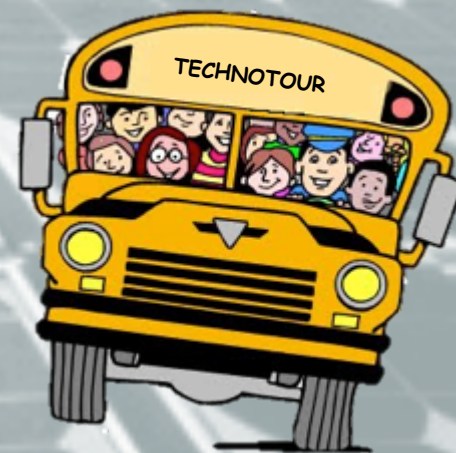


PROGETTO LAUREE SCIENTIFICHE

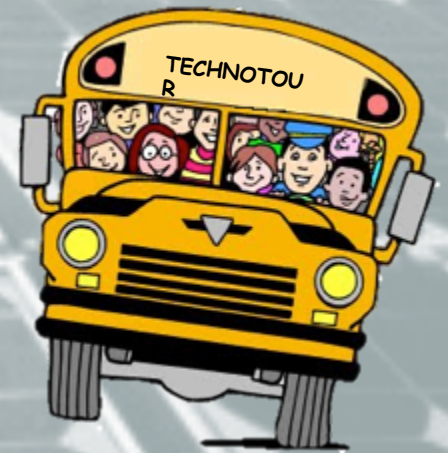
TECHNOTOUR

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

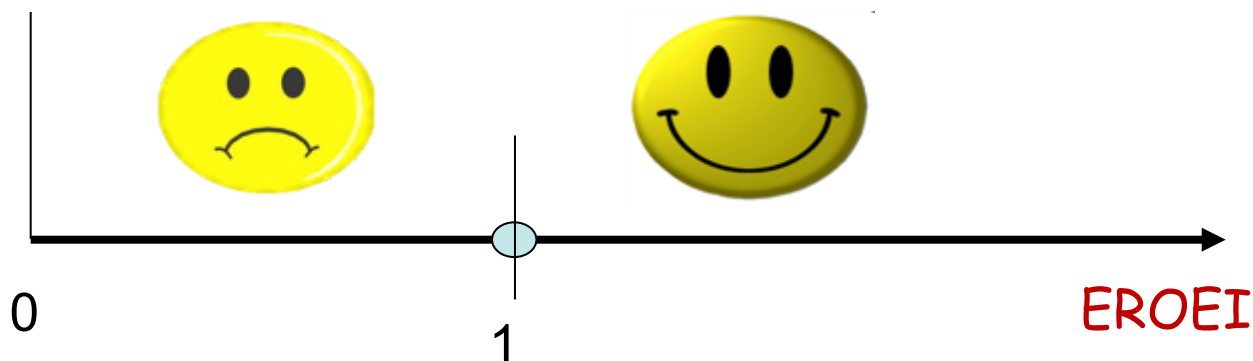
P_{OUT} = Watt

P_{IN} = $C_s \times \text{Sup. Pannello}$

Potenza elettrica x vita del pannello

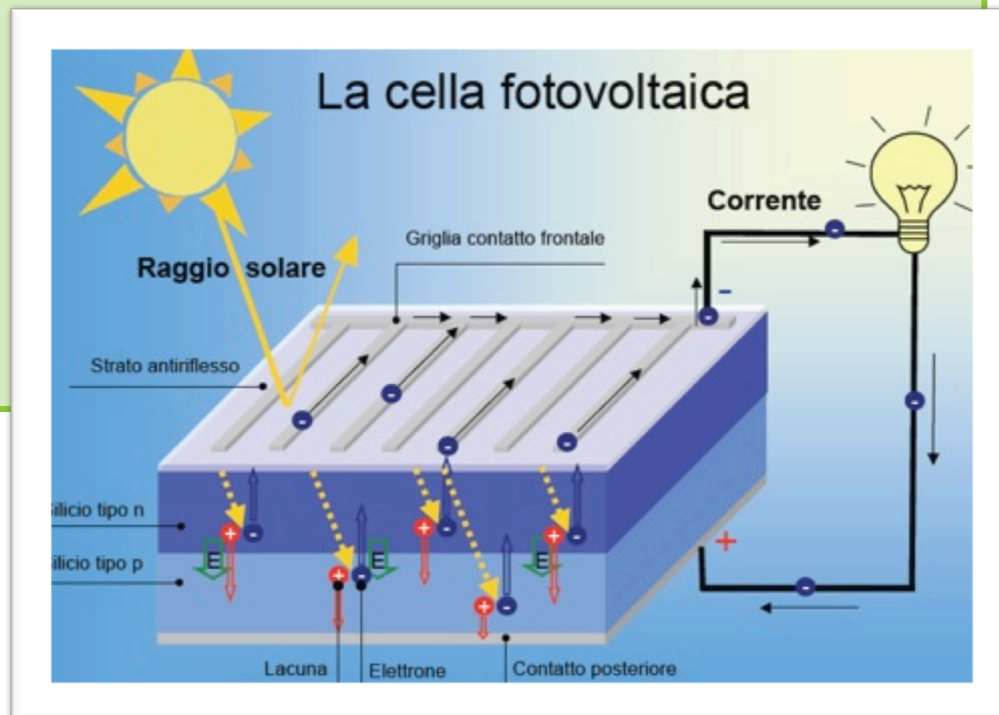
$$\text{EROEI} = \frac{\text{Energia Utilizzabile}}{\text{Energia Spesa}}$$

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

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

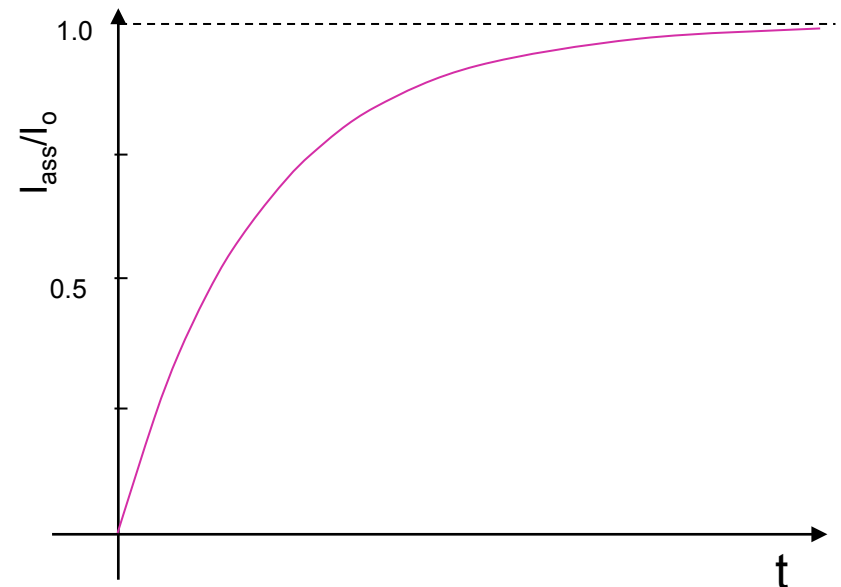
I_o = intensità della radiazione incidente

