

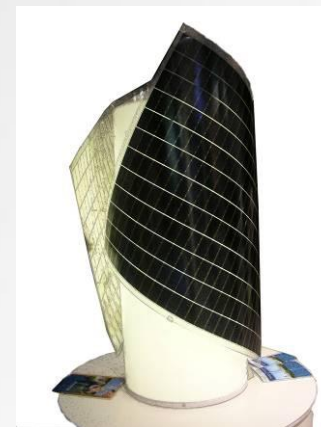


Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

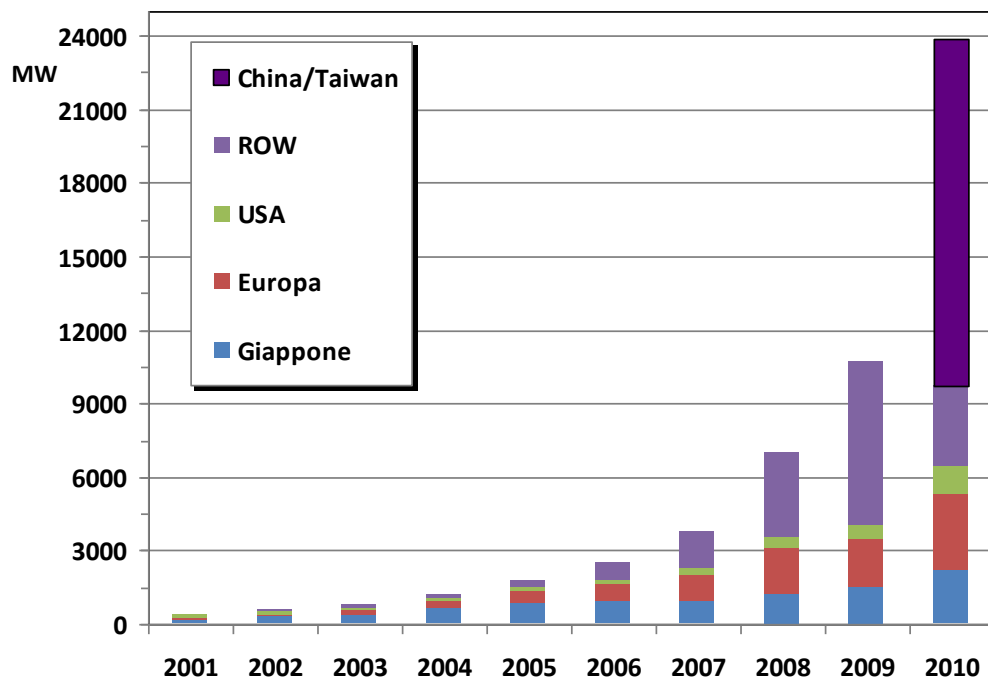
# Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

**Paola Delli Veneri**  
**Alberto Mittiga**

L'ENEA E LA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO  
Roma, 23-24 novembre 2011



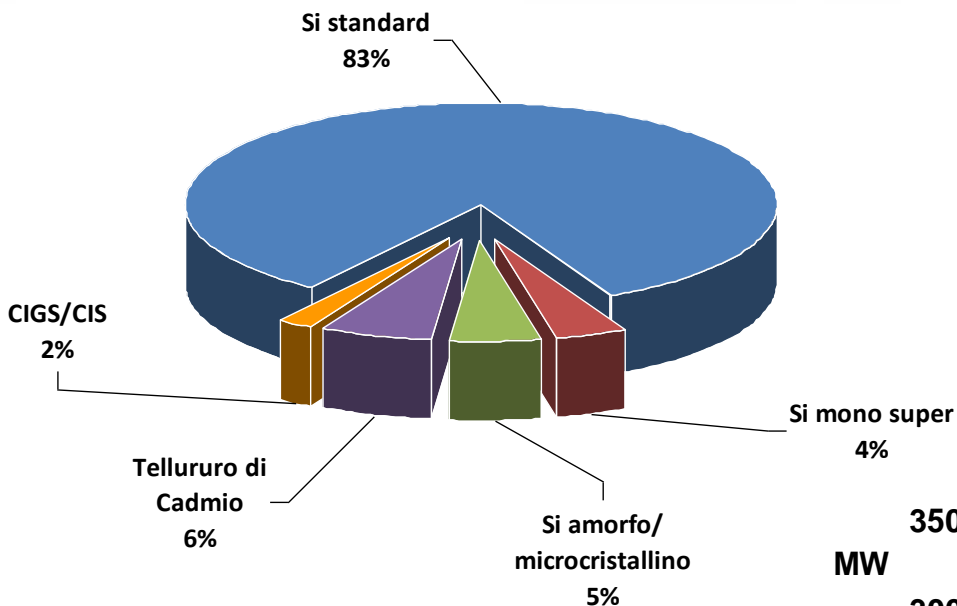
# Produzione mondiale di celle solari



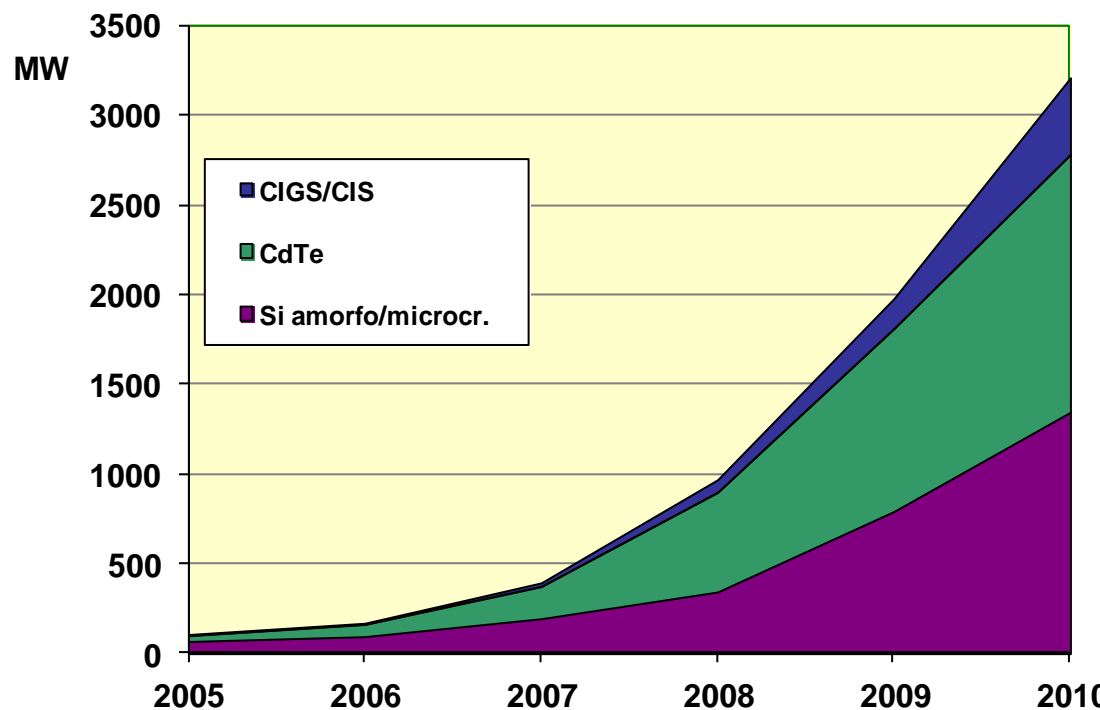
Andamento della produzione mondiale di celle FV ripartita per aree geografiche (PV News, 2011)

Area	2006 vs 2005	2007 vs 2006	2008 vs 2007	2009 vs 2008	2010 vs 2009
Giappone	+11,2%	-0,3%	+32,6%	+22,8%	+45,2%
Europa	+42,3%	+58,8%	+78,4%	+0,8%	+62,7%
USA	+16,3%	+52,2%	+52,0%	+41,7%	+91,1%
ROW (Cina, Taiwan, Corea, ecc.)	+110,8%	+113,1%	+134,2%	+97,3%	+161,0%
Totale	+37,9%	+51,1%	+86,9%	+54,3%	+123,1%

# Mercato delle varie tecnologie FV



Il silicio cristallino ad oggi domina il mercato del FV.



