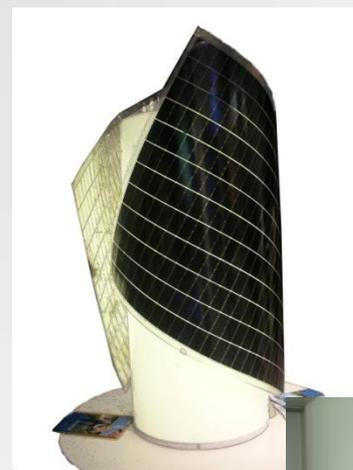




Tecnologie innovative di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili

## La ricerca su celle fotovoltaiche innovative

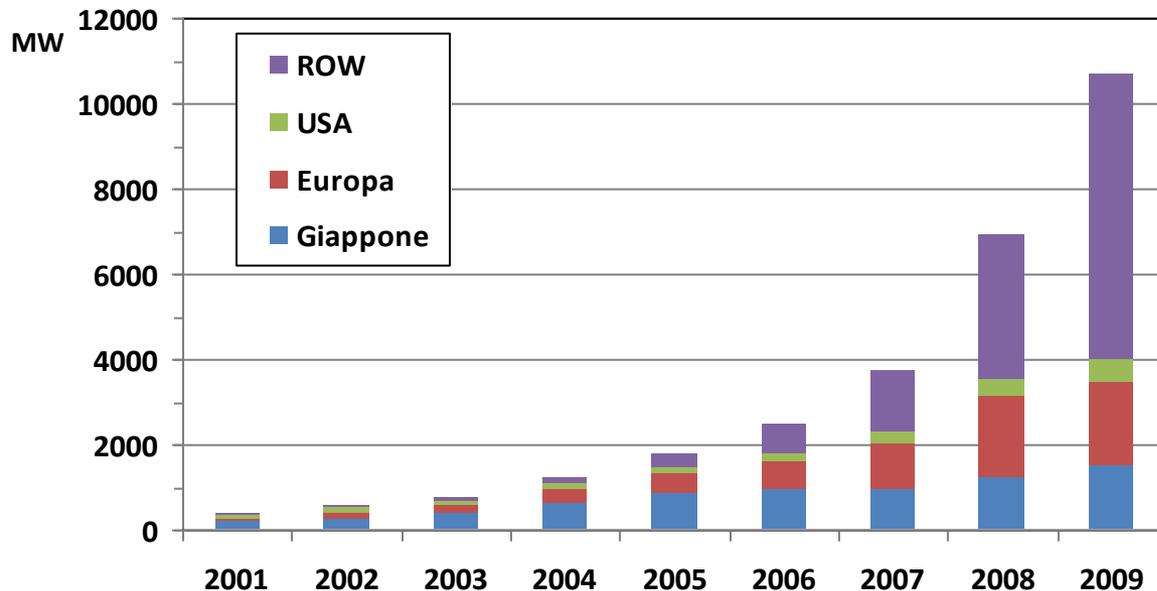


Paola Delli Veneri - Ricercatrice ENEA

**L'ENEA E LA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO**  
**Roma, 26 ottobre 2010**



# Produzione di celle solari

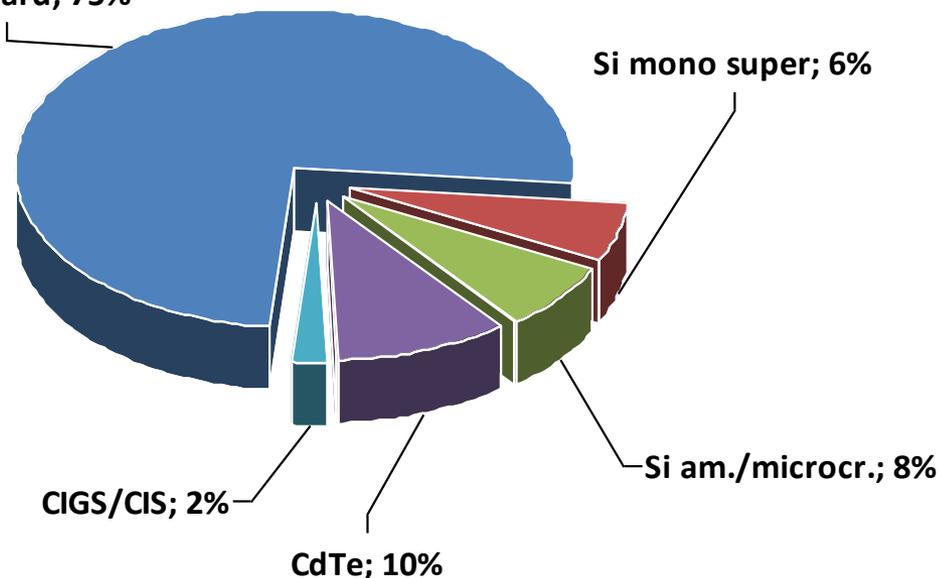


Produzione mondiale di  
celle solari nel 2009

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

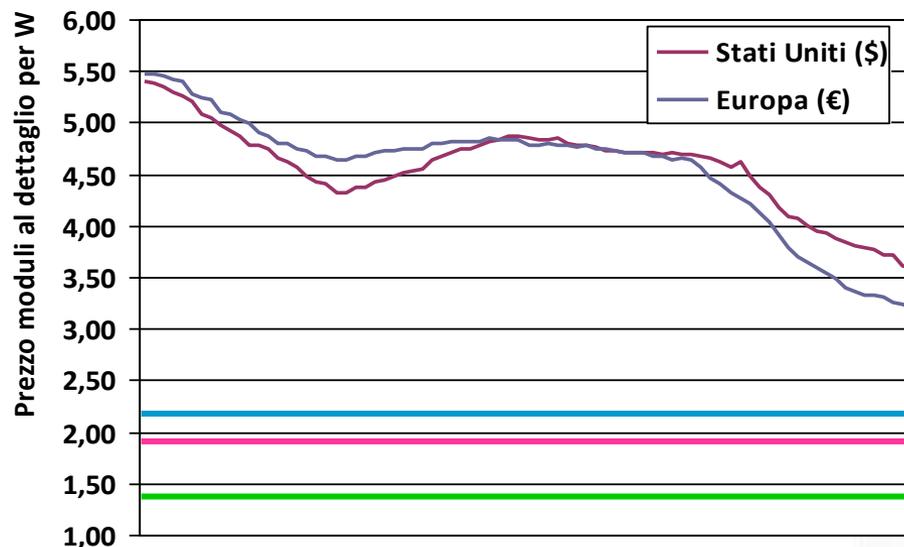
# Mercato delle varie tecnologie FV

Si standard; 75%



Il silicio cristallino ad oggi domina il mercato del FV.

I film sottili sono passati dal 13% nel 2008 al 20% nel 2009.



