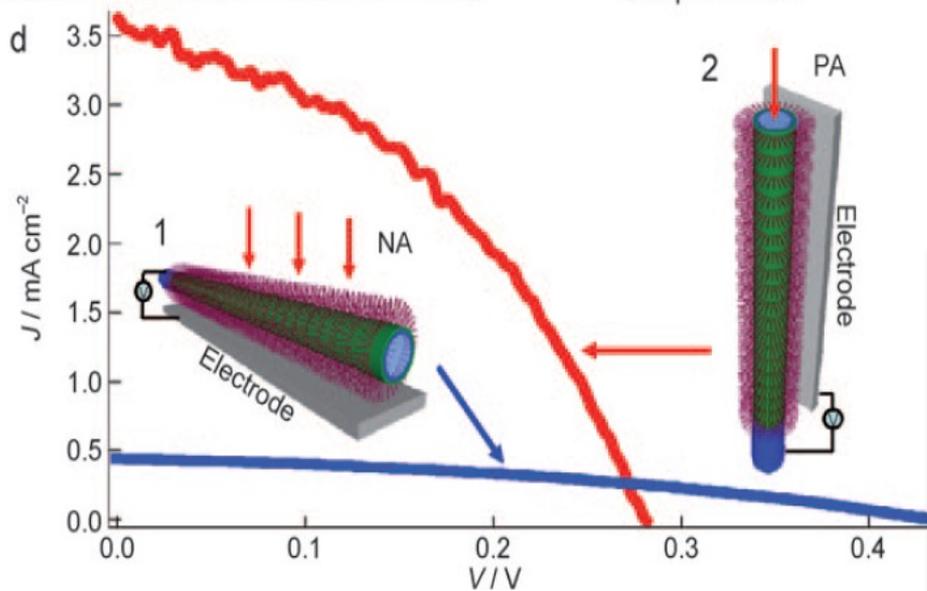
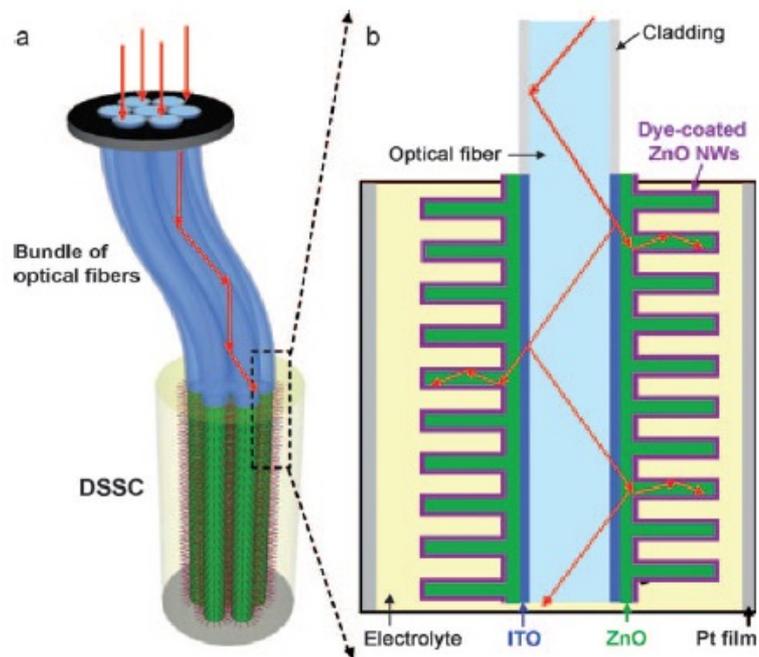
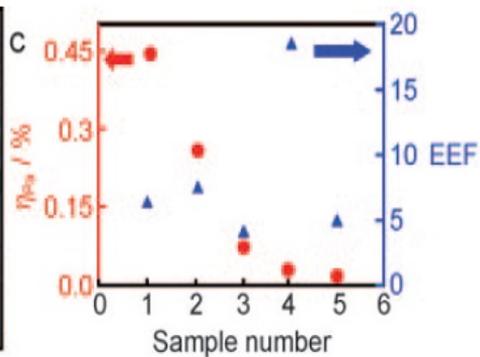
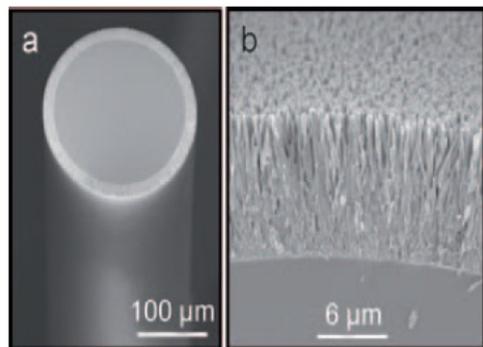
## (Dye sensitized solar cells: DSC)

Per migliorare l'efficienza

- 1) aumentare la superficie di contatto tra Dye ed elettrodo  $\text{TiO}_2$  nanostrutturato
- 2) Aumentare l'assorbimento di radiazione nel Dye