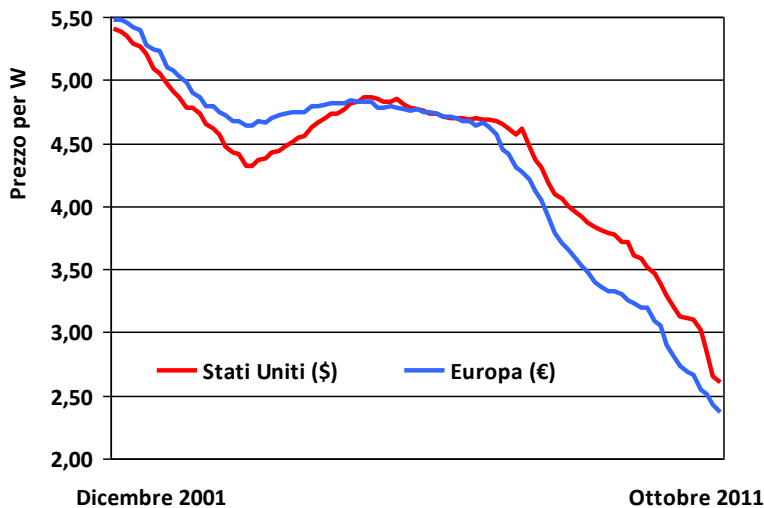
## Produzione Film Sottili 2010 (MW)

<b>Si amorfo/microcr.</b>	<b>1349</b>
<b>CdTe</b>	<b>1436</b>
<b>CIGS/CIS</b>	<b>426</b>
<b>Totale</b>	<b>3211</b>

Fonte: PV News, 2011

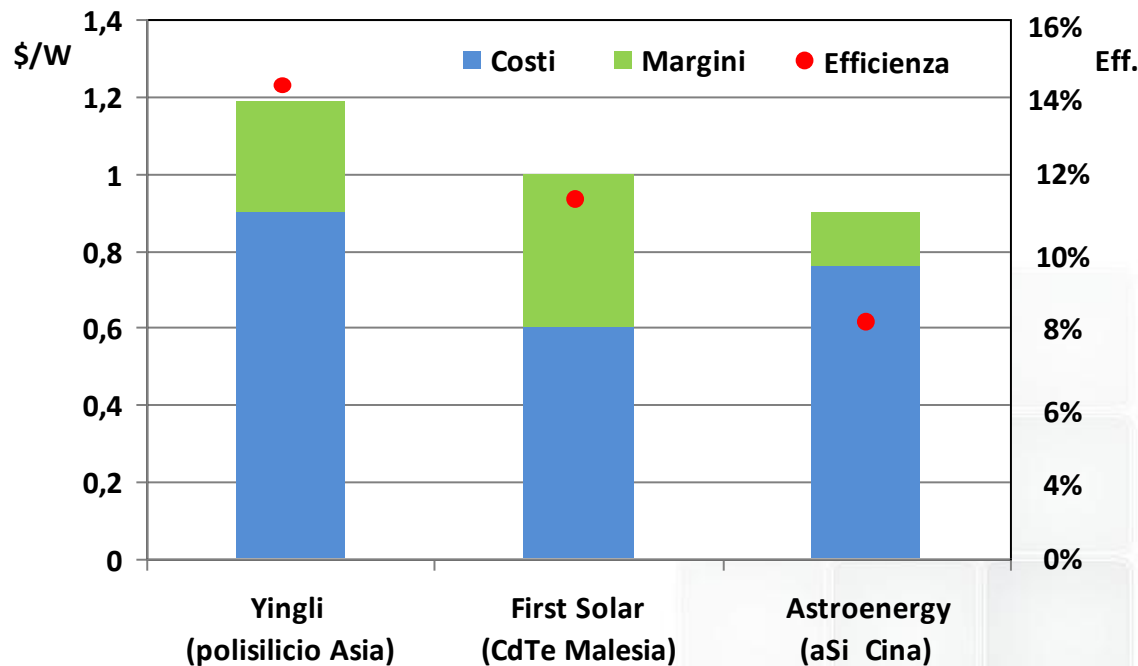
# Costi di produzione, prezzi e margini di profitto

**Il costo dei moduli costituisce circa il 50% del costo di un impianto FV installato**

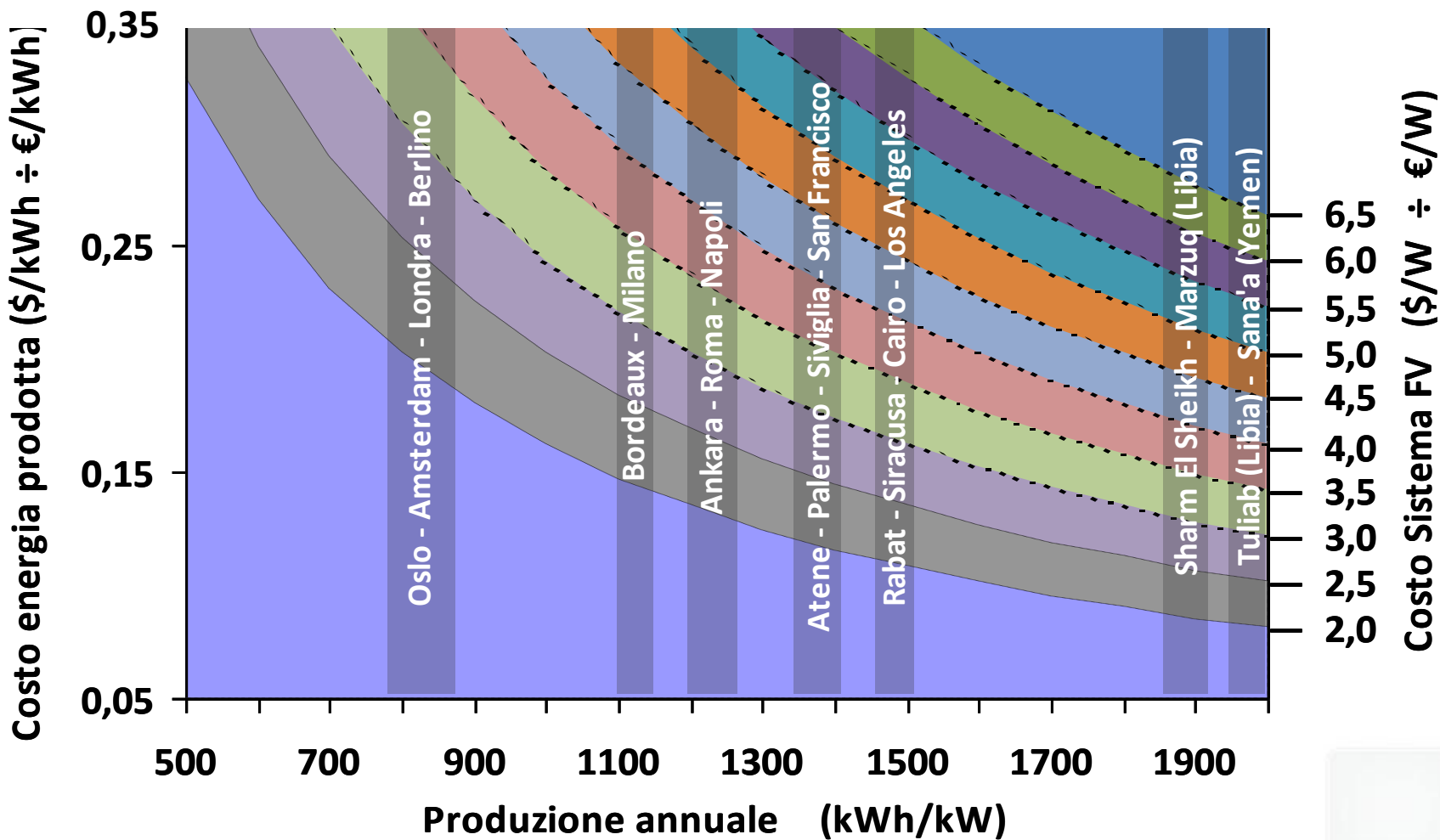


Prezzo medio al dettaglio dei moduli fotovoltaici sul mercato statunitense e europeo  
(Fonte: [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com))

**Costi di produzione dei moduli e margini di profitto definiscono il prezzo di vendita dei moduli fotovoltaici delle diverse tecnologie**



# Competitività del fotovoltaico

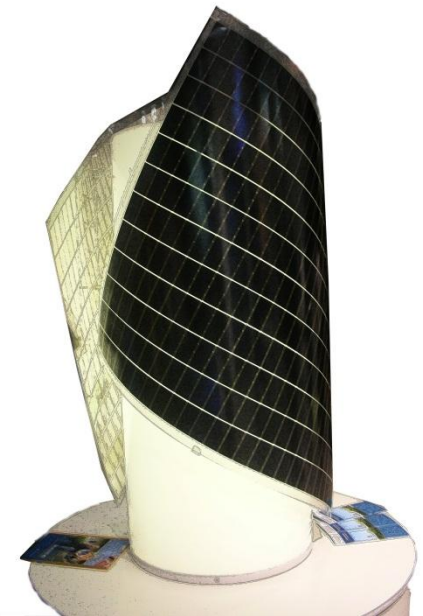


Piena competitività del fotovoltaico

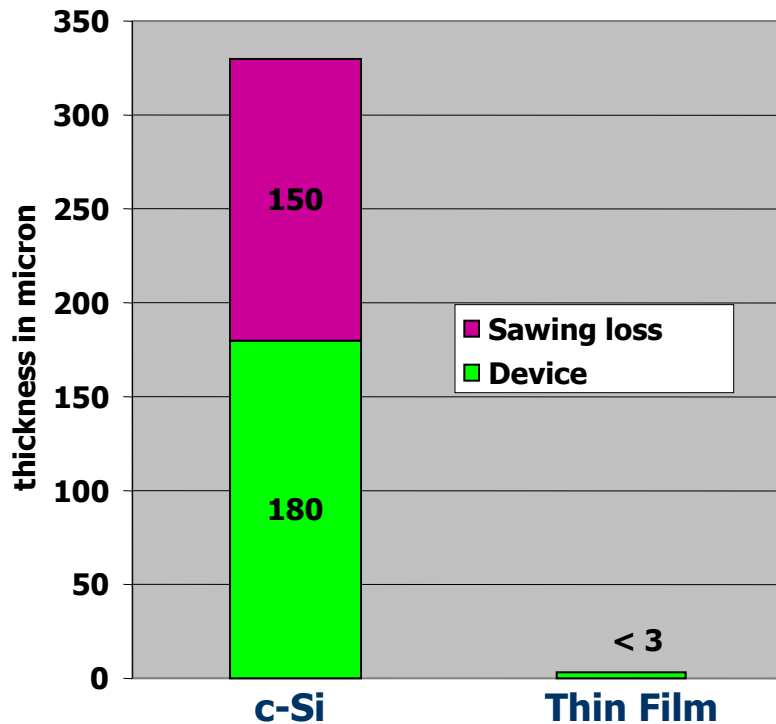


Costi di impianto inferiori a 2€/W

- ❖ Fotovoltaico avanzato a base di film sottili di silicio
- ❖ Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI
- ❖ Sviluppo di celle organiche a base di materiali o ibridi