## Best Prices

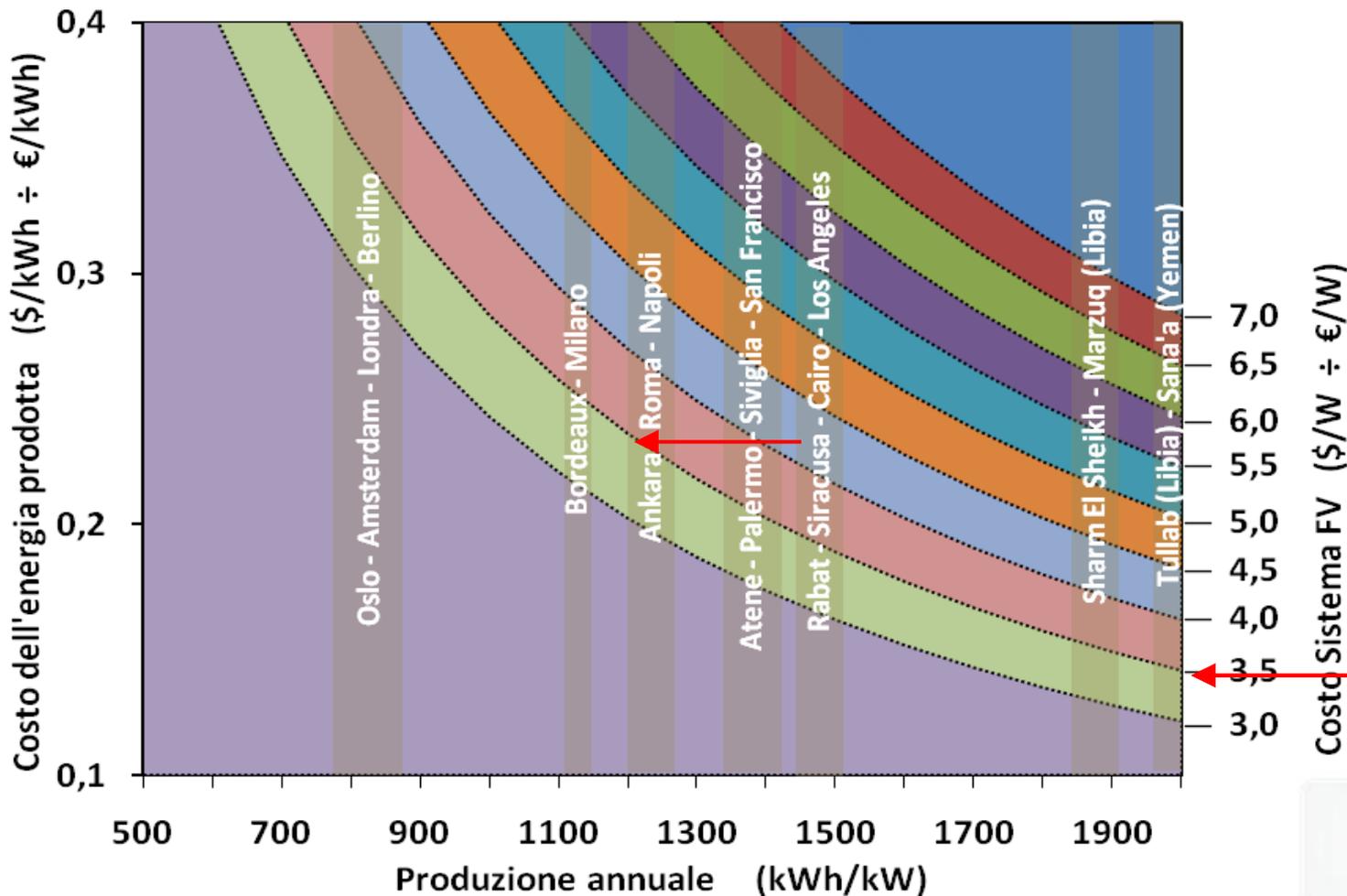
Mono 2,21 \$/W  
Multi 1,97 \$/W

T.Film 1,40 \$/W

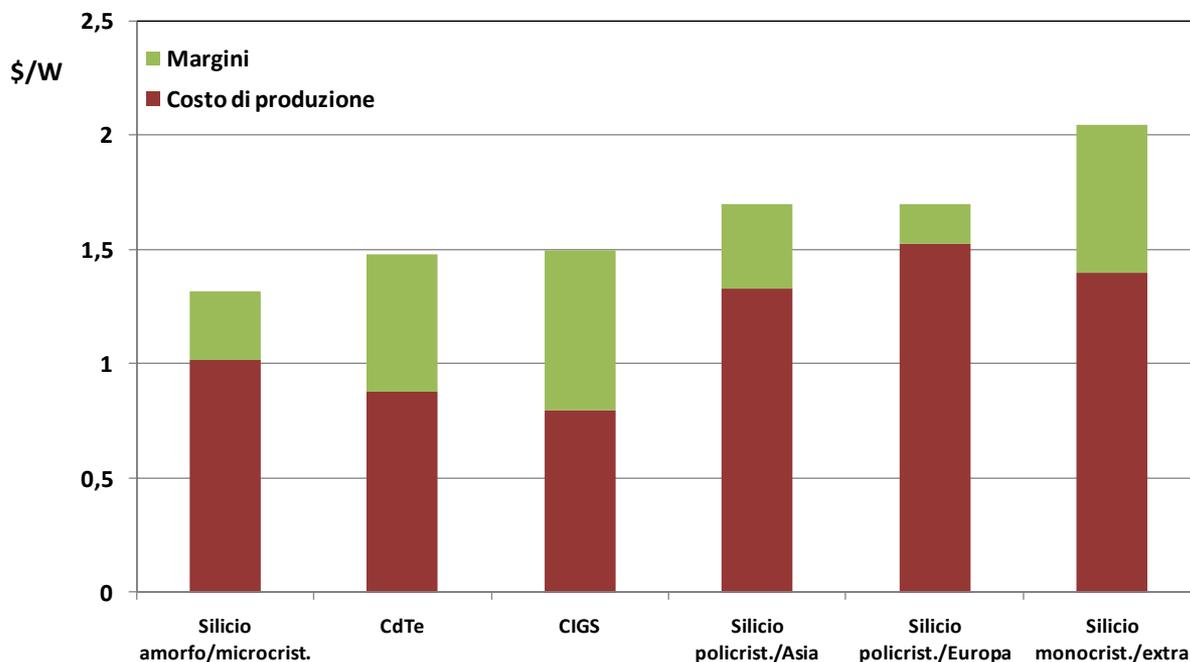
Dicembre 2001

Ottobre 2010

# Costi dell'energia FV



# Costi di produzione e margini di profitto



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

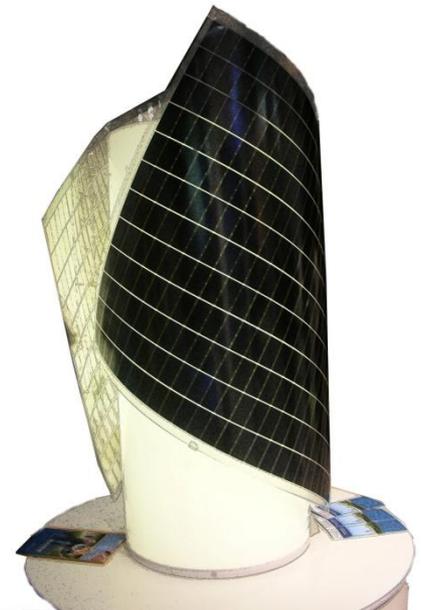
## Obiettivi di costo

Silicio amorfo/microcrist. 0,5 \$/W (Oerlikon)

Tellururo di cadmio (CdTe) 0,7 \$/W (First Solar )

**L'aumento dell'efficienza dei moduli può consentire la riduzione del prezzo per l'utente, lasciando margini di profitto al produttore**