<http://www.scienceprog.com/higher-efficiency-solar-cells-with-nano-wires/>

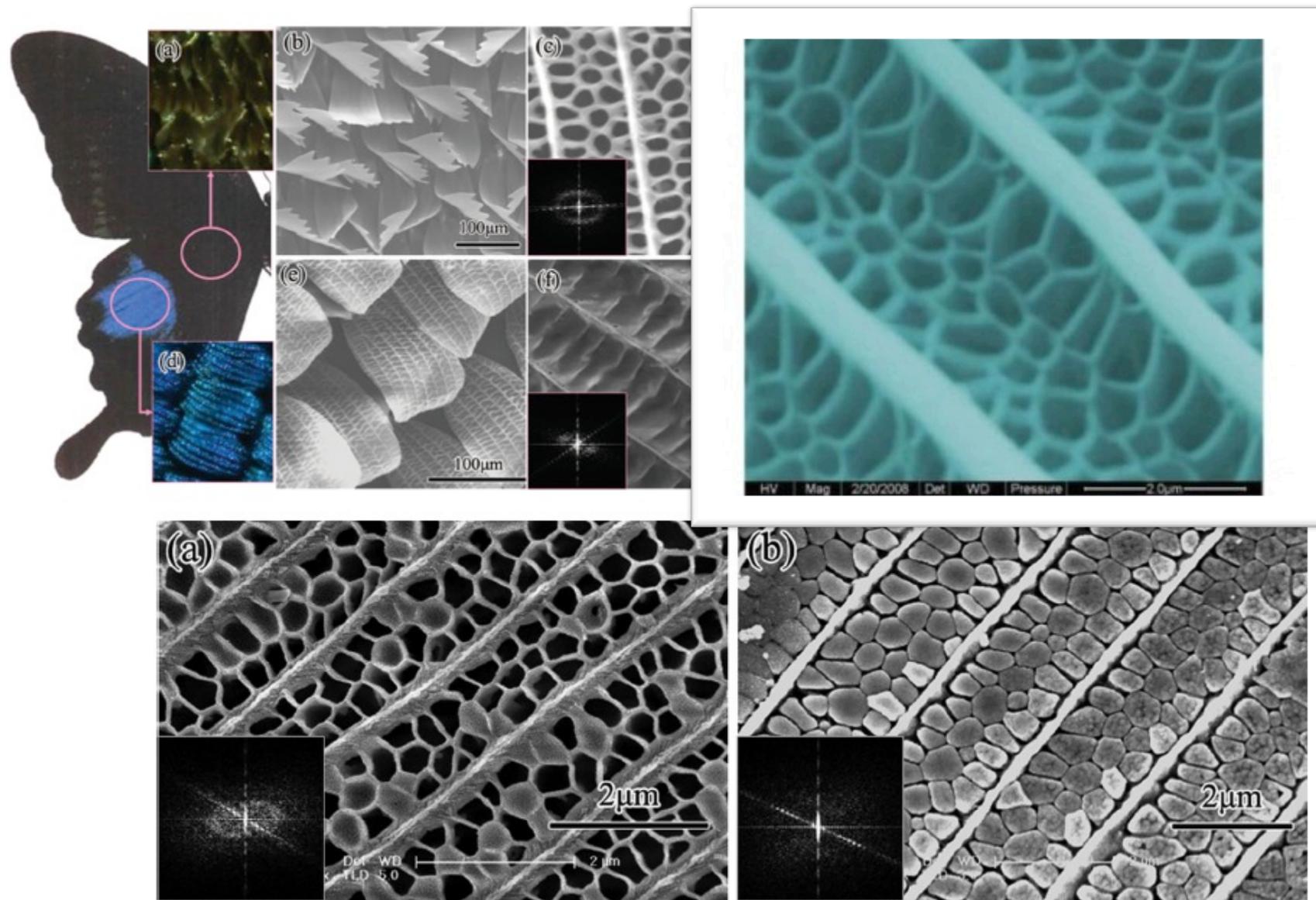


DOI: 10.1002/anie.200904492

Optical Fiber/Nanowire Hybrid Structures for Efficient Three-Dimensional Dye-Sensitized Solar Cells\*\*

Benjamin Weintraub, Yaguang Wei, and Zhong Lin Wang\*

# La nanostrutturazione degli elettrodi di $\text{TiO}_2$ contribuisce a migliorare l'efficienza di celle solari a Dye



FINE



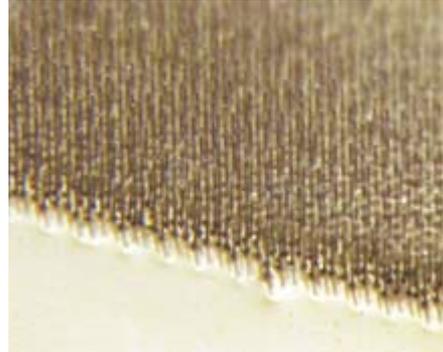
## Nanofili e nano"piloni"

**Light trap:** Very little light can escape from this flexible array of silicon microwires embedded in a rubbery substrate.

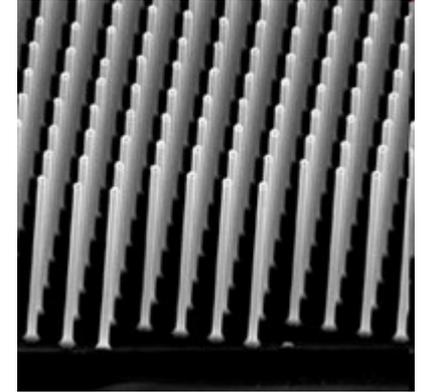
A new photovoltaic material performs as well as the one found in today's best solar cells, but promises to be significantly cheaper. The material, created by researchers at Caltech, consists of a flexible array of light-absorbing silicon microwires and light-reflecting metal nanoparticles embedded in a polymer.

Sono materiali pieghevoli ma con le proprietà dei waffer di silicio!

<http://www.technologyreview.com/energy/24665/?mod=related>



This silicon microwire solar cell array grown with a copper catalyst is roughly twice as efficient as prior nanowire cells grown with a gold catalyst.



<http://www.technologyreview.com/energy/24329/?mod=related>

## Celle solari "Avvolte" su fibro ottiche