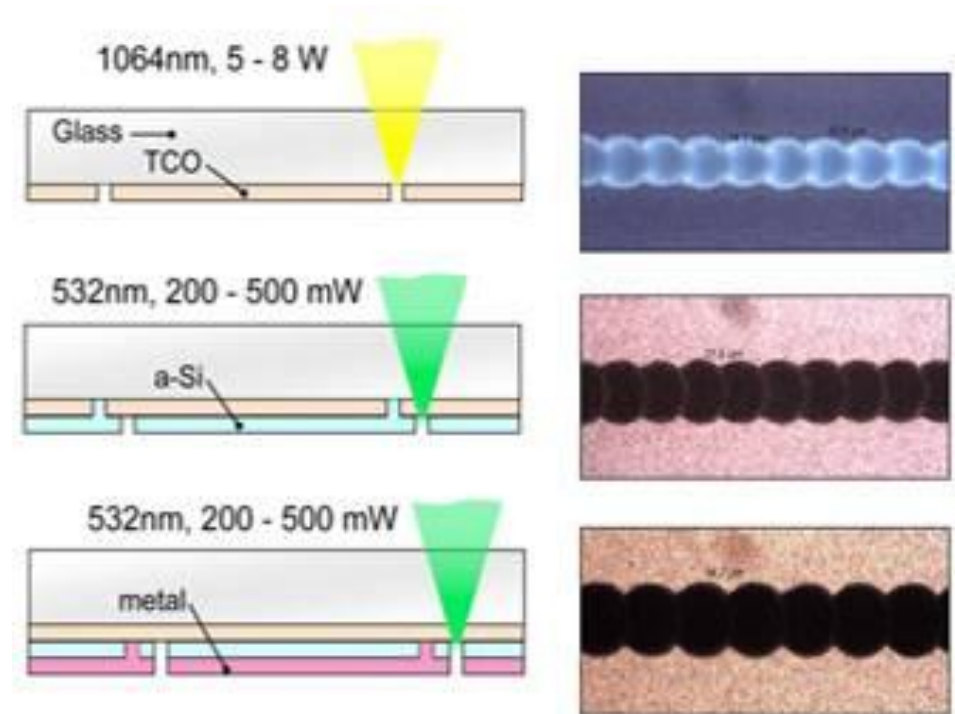


# Vantaggi del FV a film sottile



Utilizzo di strati molto sottili di materiale

Processi di fabbricazione meno energivori



Interconnessione monolitica per realizzare i moduli

Processi fortemente automatizzati:  
*glass in – module out*

# Possibilità di depositare su larga area

1.4 m<sup>2</sup>  
solar  
modules





# Prodotti flessibili e leggeri







**UNI-SOLAR**



PowerPlastic® Konarka

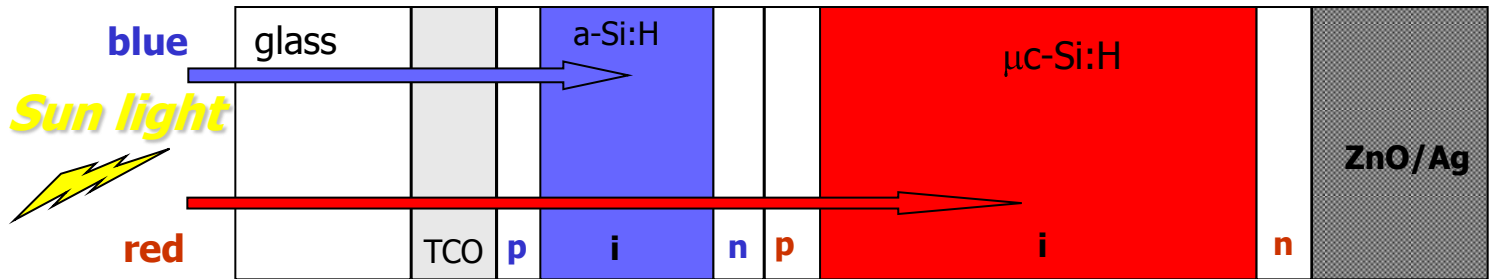
# Moduli FV semi-trasparenti

**SHARP**



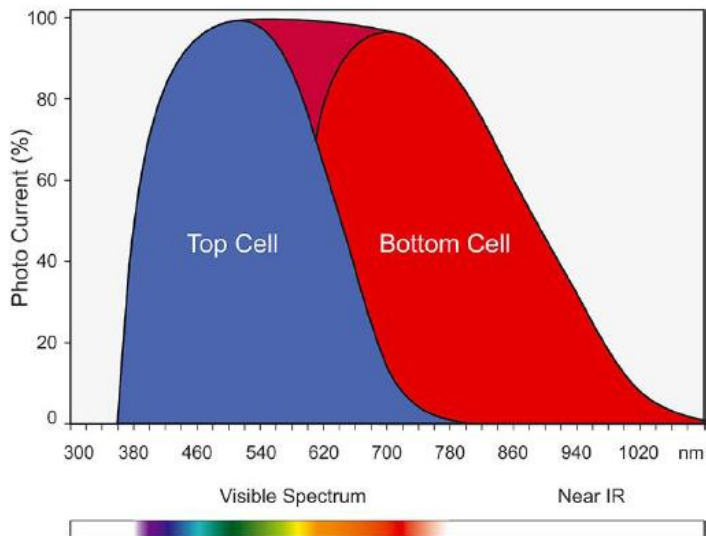
# Film sottili di silicio: Le celle micromorfe

Sviluppo e realizzazione di strati assorbitori alternativi e innovativi per celle tandem di silicio



Film nanostrutturati di silicio (Si QDs) per la cella top

Film di silicio-germanio microcristallino per la cella bottom



PECVD/VHF PECVD

# Film sottili di silicio: Sviluppo di assorbitori nanostrutturati per la cella top

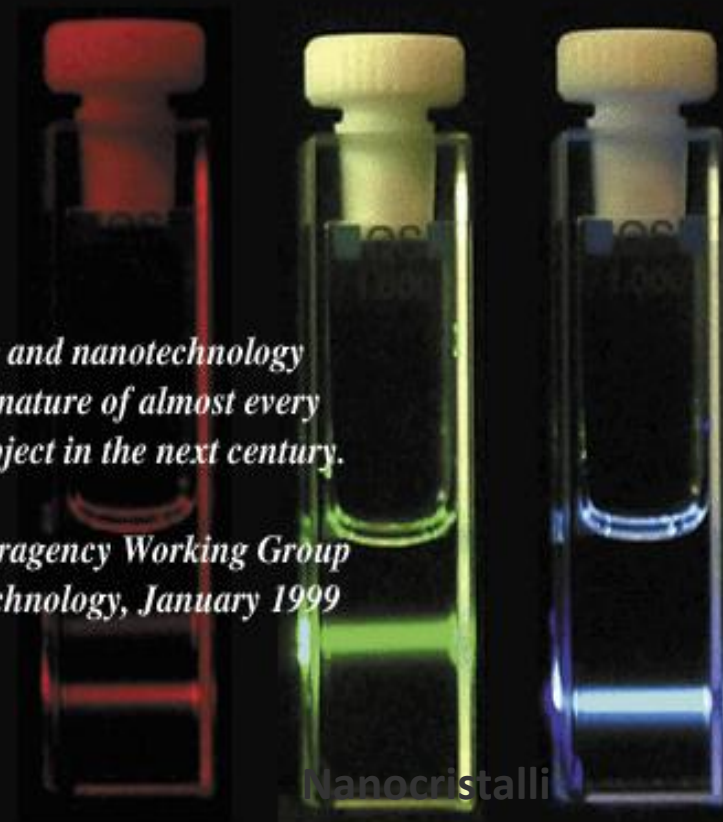
SiNx (dopo annealing at 1100°C)

Nanocristalli di Si in matrice di nitruro di Silicio

## Mighty Small Dots

*... nanoscience and nanotechnology will change the nature of almost every human-made object in the next century.*

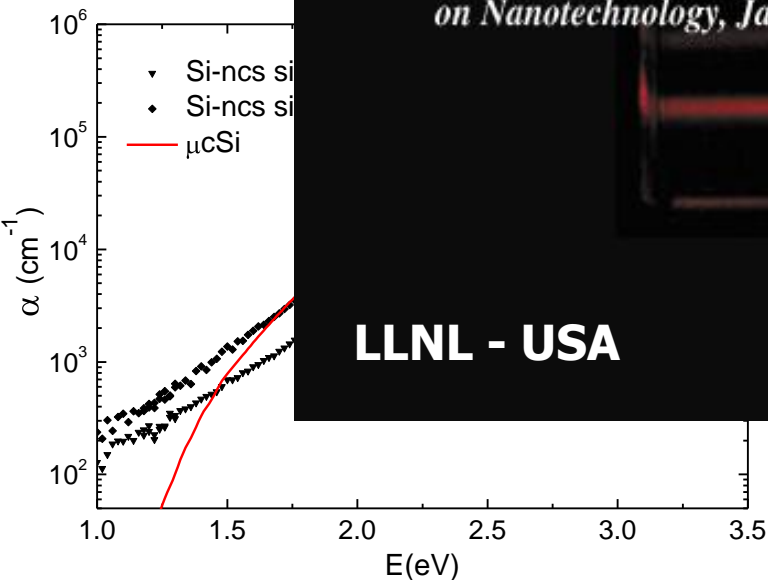
*—The Interagency Working Group on Nanotechnology, January 1999*