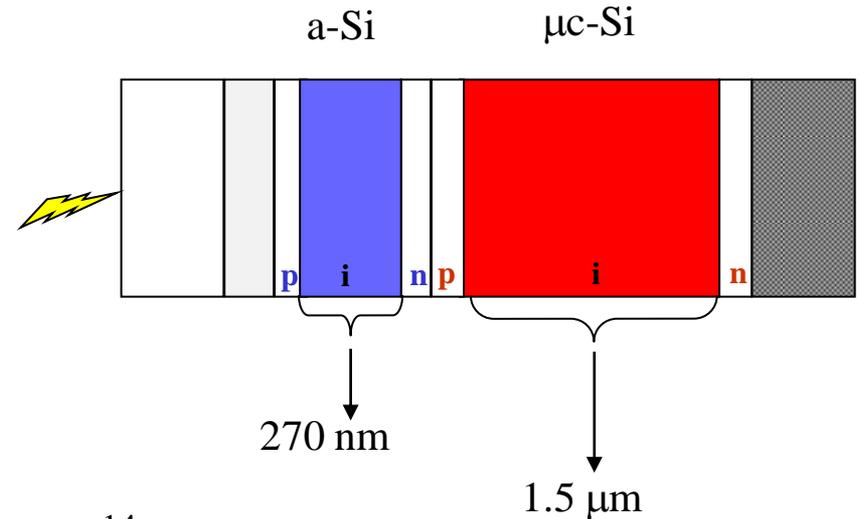
- ❖ Fotovoltaico avanzato a base di film sottili di silicio
- ❖ Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI
- ❖ Sviluppo di celle organiche a base di materiali o ibridi



# Film sottili di silicio



## Celle tandem micromorfe

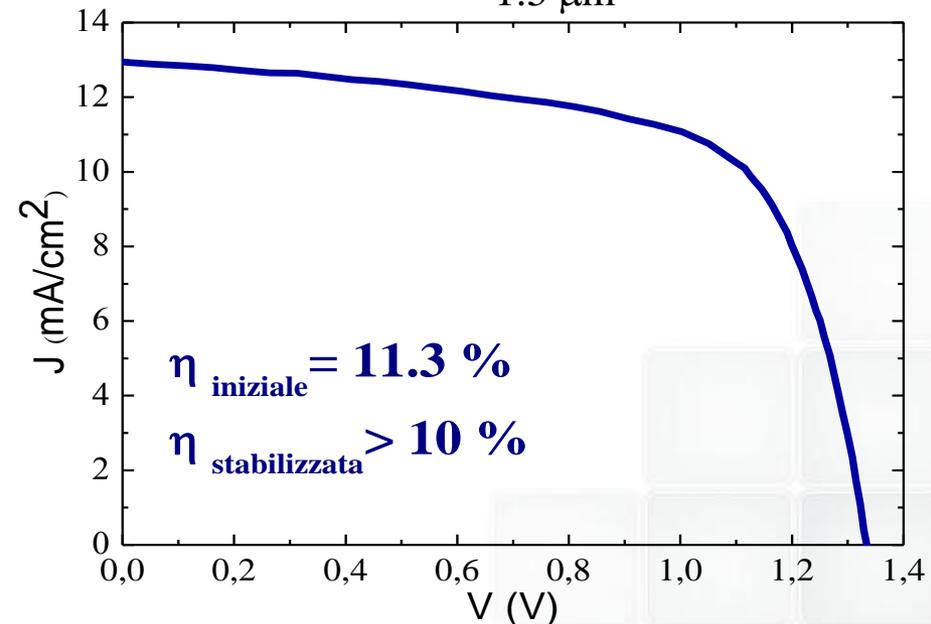


*Technique:* **VHF PECVD at 100 MHz**

*Deposition temperature:* **150°C**

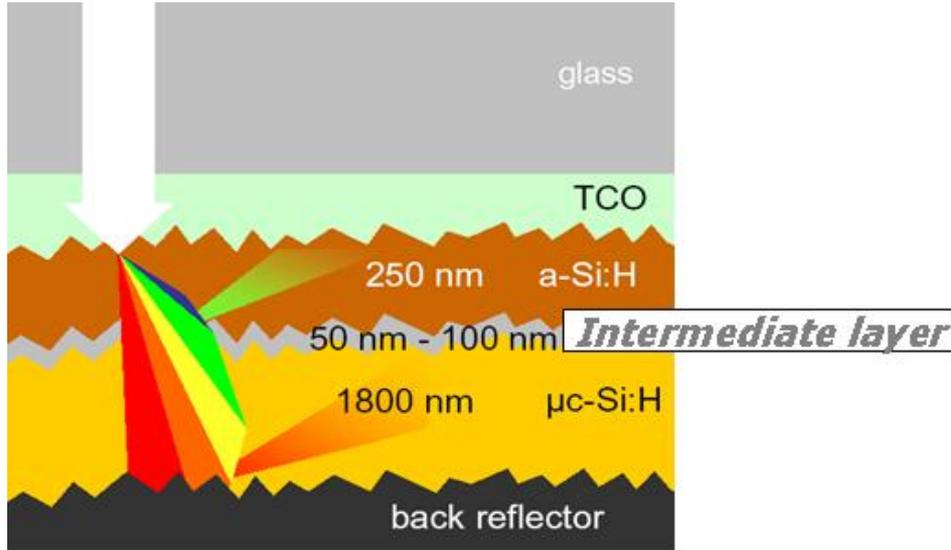
*Substrate:* Glass/SnO<sub>2</sub> Asahi U-type