I_{ass} = intensità della radiazione assorbita

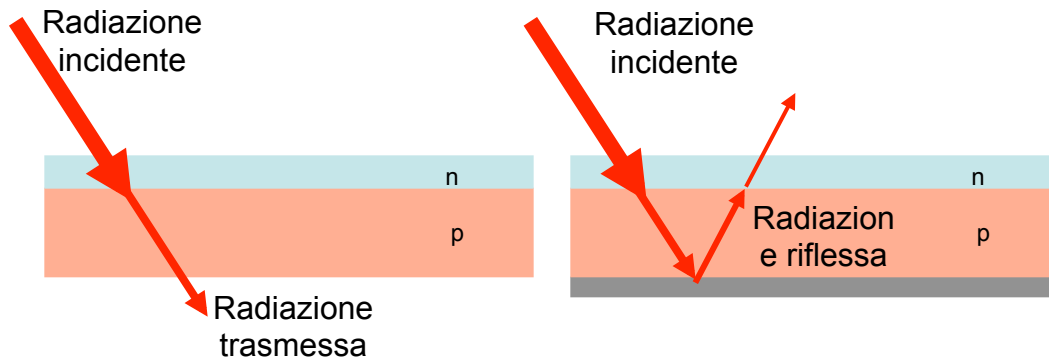
μ = coefficiente di assorbimento

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

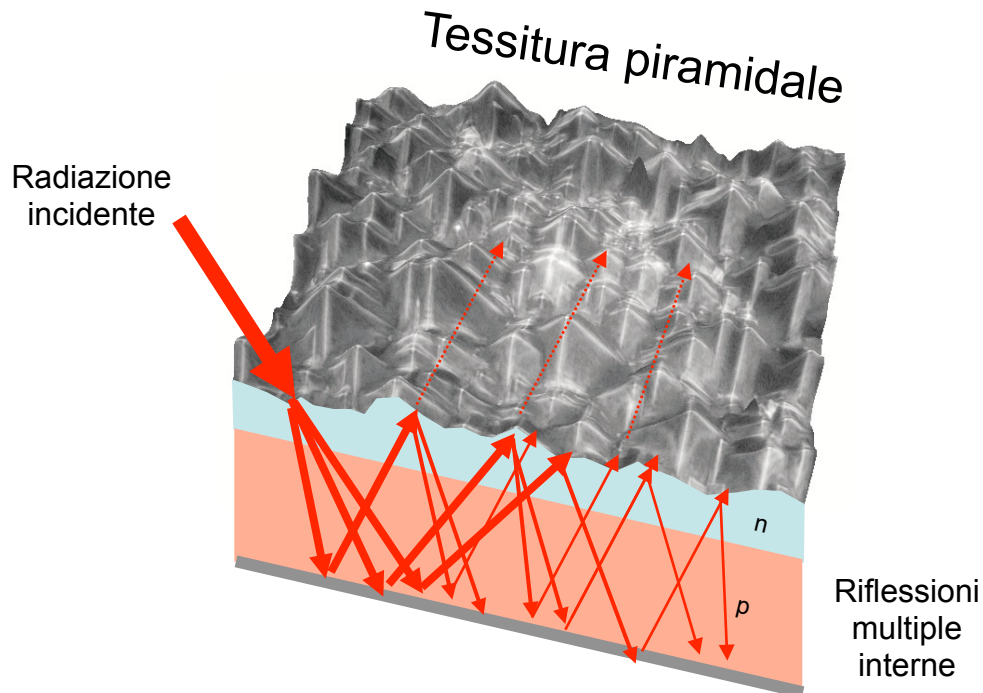
**Aumentare t
riflessioni multiple
aumento della
superficie assorbente**



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



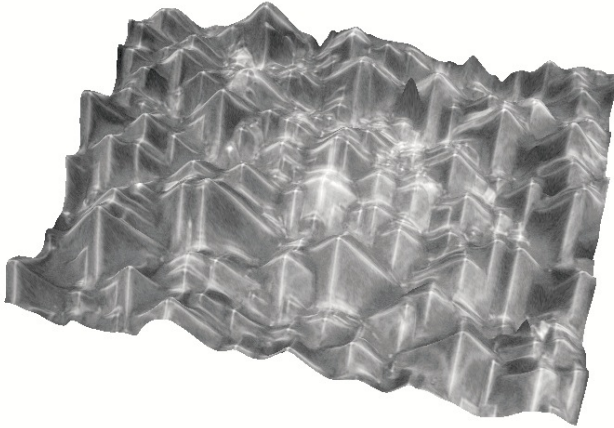
La riflessione su uno strato inferiore aumenta il cammino (t) della radiazione nella cella e quindi aumenta l'intensità assorbita



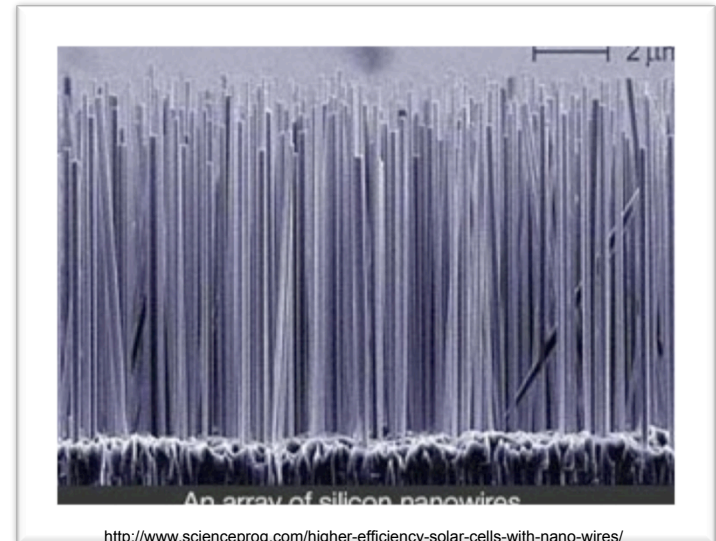
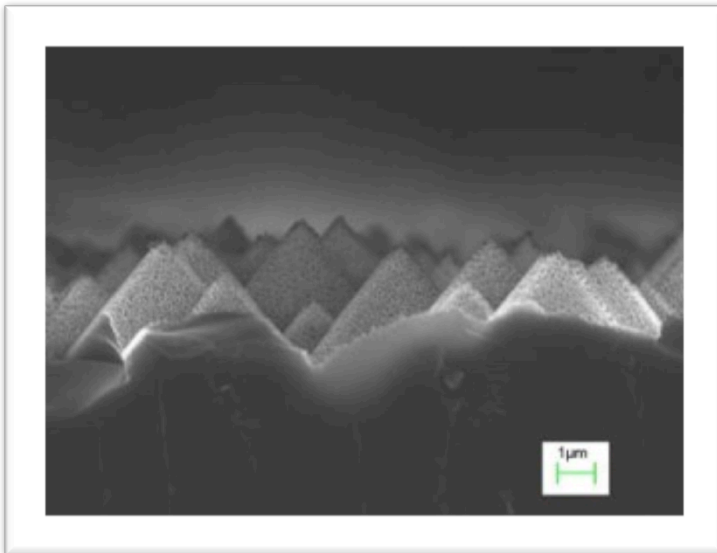
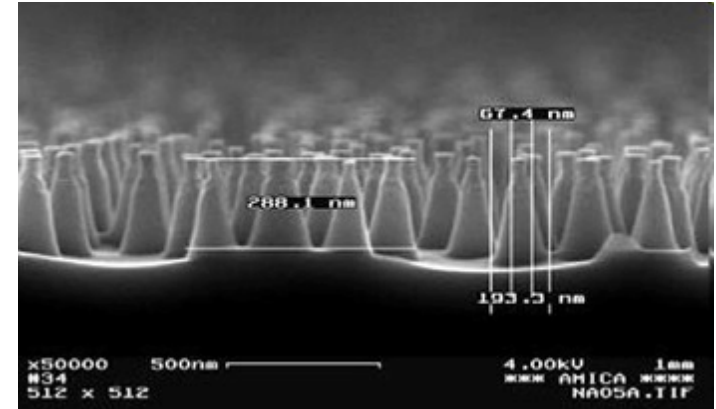
Aumenta il cammino della radiazione all'interno degli strati attivi della cella

Esempi di tessitura e strutturazione delle superfici su scala nanometrica

Tessitura piramidale

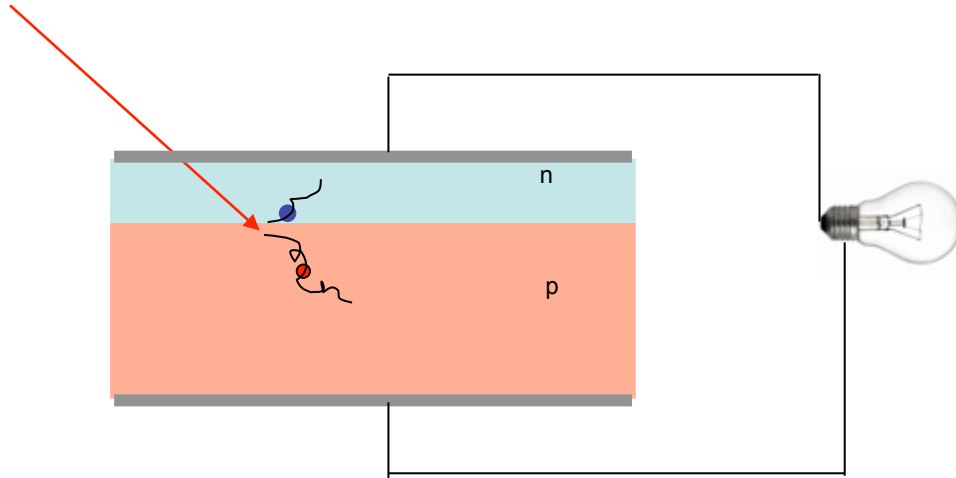


Nano-cupole



<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).