Nanocristalli di Si in matrice di ossido di Silicio

Si and Ge QDs with size 1-6 nm

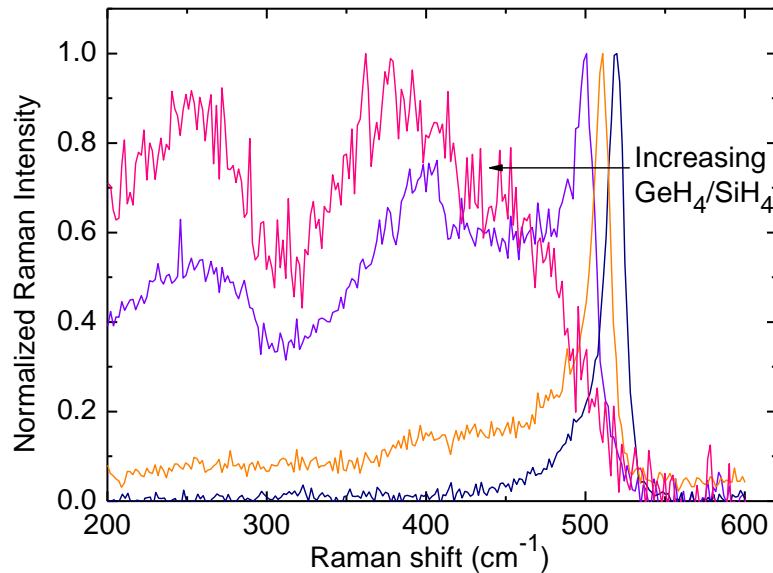
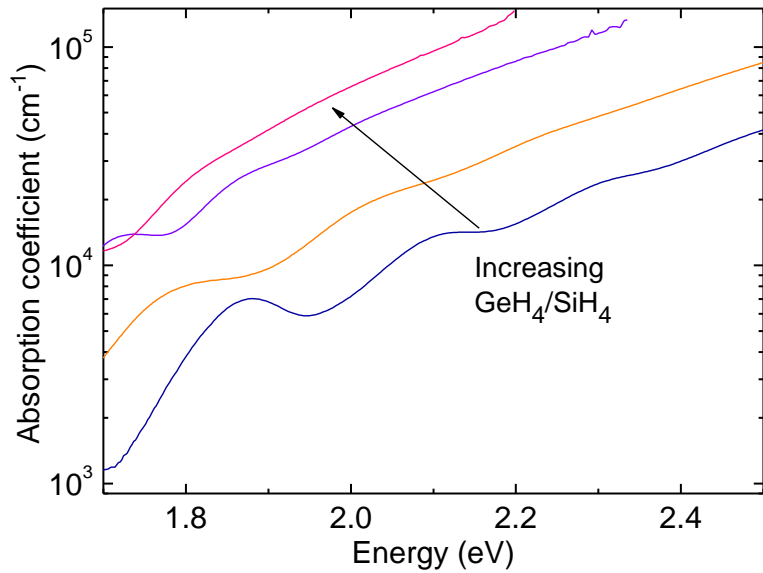
LLNL - USA



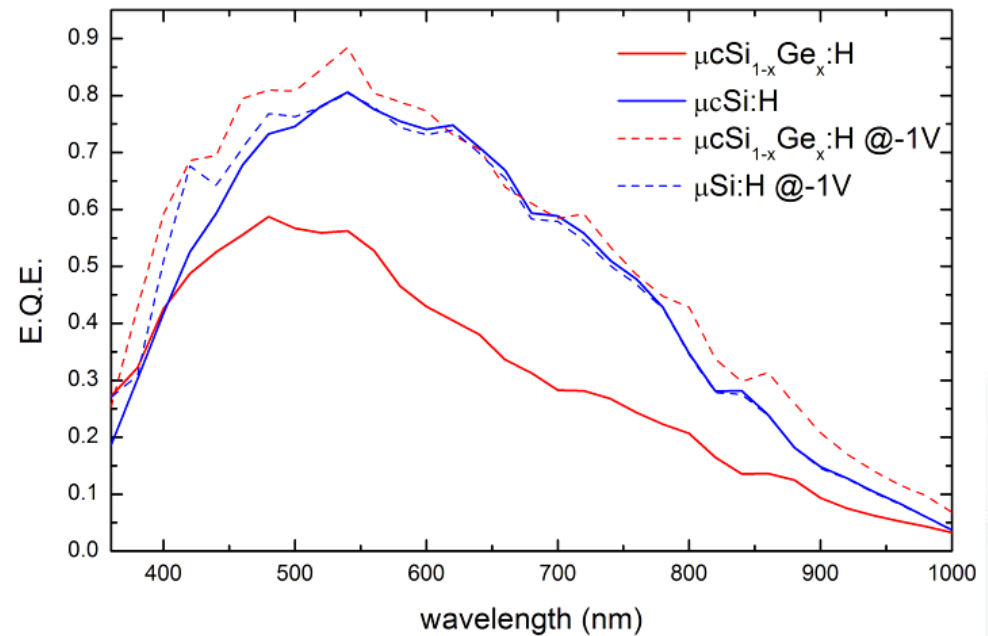
Quantum dot di Si in matrice di SiO<sub>2</sub>



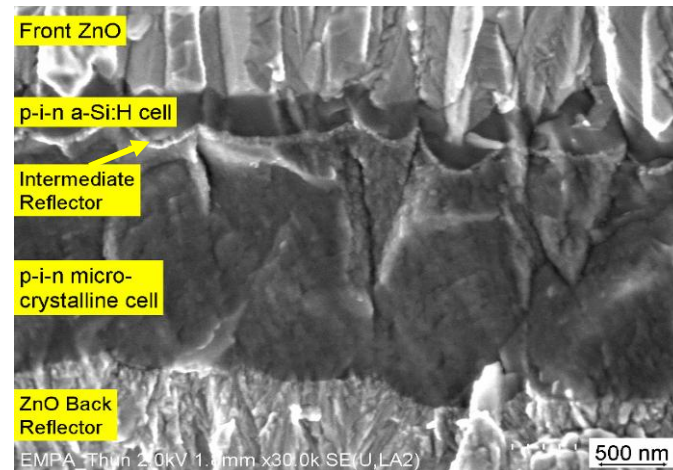
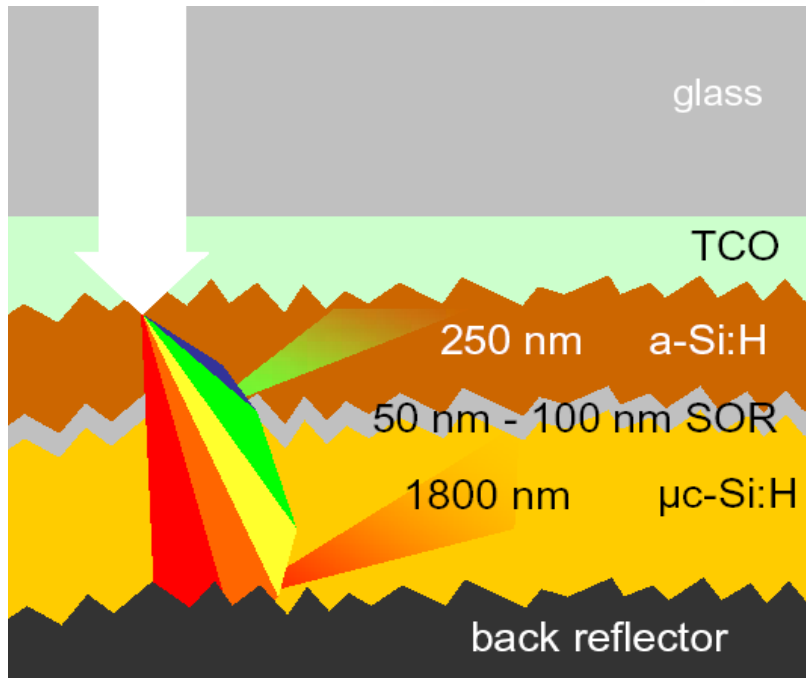
# Film sottili di silicio: strati assorbitori a base di film di silicio germanio microcristallino



**I film di silicio germanio consentono un più efficace assorbimento della radiazione nella regione infrarossa**



# Film sottili di silicio: intrappolamento della radiazione solare

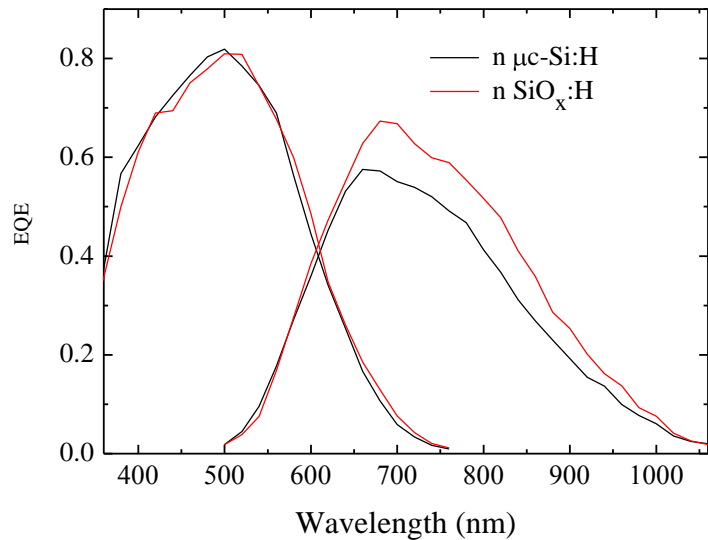


Riflettori intermedi e posteriori consentono di ridurre gli spessori degli strati assorbitori consentendo un potenziale vantaggio in termini industriali