*Area:* 1 cm X 1 cm



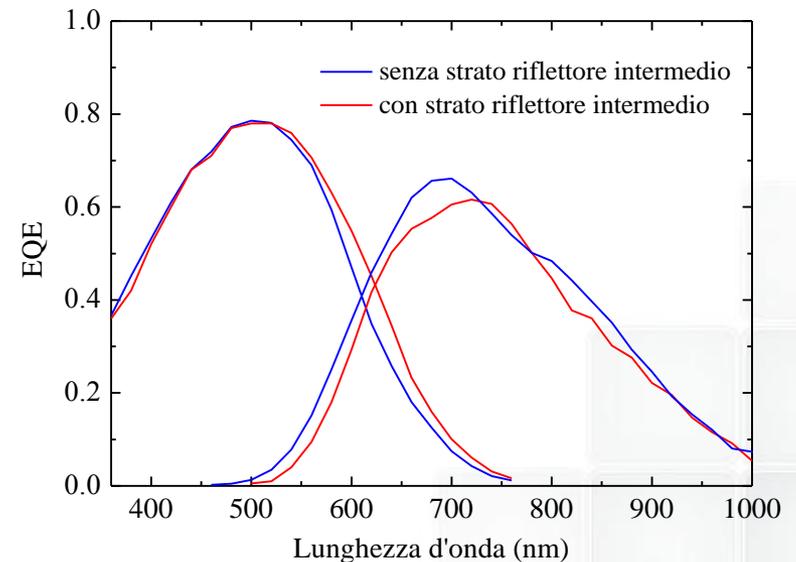
# Film sottili di silicio

## Celle tandem micromorfe con strati riflettori intermedi



Utilizzando uno strato di  $\text{SiO}_x$ , è stato evidenziato un miglioramento dell'intrappolamento della luce nella cella top.

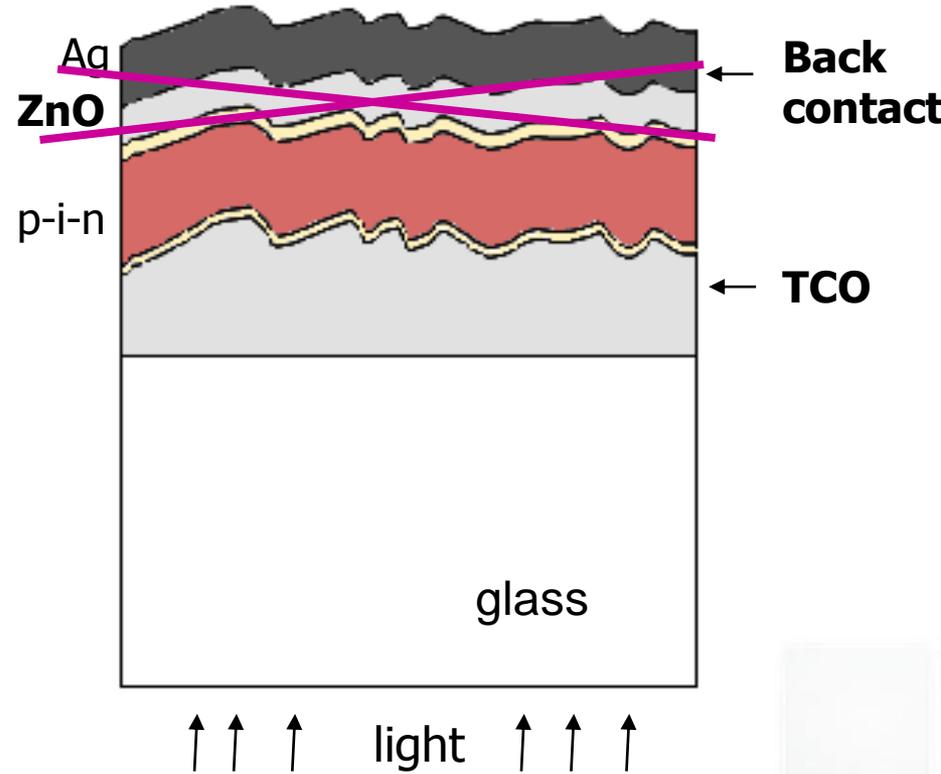
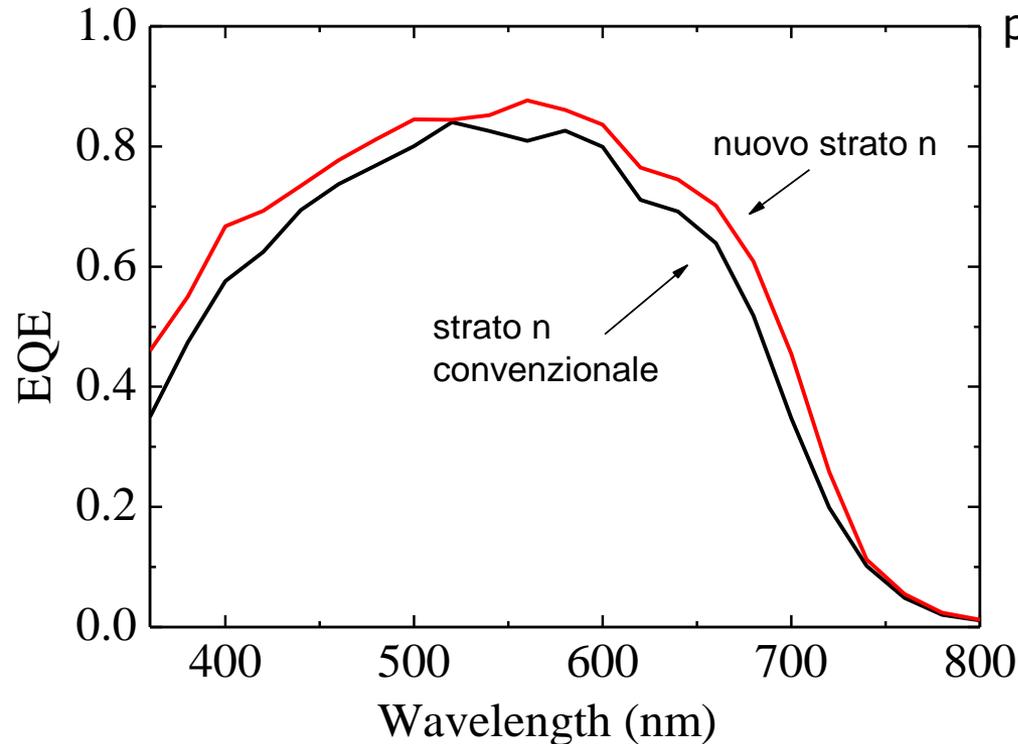
Studio delle proprietà ottiche ed elettriche di film di  $\text{SiO}_x\text{:H}$  e  $\text{SiN}_x\text{:H}$  depositati con tecnica PECVD