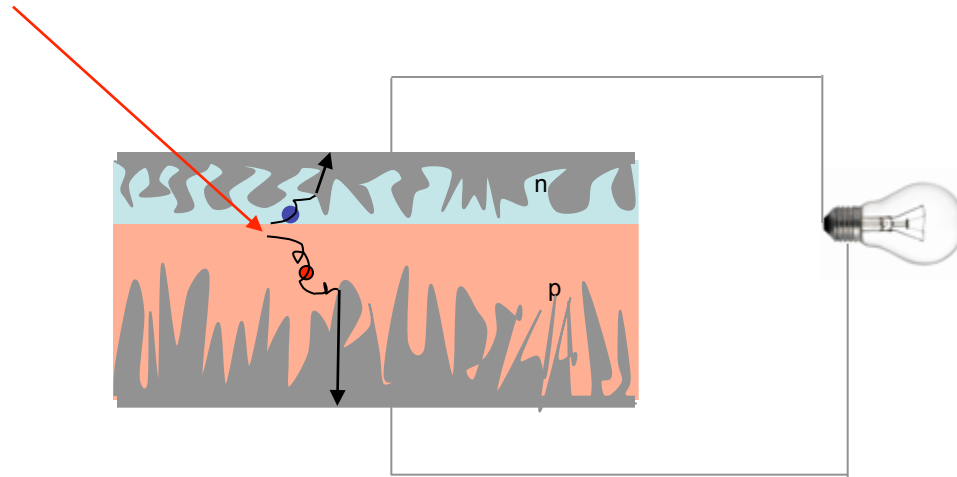
L_R decresce: all'aumentare della temperatura

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 Ovens

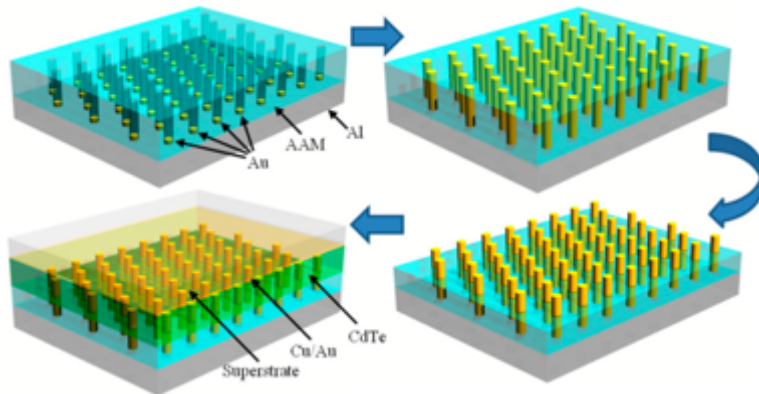


Esempio di configurazioni nanostrutturate

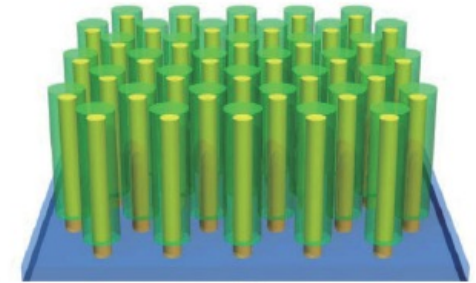
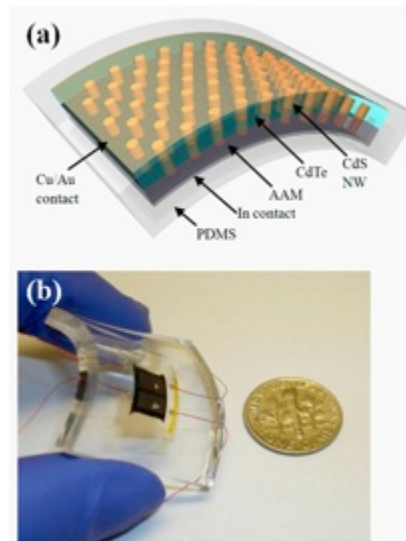
Nano-piloni

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

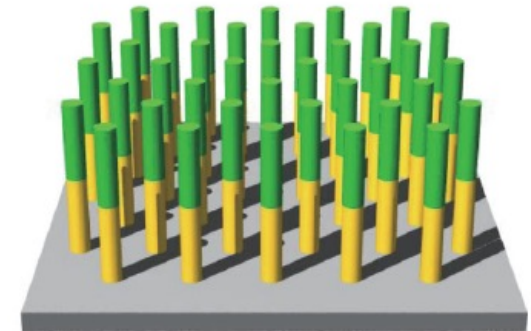
Le dimensioni dei "piloni" sono piccole rispetto alla lunghezza di ricombinazione e quindi migliorano l'efficienza.



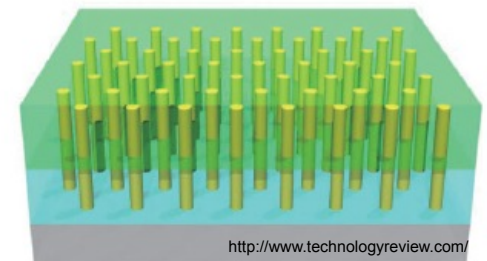
Ogni "bastoncino" è una nano-cella solare



giunzione radiale



giunzione assiale



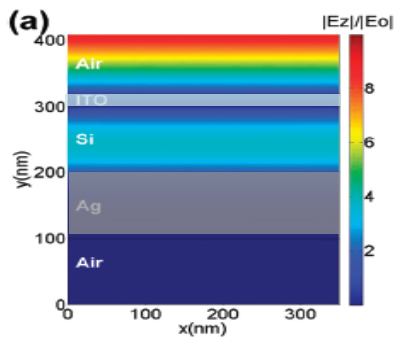
<http://www.technologyreview.com/>

Immersione in matrici opportune

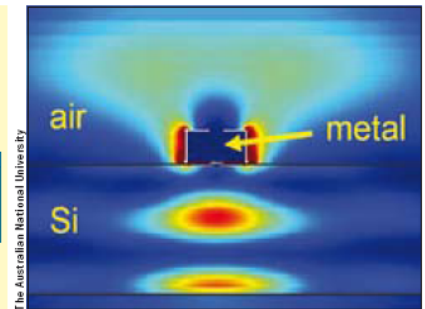
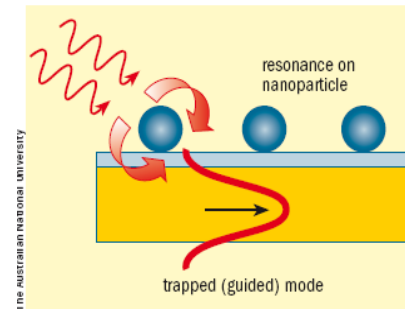
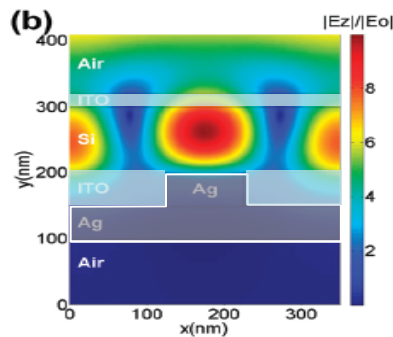
Soluzione 2:

Intrappoliamo la radiazione in spessori molto sottili mediante nano-antenne e risonatori

Cella normale



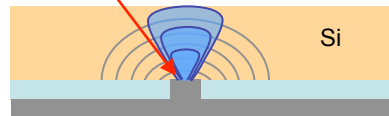
Nanostrutture risonanti



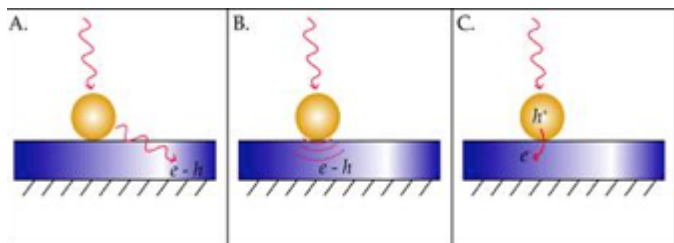
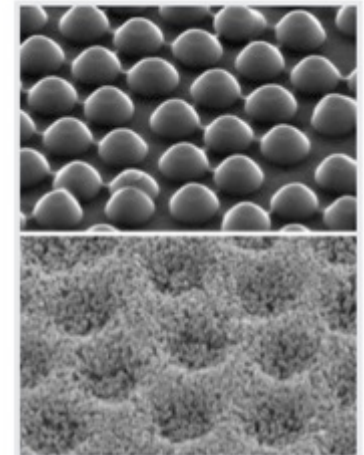
NANO LETTERS

Broadband Light Absorption Enhancement in Thin-Film Silicon Solar Cells

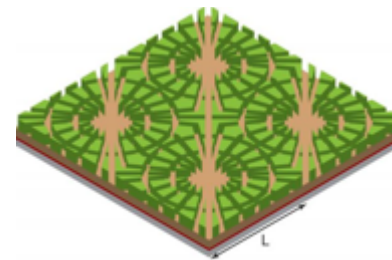
Wei Wang,¹ Shaomin Wu,¹ Kitt Reinhardt,¹ Yalin Lu,^{1,2} and Shaochen Chen^{1,2}