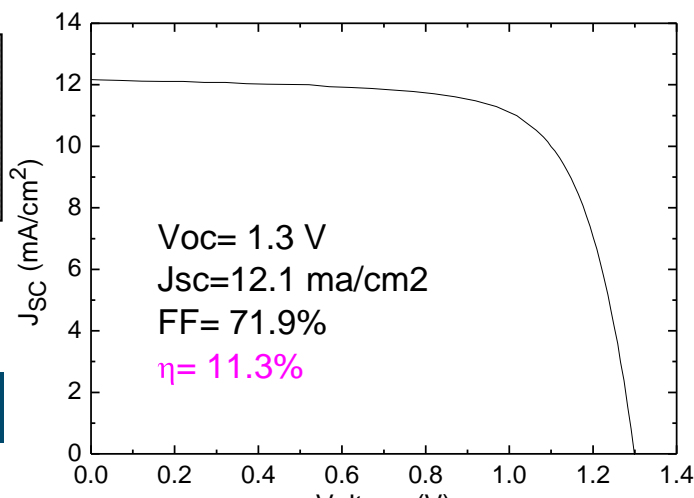
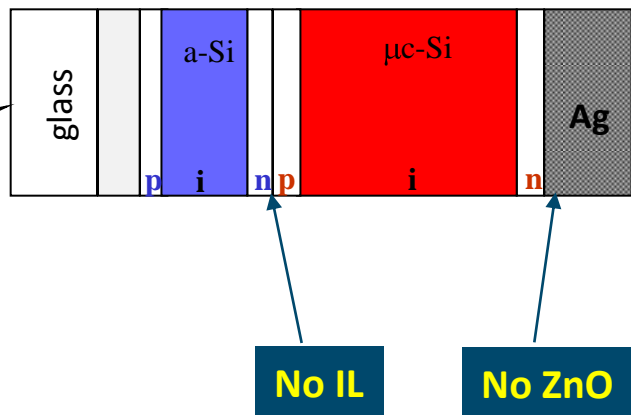
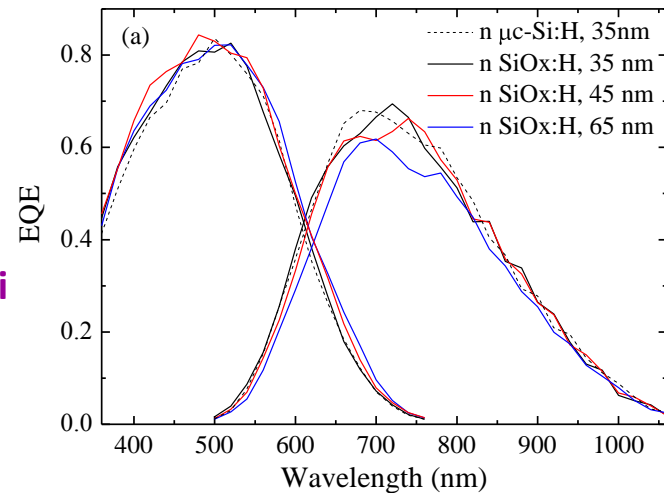
Sviluppo di film di ossido trasparente e conduttore (TCO) con una opportuna morfologia superficiale

# Film sottili di silicio: intrappolamento della radiazione solare

## Sviluppo di strati di ossido di silicio di tipo n altamente trasparenti



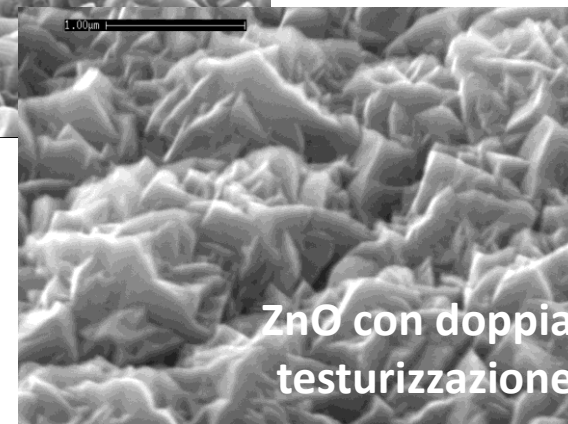
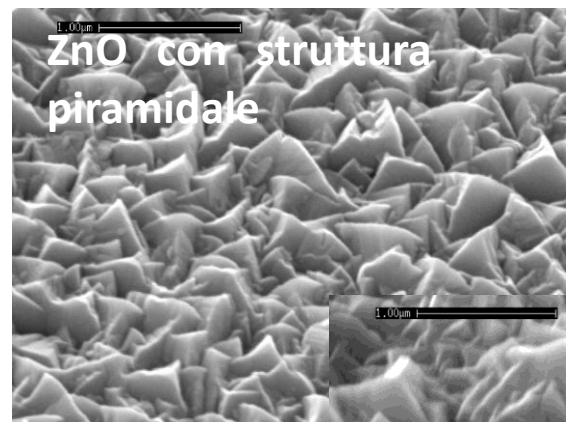
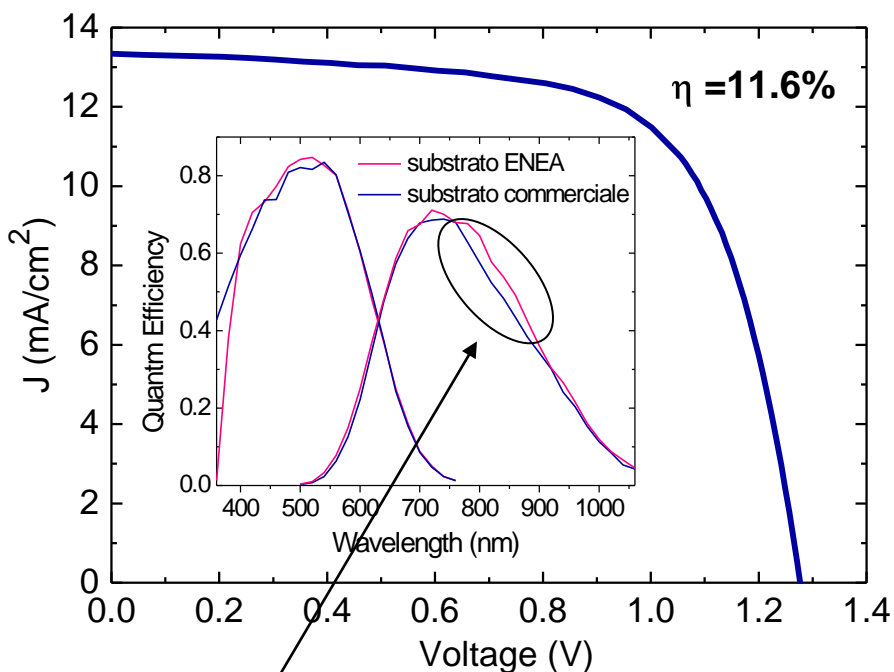
Strati di  $n\text{-SiO}_x\text{:H}$  sono stati utilizzati come strati riflettori intermedi e posteriori nei dispositivi micromorfi



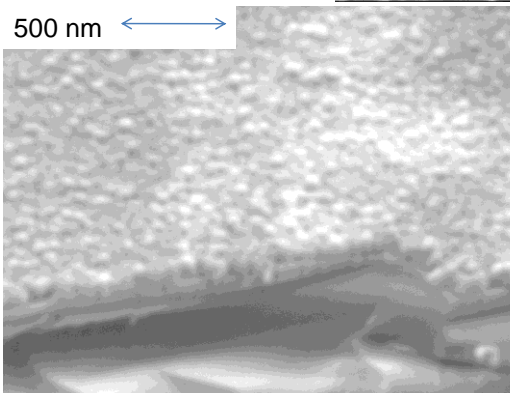
Cella tandem micromorfa semplificata (senza riflettori intermedi e posteriori). Lo spessore degli strati assorbitori è circa  $1.7 \mu\text{m}$

# Film sottili di silicio: intrappolamento della radiazione solare

Sviluppo di elettrodi frontali di ZnO depositati con tecnica MOCVD capaci di efficace intrappolamento della radiazione