# Film sottili di silicio

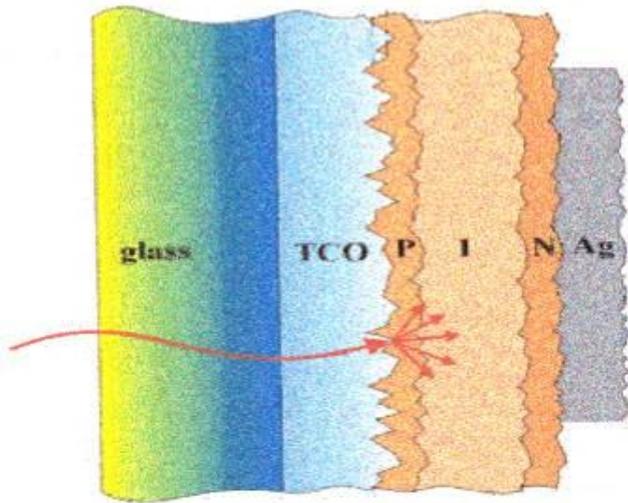
E' stato proposto l'utilizzo di film di  $\text{SiO}_x\text{:H}$  drogati come strati di tipo n alternativi a quelli attualmente utilizzati

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

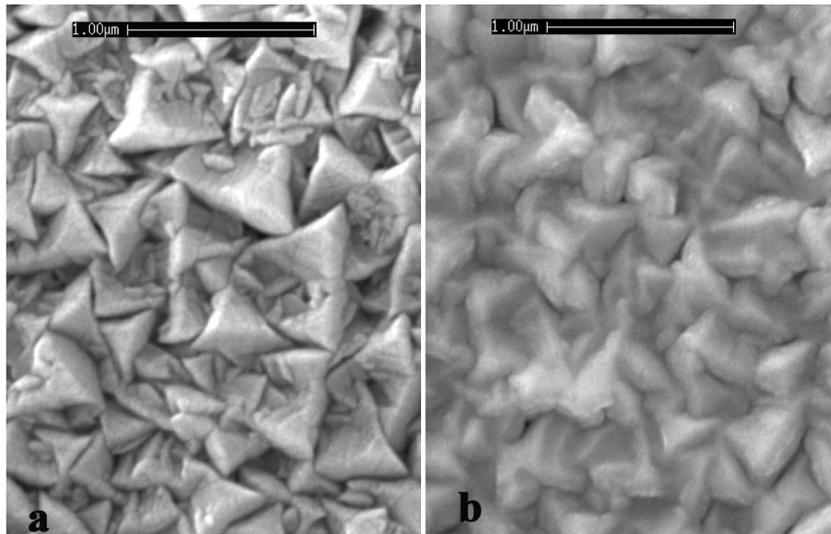


Il nuovo strato n consente di semplificare il riflettore posteriore delle cella

# Film sottili di silicio

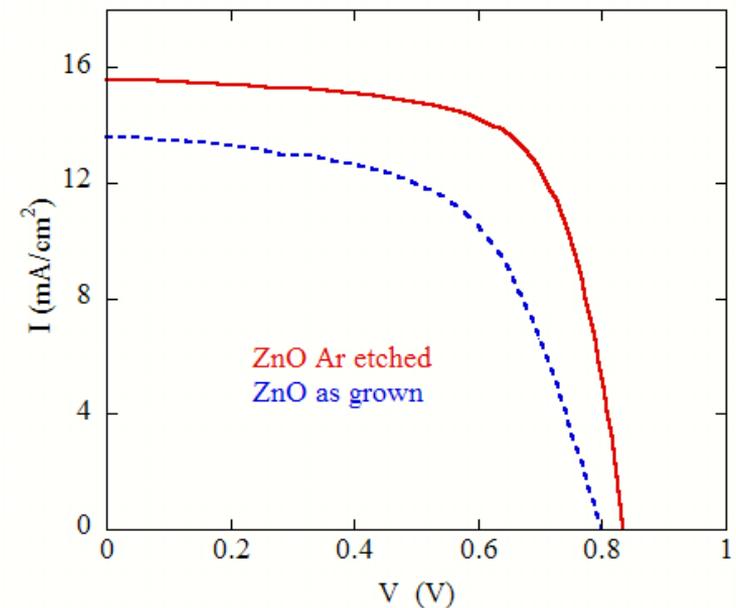