0.4 μm

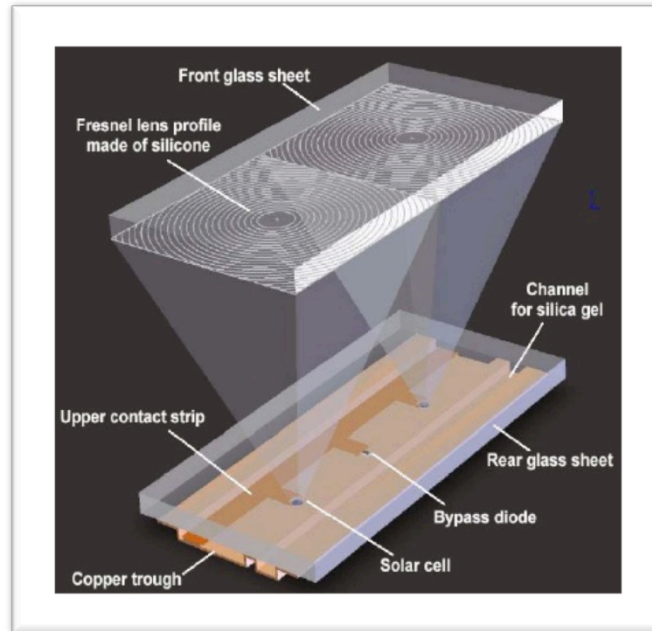


<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl8022548>



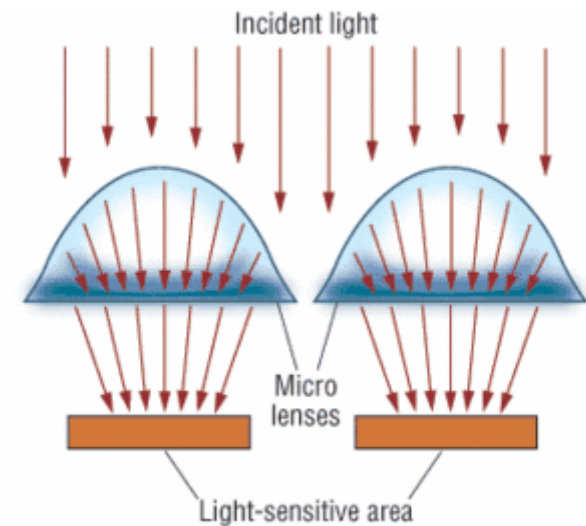
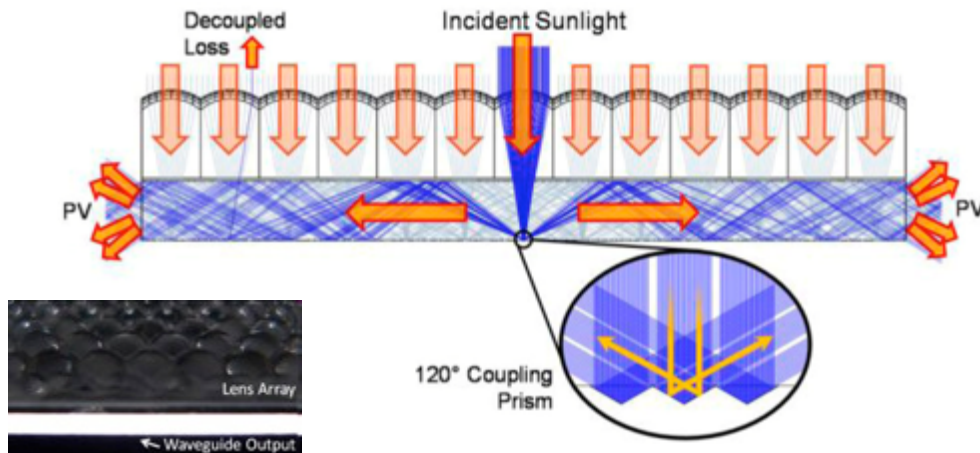
Scattering layer $\epsilon=12.5$ Active layer $\epsilon=2.5$
Cladding layer $\epsilon=12.5$ Mirror

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

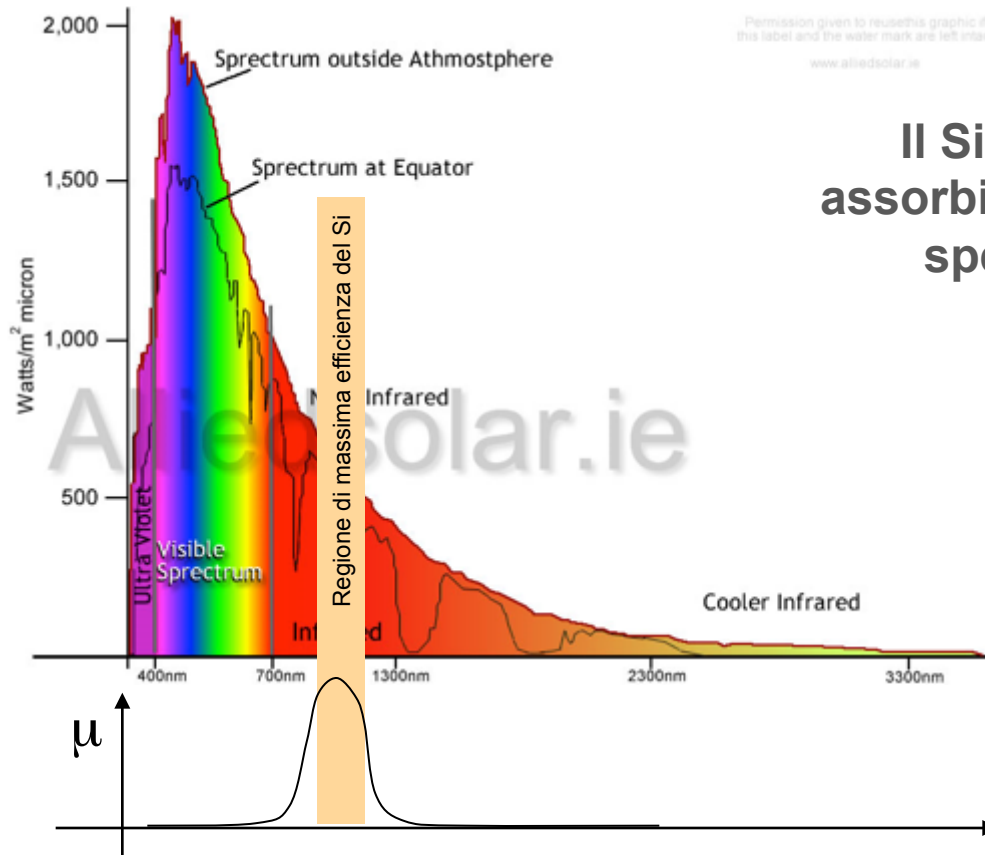


Problemi da considerare:

- 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 $\lambda=1.1 \mu\text{m}$

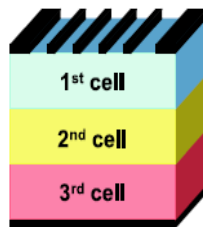
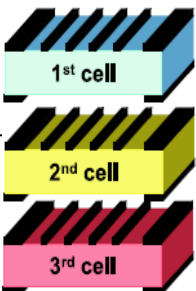
$$I_{\text{ass}} = I_o (1 - e^{-\mu t})$$

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

Celle multigiunzione

Mechanically stacked multi-terminal

Monolithically integrated, two-terminal



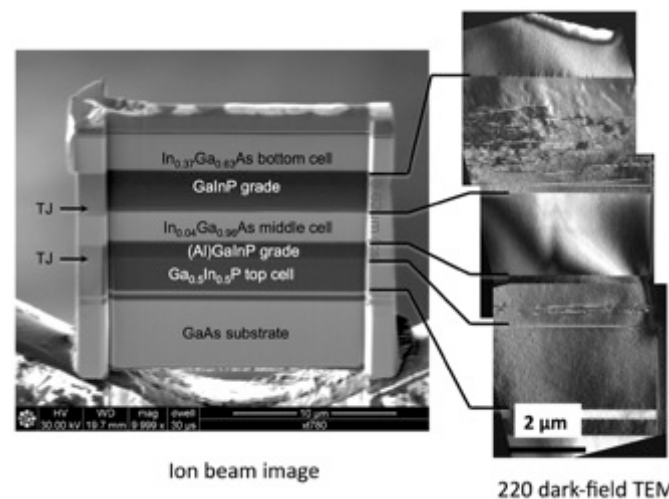
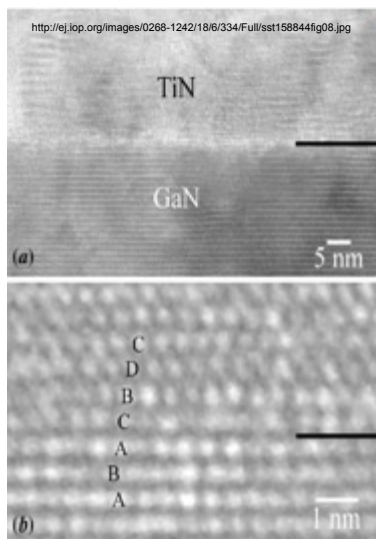
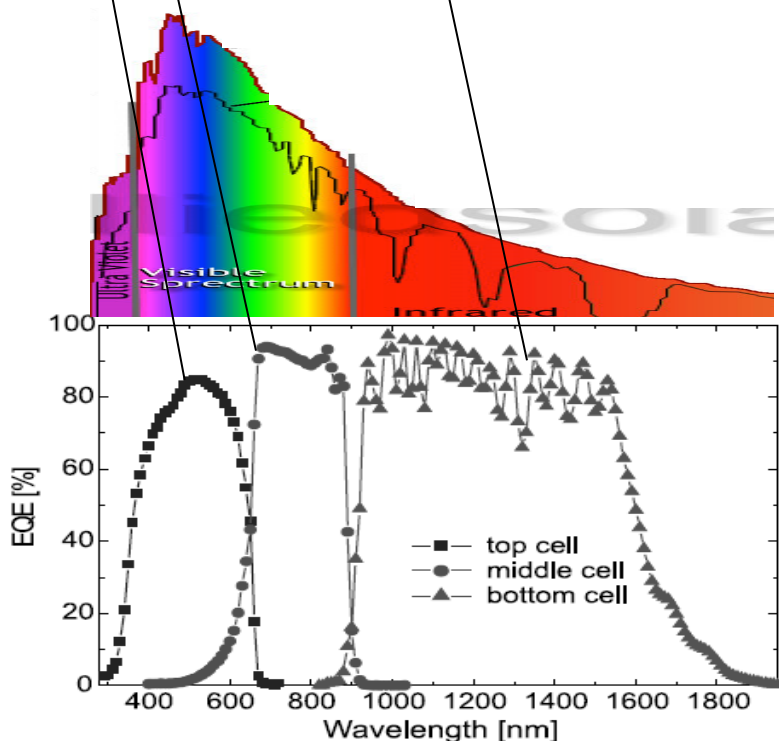
Decreasing band gap