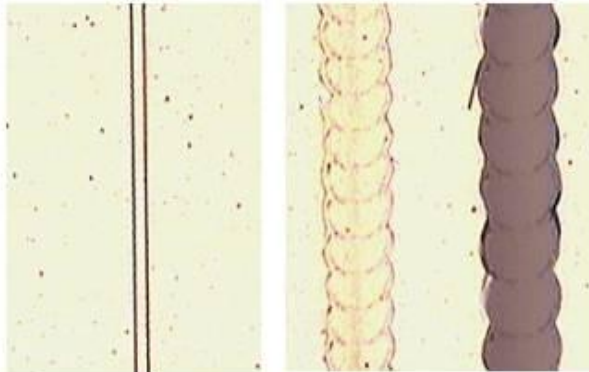
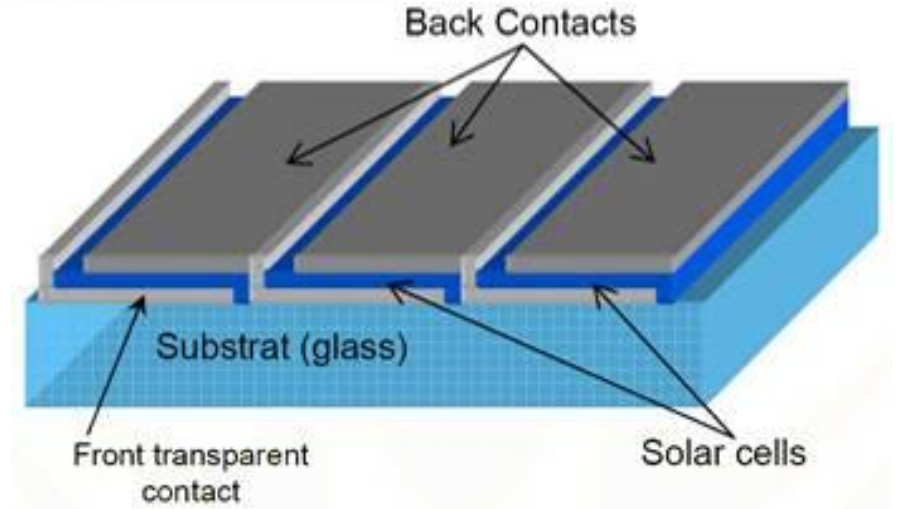
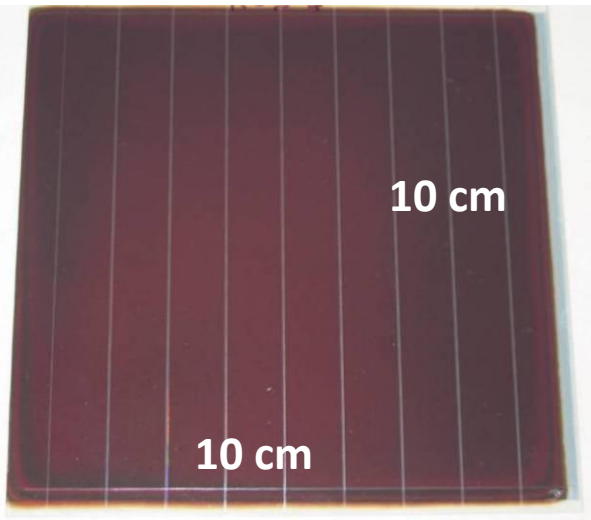
Il substrato con lo ZnO sviluppato in ENEA ha una risposta nell'infrarosso migliore rispetto a quello commerciale



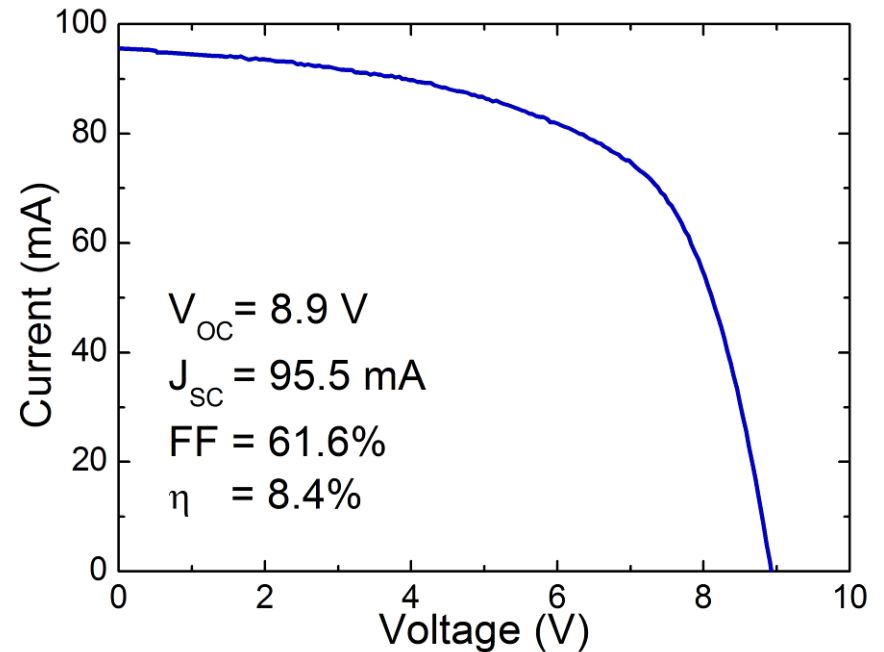
Sviluppo di ZnO mediante tecnica sol-gel



# Film sottili di silicio: Realizzazione minimoduli

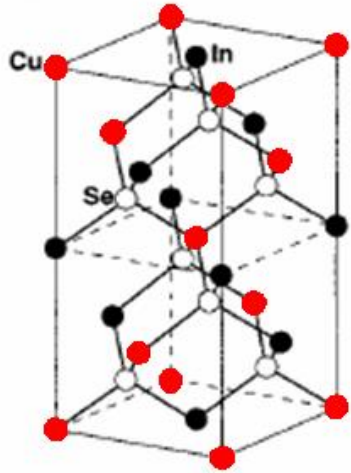


Con laser di lunghezze d'onda opportune vengono rimossi strati specifici di materiale



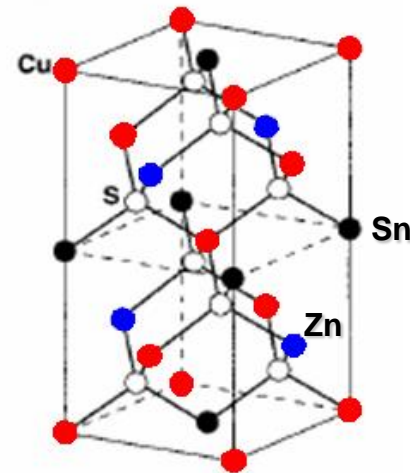
# Sviluppo di celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

Chalcopyrite:  
 $\text{CuInSe}_2$   
(I-III-VI)

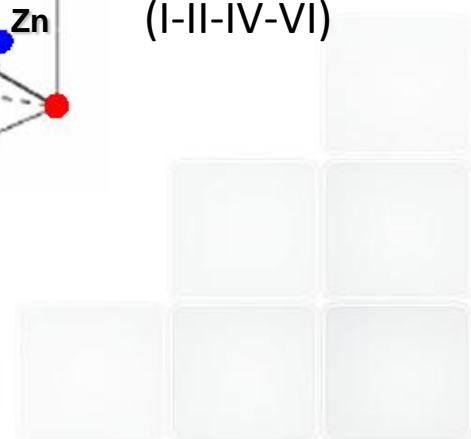


**Possibilità di sostituire l'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV.**

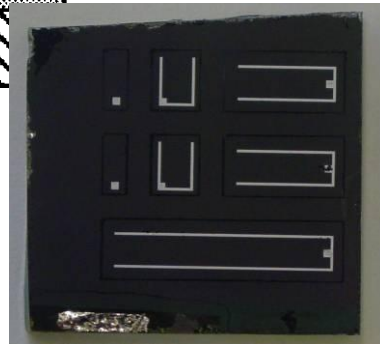
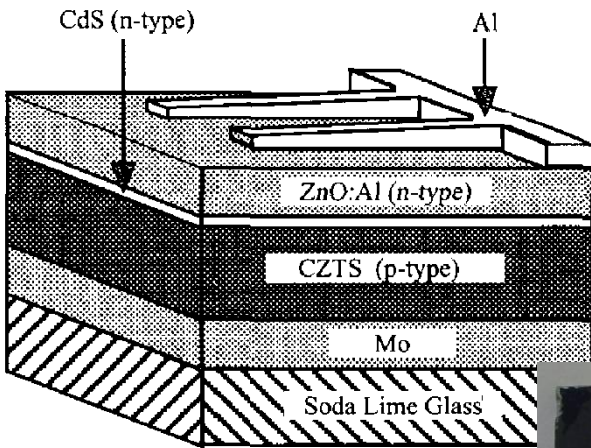
**La ricerca si propone di superare i problemi legati all'utilizzo di materiali scarsamente disponibili**



Kesterite:  
 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$   
(I-II-IV-VI)



# Sviluppo di celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

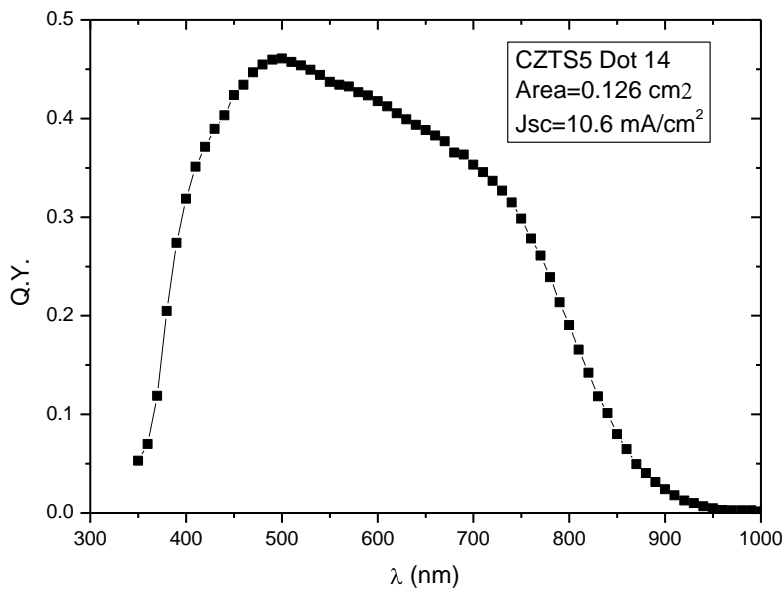
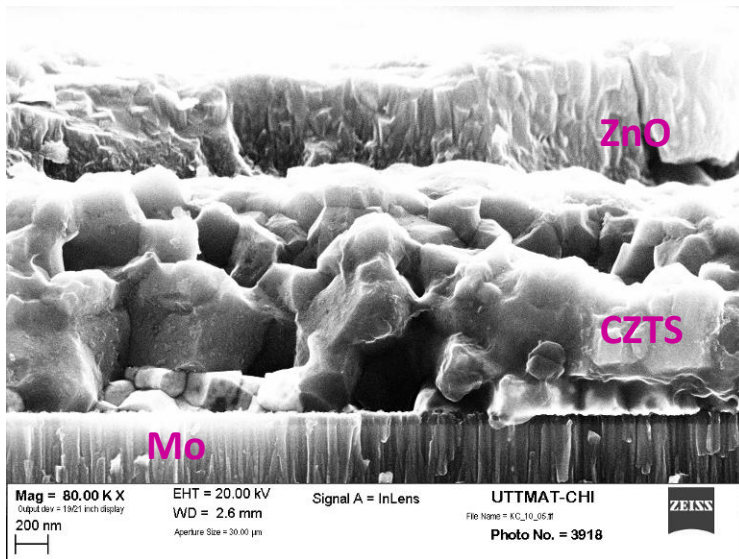