Ottimizzazione dei trattamenti superficiali dei film di ZnO da utilizzare come contatto frontale



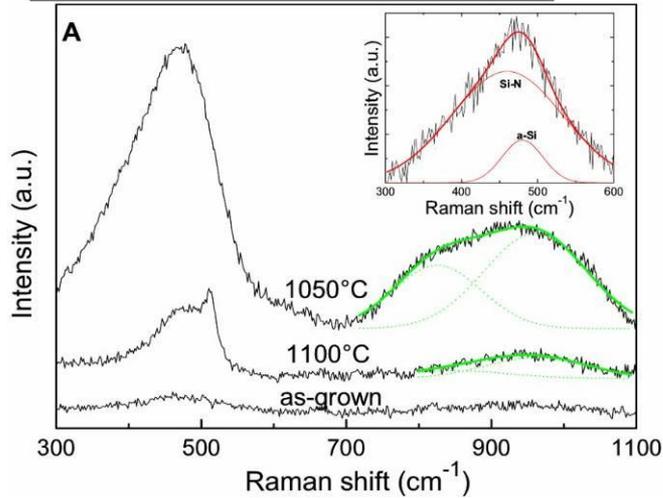
Film di ZnO "as grown" e dopo il trattamento superficiale

I-V di celle cresciute su film di ZnO con e senza trattamento

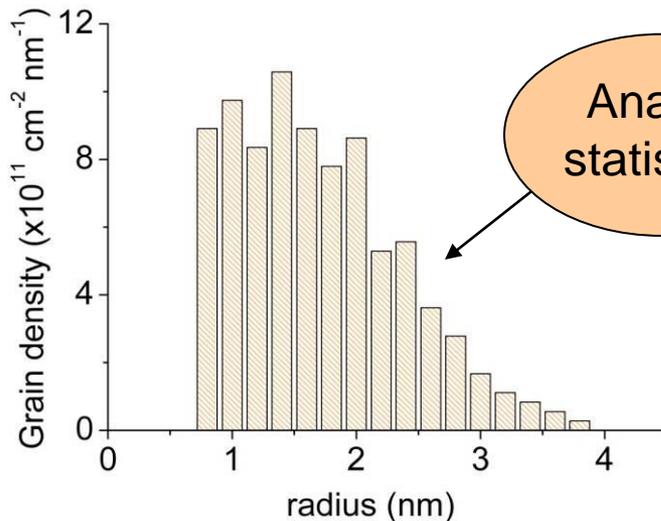


# Film sottili di silicio

## Analisi micro-Raman



Parziale separazione di fase già in materiale as-grown favorita da annealing



Analisi statistica

Studio di materiali assorbitori a quantum dot di silicio in matrice di nitruro di silicio