a

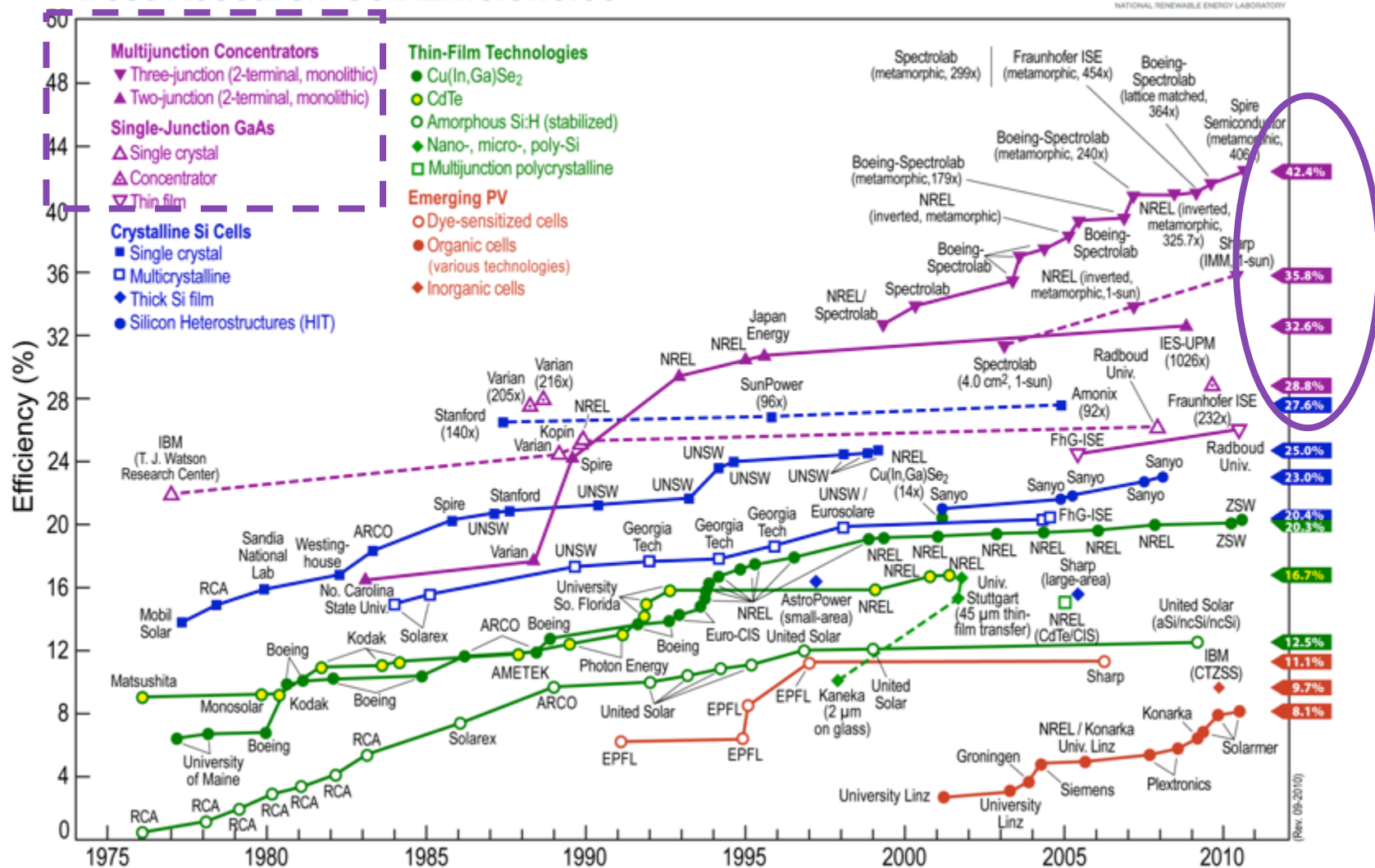
b

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%

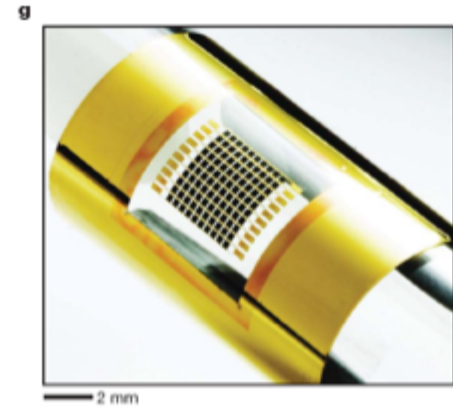
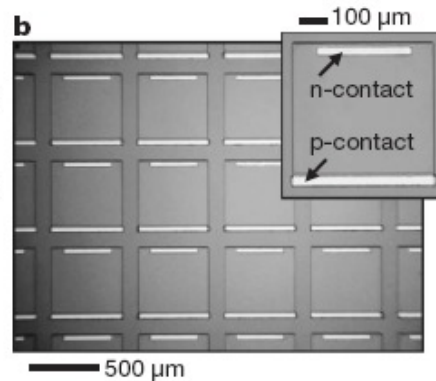
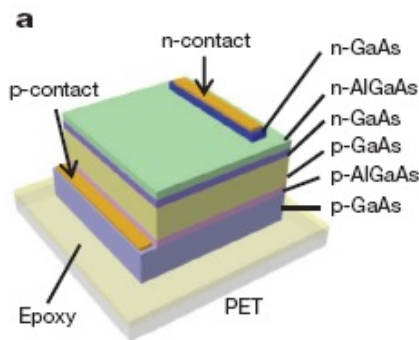
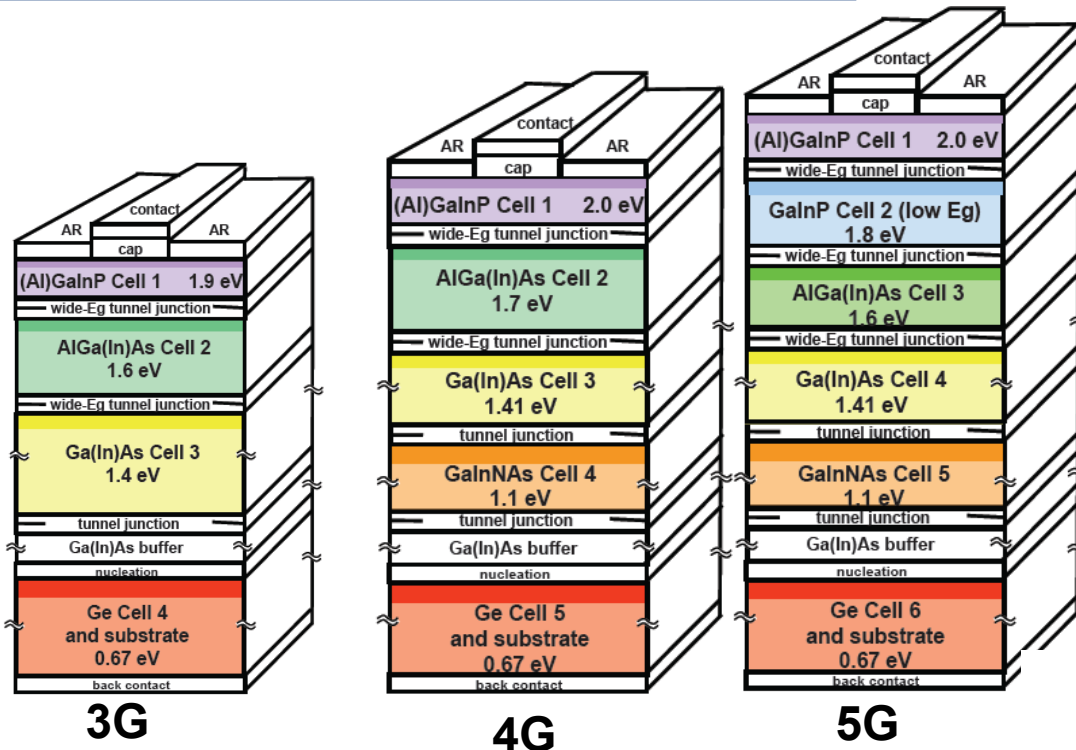