1. Lavaggio vetro soda lime
2. Sputtering back contact di Mo
3. Evaporazione dei precursori
4. Solforizzazione in forno a tubo
5. Deposizione per CBD del CdS
6. Sputtering dello ZnO
7. Evaporazione griglia di raccolta
8. Scribing per definizione area attiva

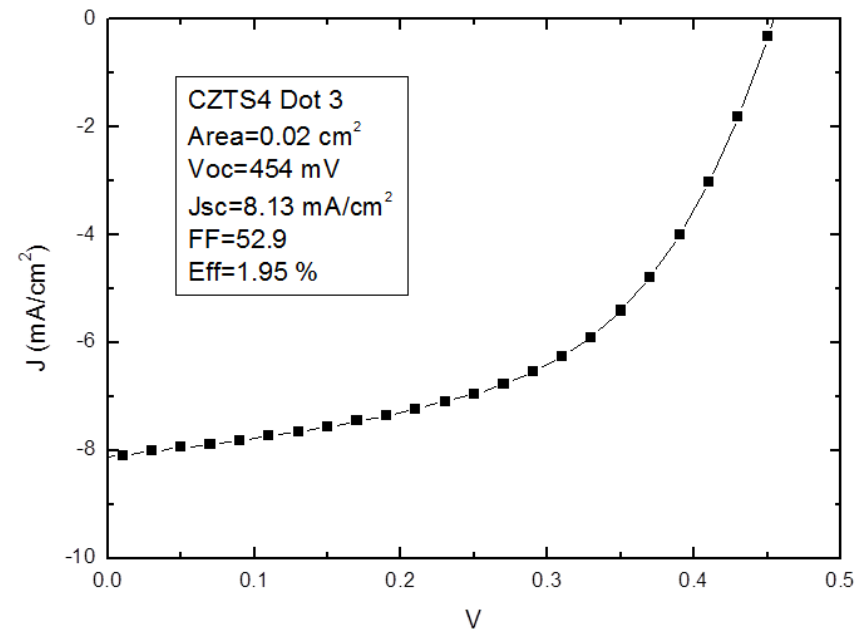


Impianto di deposizione per sputtering

# Sviluppo di celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI

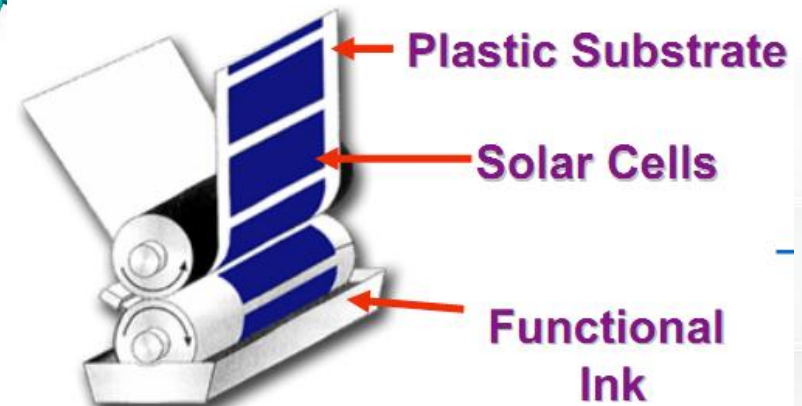
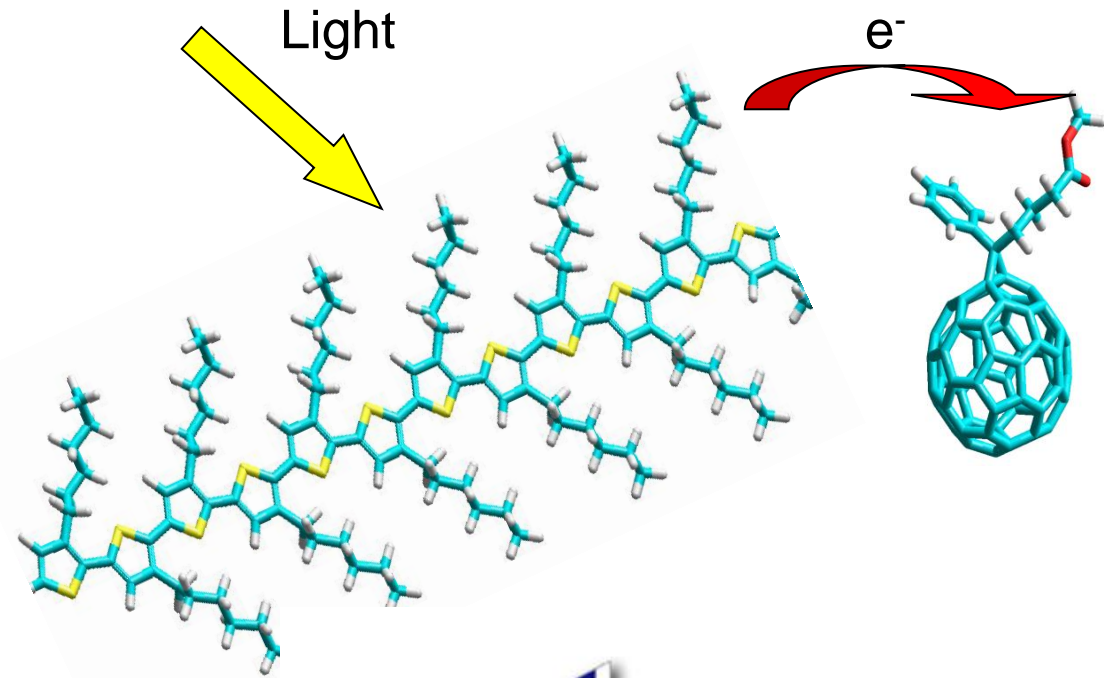
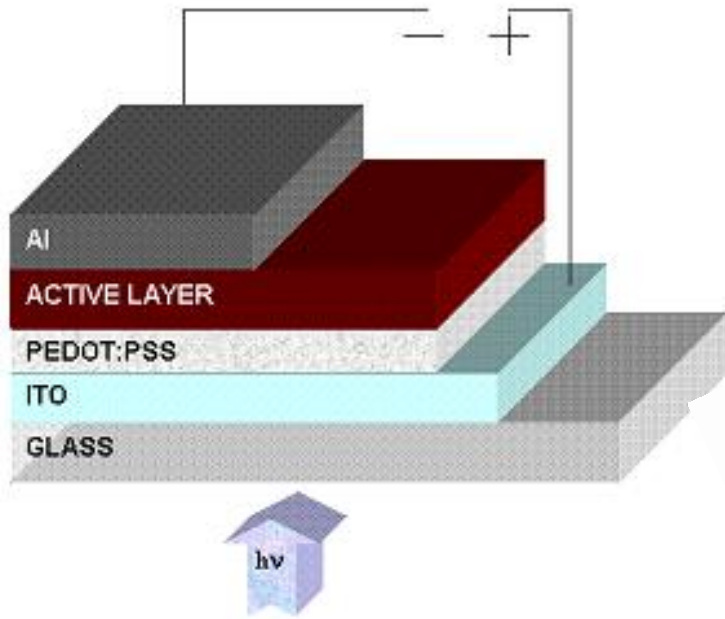


Messa a punto dei processi di crescita e di caratterizzazione di celle solari a film sottili policristallini Cu<sub>2</sub>-II-IV-VI4

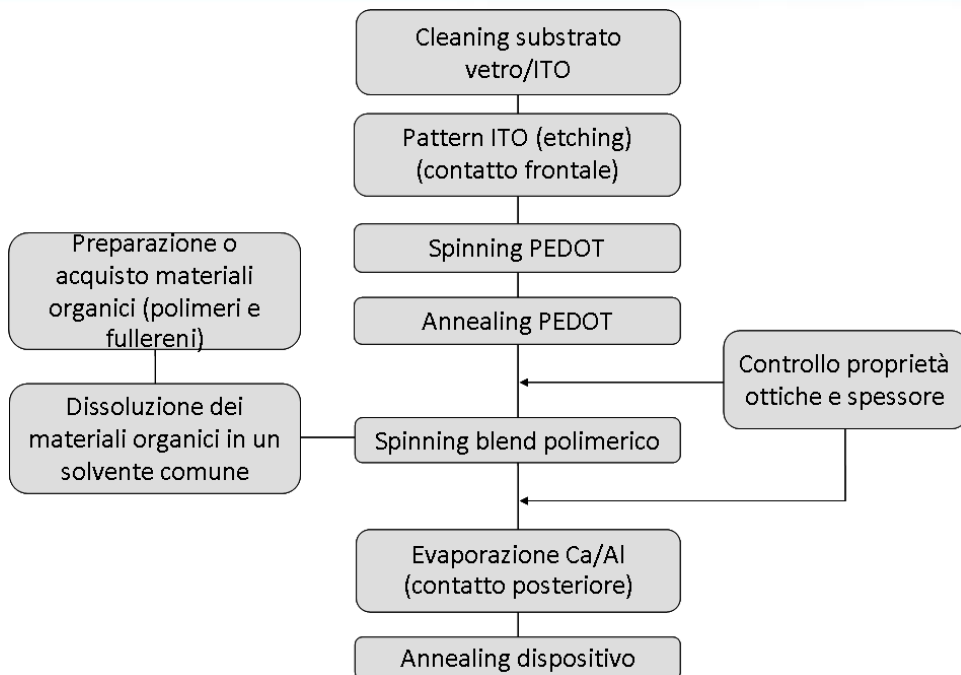


Voc=454 mV, Jsc=8.13 mA/cm<sup>2</sup>,  
FF=52.9 %, Eff=1.95 %, Area=0.02 cm<sup>2</sup>

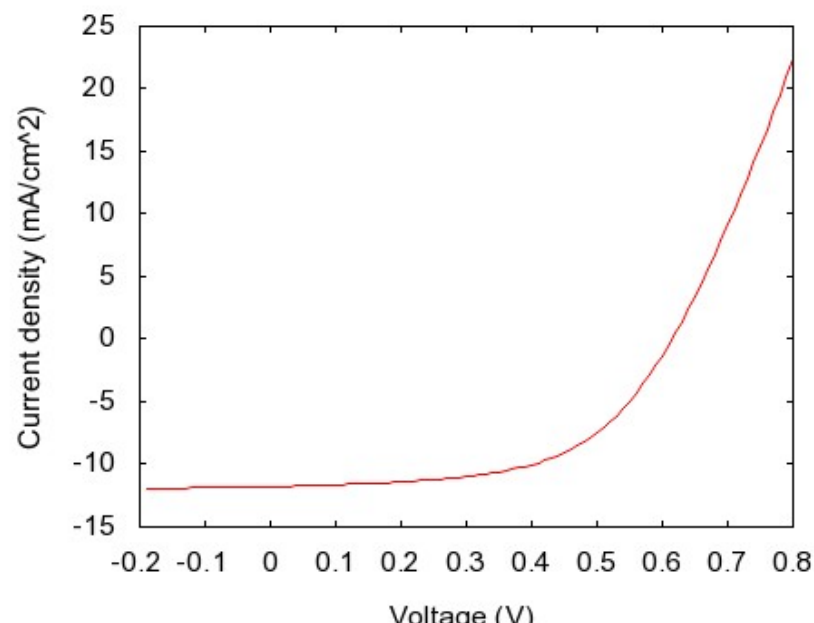
# Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici



# Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici



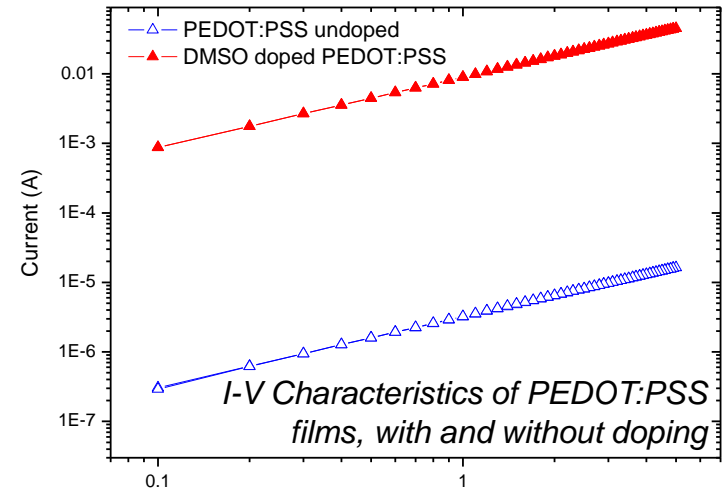
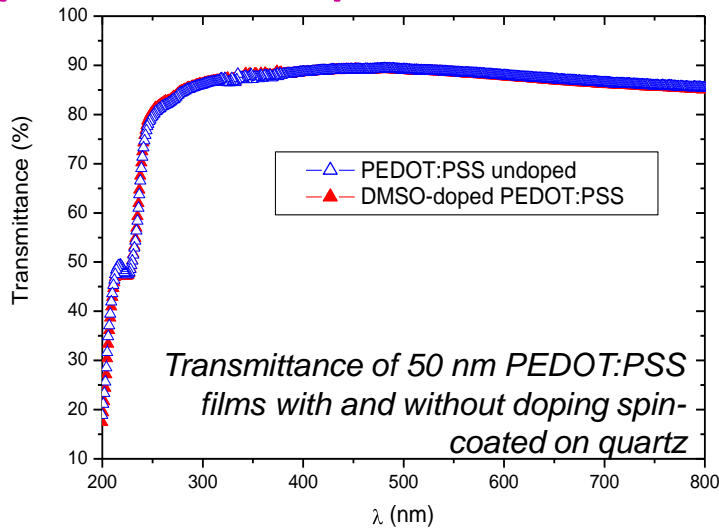
Area= 0.34 cm<sup>2</sup>  
**Eff= 4.1 %**  
FF= 57 %  
Jsc= 11.8 mA/cm<sup>2</sup>  
Voc= 614 mV  
Rs= 11 Ohm\*cm<sup>2</sup>  
Rsh= 918 Ohm\*cm<sup>2</sup>



# Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici



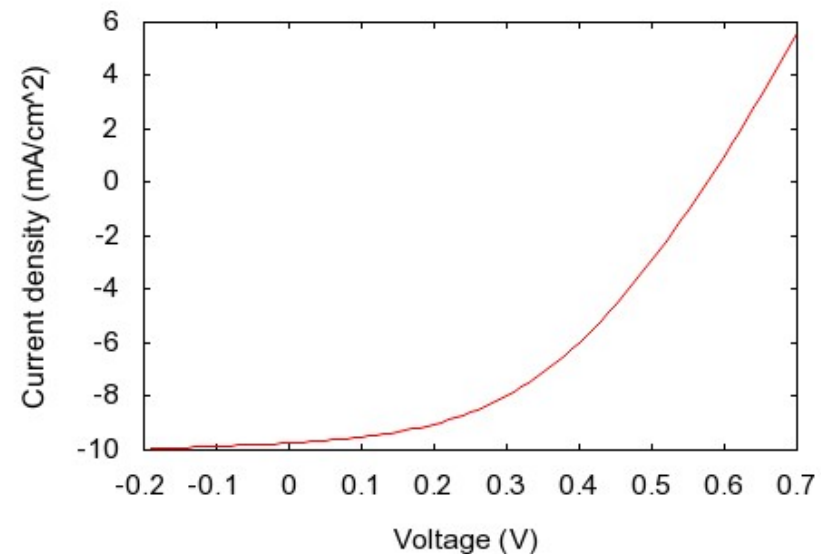
## Sviluppo di PEDOT:PSS altamente conduttivo per celle solari polimeriche



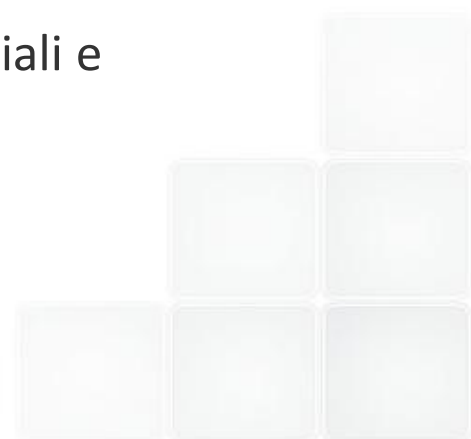
### Struttura del dispositivo:

GLASS  
HC-PEDOT:PSS  
P3HT:PCBM  
Ca  
Al

Area= 0.20 cm<sup>2</sup>  
**Eff= 2.5 %**  
FF= 44 %  
Jsc= 9.7 mA/cm<sup>2</sup>  
Voc= 575 mV  
Rs= 25 Ohm\*cm<sup>2</sup>  
Rsh= 606 Ohm\*cm<sup>2</sup>



- **Università degli Studi “Federico II” di Napoli** – Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione
- **Università di Genova** – Dipartimento di Fisica
- **Università del Sannio** - Dipartimento di Ingegneria
- **Università della Calabria** – Dipartimento di elettronica informatica e sistemistica
- **Università di Modena e Reggio Emilia** - Dipartimento di Chimica
- **Università di Trieste** – Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche
- **Università di Salerno** – Dipartimento di Ingegneria elettronica e Ingegneria Informatica
- **Università di Trento** - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali
- **Università “La Sapienza” di Roma** - Dipartimento di Fisica
- **FN SpA**





## **ENEA UTTP – Laboratori di Portici**

[paola.delliveneri@enea.it](mailto:paola.delliveneri@enea.it)

[lucia.mercaldo@enea.it](mailto:lucia.mercaldo@enea.it)

[marialuisa.addonizio@enea.it](mailto:marialuisa.addonizio@enea.it)

[pasquale.morvillo@enea.it](mailto:pasquale.morvillo@enea.it)

## **ENEA UTRINN-FVC – Laboratori di Casaccia**

[alberto.mittiga@enea.it](mailto:alberto.mittiga@enea.it)

**Paola Delli Veneri**  
**Alberto Mittiga**

Si ringrazia Carlo Privato

# Ricerca su celle fotovoltaiche innovative