Best Research-Cell Efficiencies

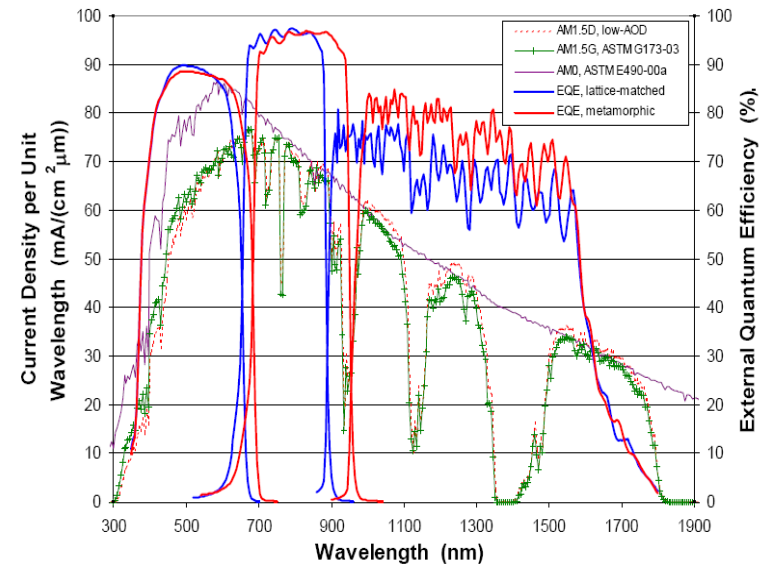


Record di efficienza:

$\eta > 41\%$



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



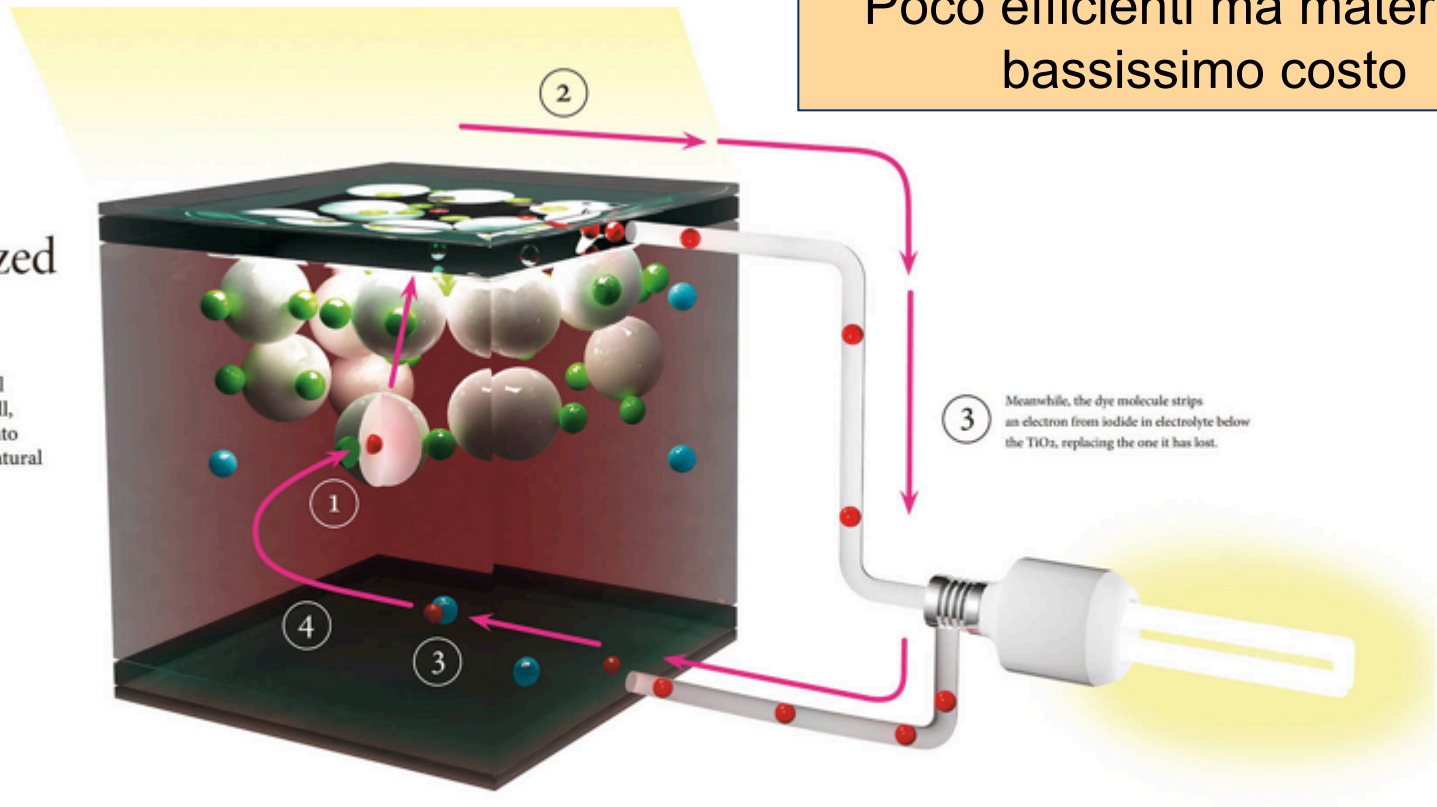
Celle a Dye

(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.

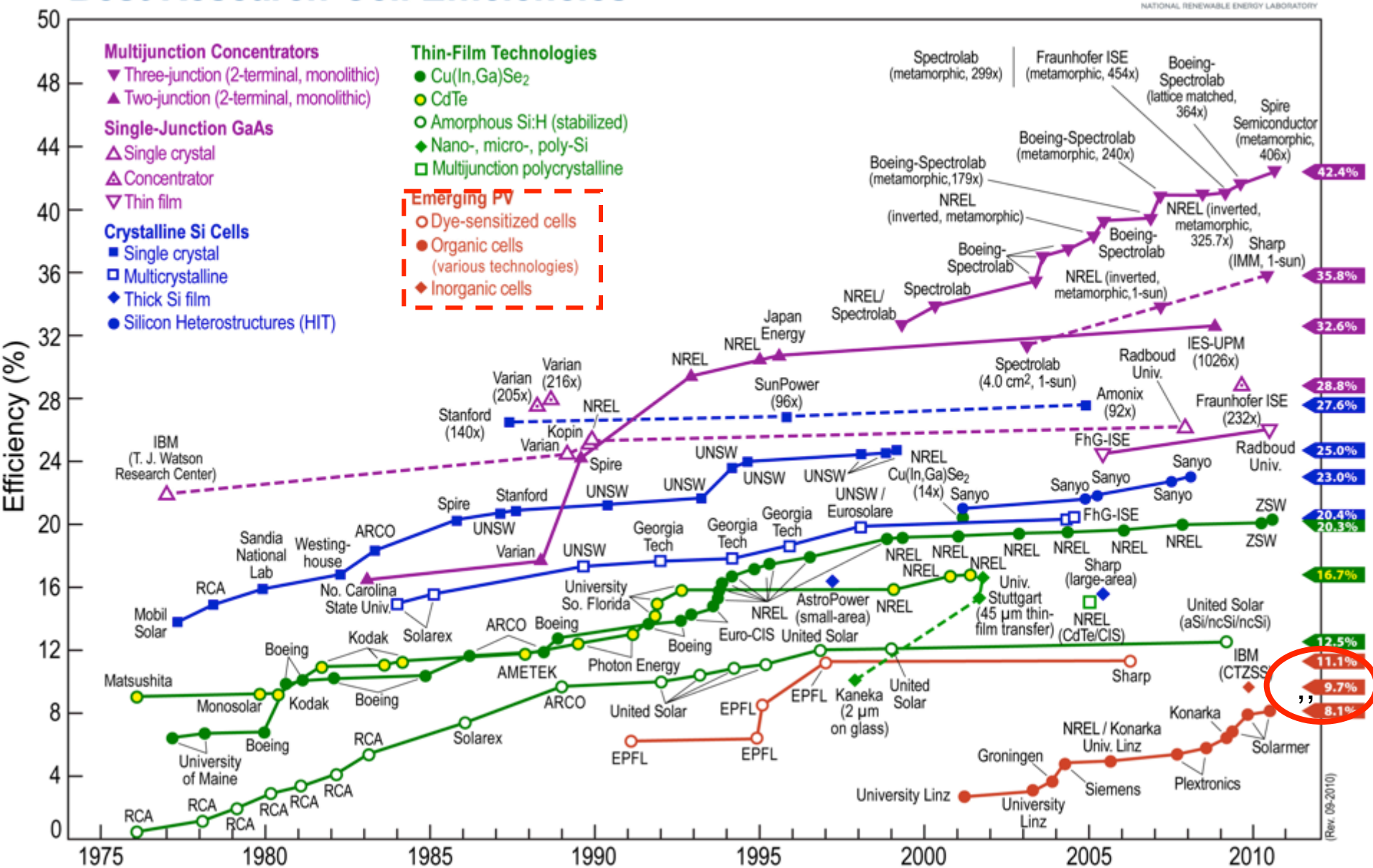


1 Sunlight entering the cell strikes the dye molecules on the surface of the titanium dioxide (TiO₂). Energy is absorbed, creating an excited state of the dye, from which an electron is injected into the TiO₂ particles.

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

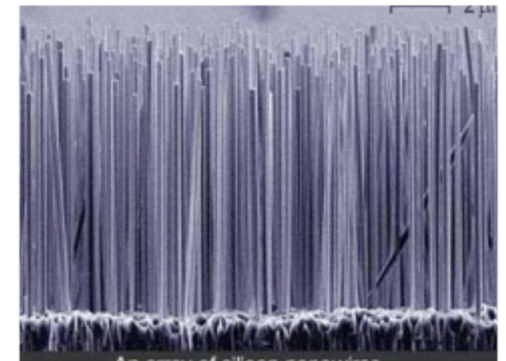
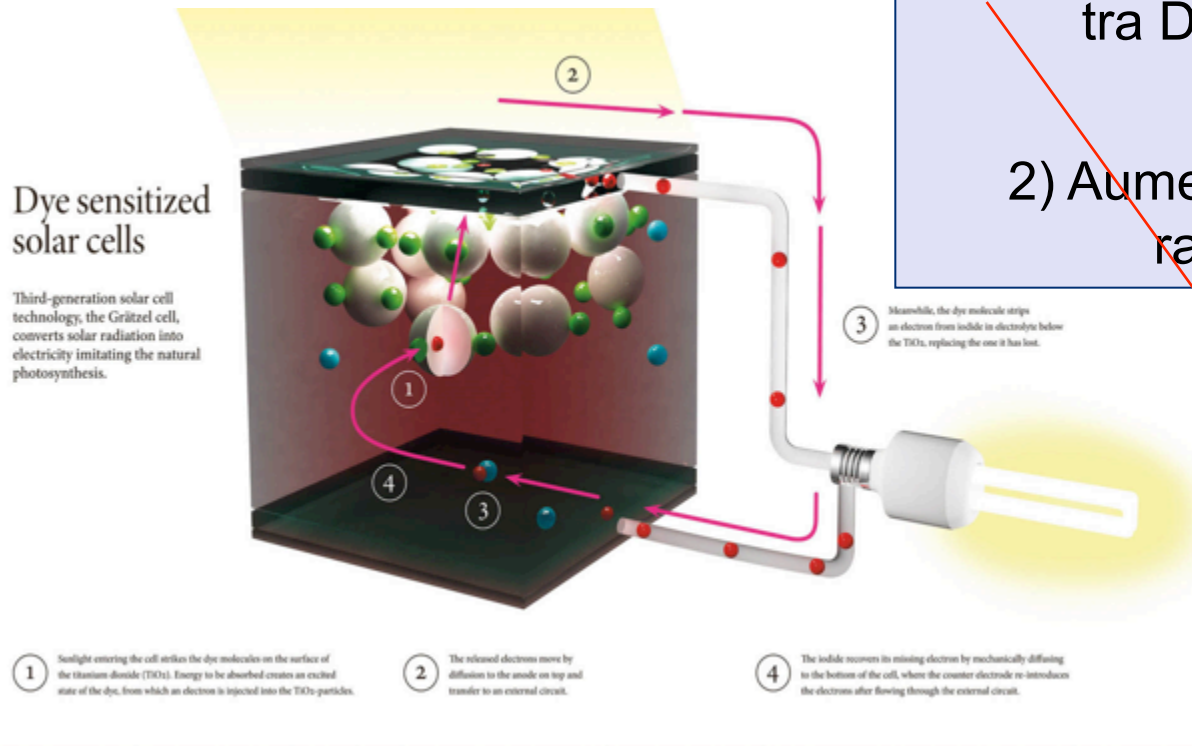


Celle a Dye

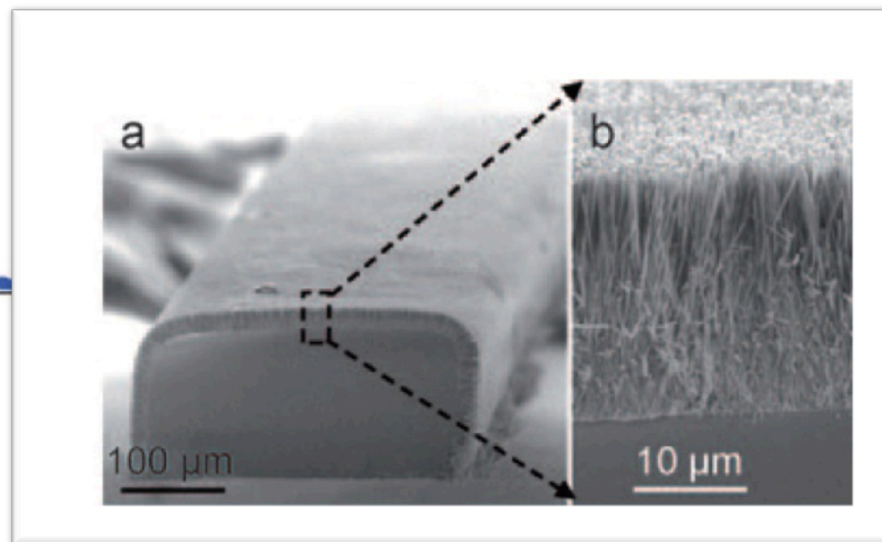
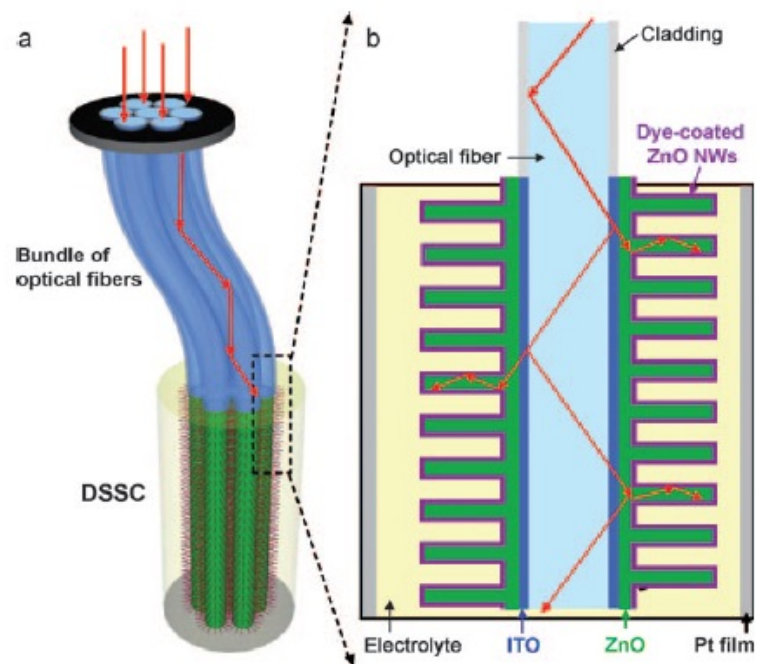
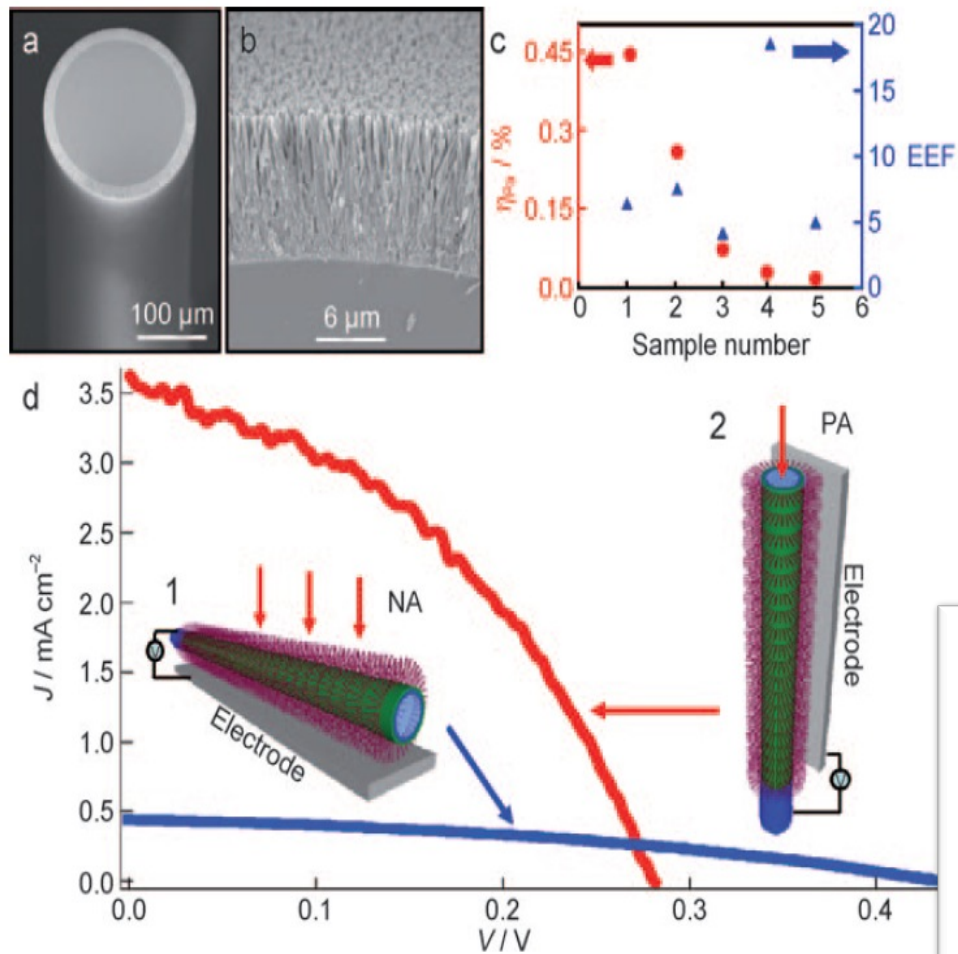
(Dye sensitized solar cells: DSC)

Per migliorare l'efficienza

- 1) aumentare la superficie di contatto tra Dye ed elettrodo TiO_2 nanostrutturato
- 2) Aumentare l'assorbimento di radiazione nel Dye



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

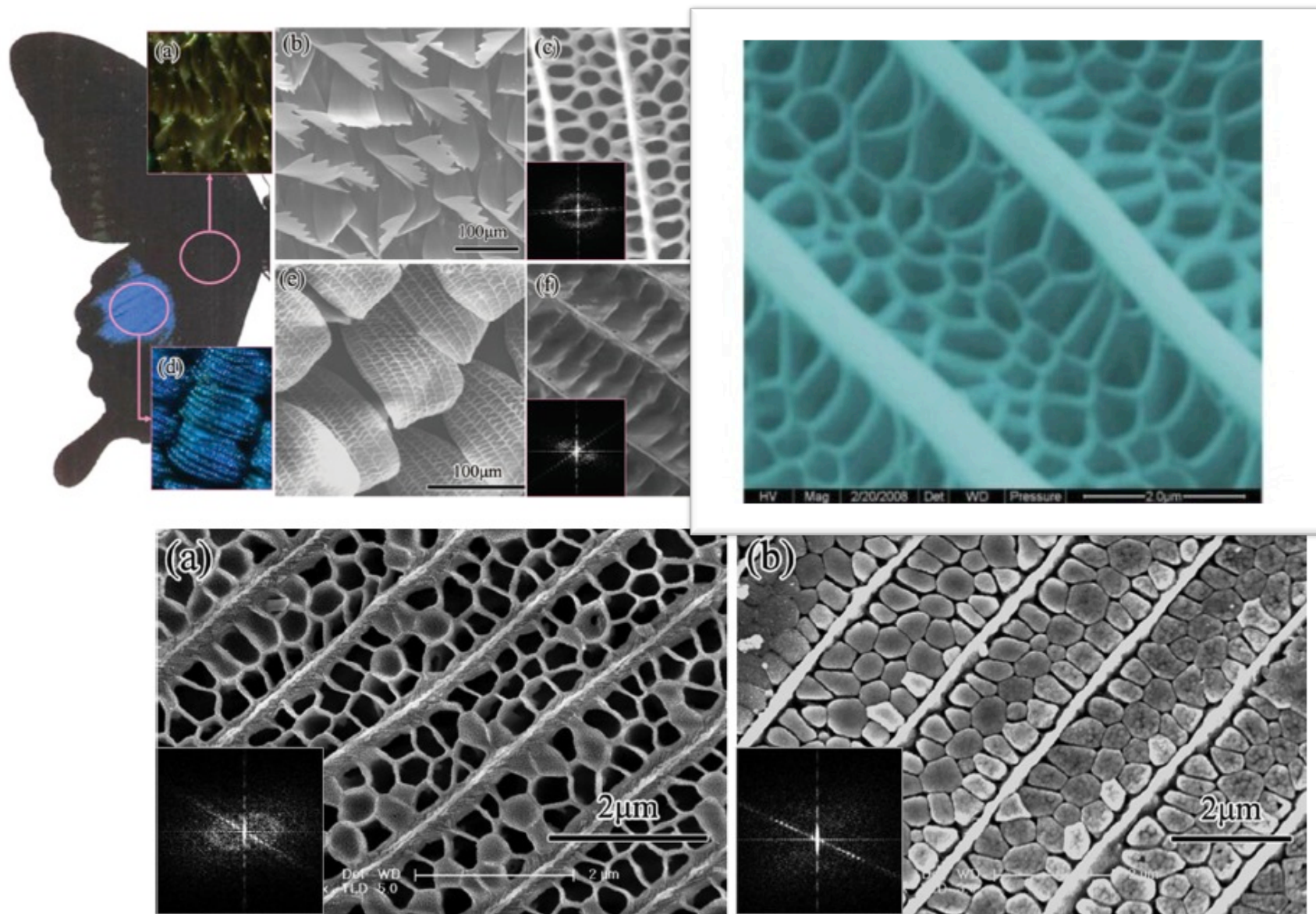


DOI: 10.1002/anie.200904492

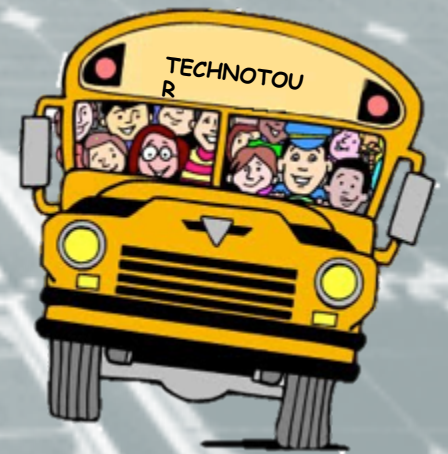
Optical Fiber/Nanowire Hybrid Structures for Efficient Three-Dimensional Dye-Sensitized Solar Cells*

Benjamin Weintraub, Yaguang Wei, and Zhong Lin Wang*

La nanostrutturazione degli elettrodi di TiO_2 contribuisce a migliorare l'efficienza di celle solari a Dye



FINE



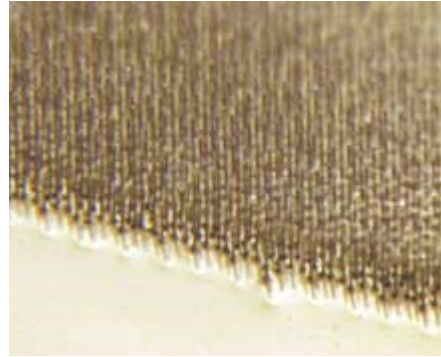
Nanofili e nano"piloni"

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

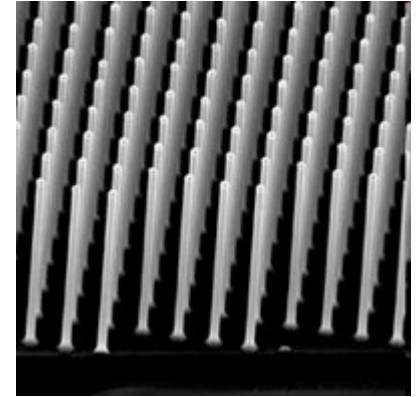
A new photovoltaic material performs as well as the one found in today's best solar cells, but promises to be significantly cheaper. The material, created by researchers at Caltech, consists of a flexible array of light-absorbing silicon microwires and light-reflecting metal nanoparticles embedded in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

Sono materiali pieghevoli ma con le proprietà dei wafer 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