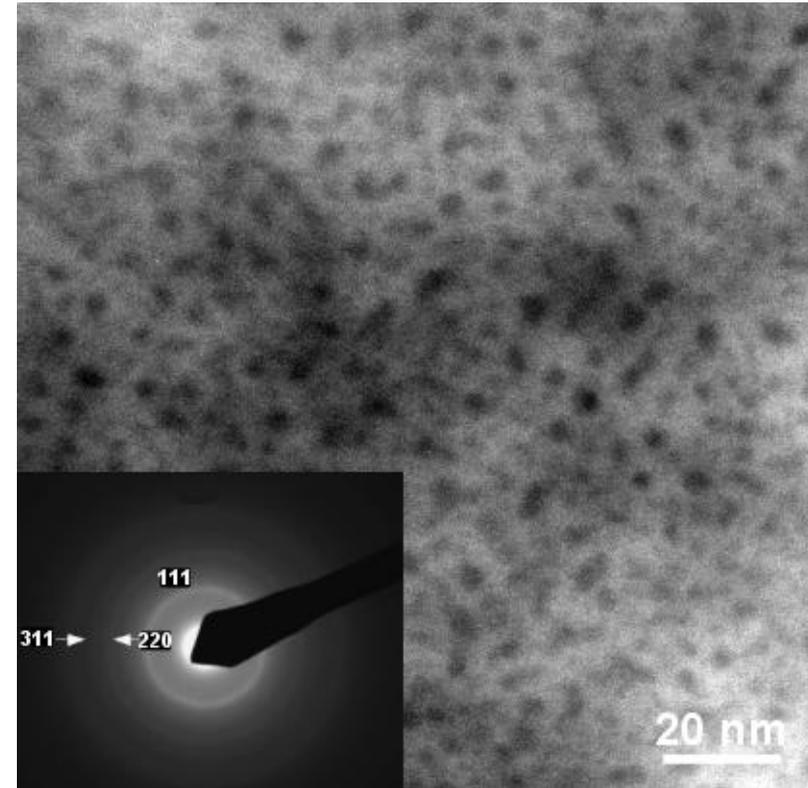
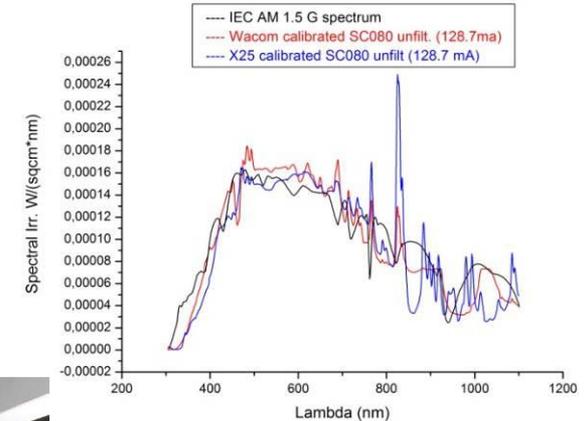


Immagine EFTEM della separazione di fase completa con formazione di Quantum Dot cristallini di Si dopo annealing di 1h a 1100°C

# Film sottili di silicio

## Principali attrezzature installate nei laboratori

Simulatore solare dual lamp  
Wacom per misure su celle e  
minimoduli micromorfi

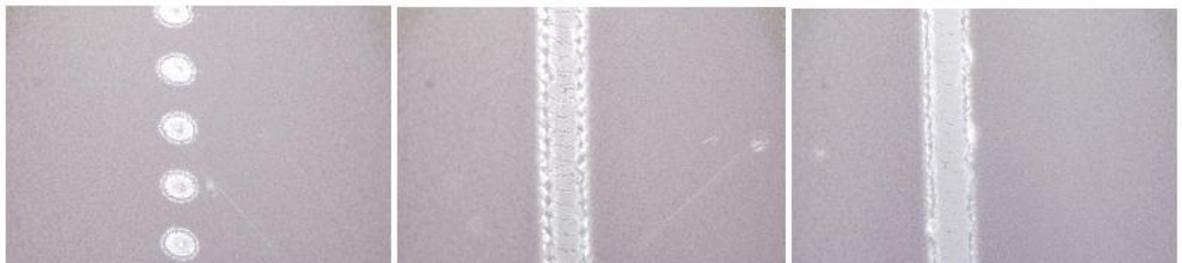


Simulatore solare per test su  
moduli a film sottile (norma EN  
61646)



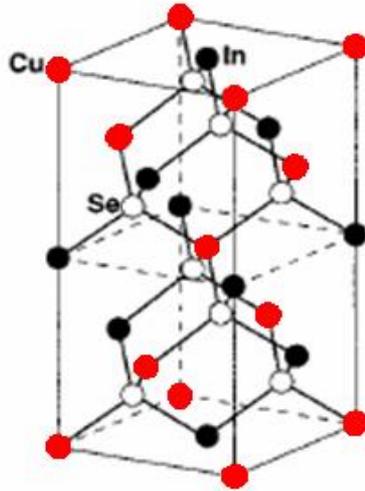
Laboratorio di laser scribing:

- ❖ sorgente laser verde
- ❖ tavole motorizzate
- ❖ portacampioni



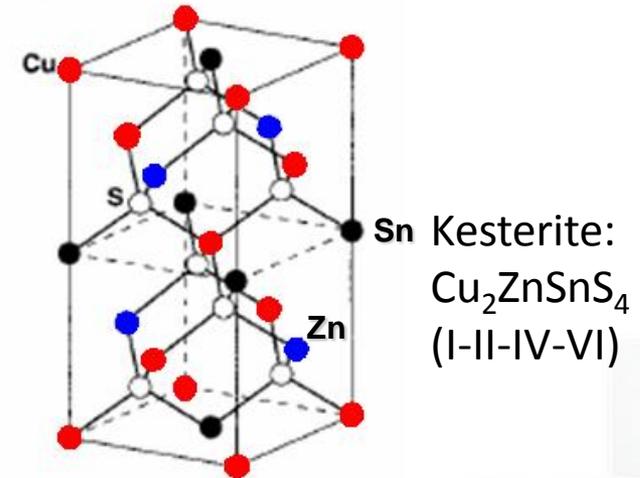
# Film sottili policristallini $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$

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



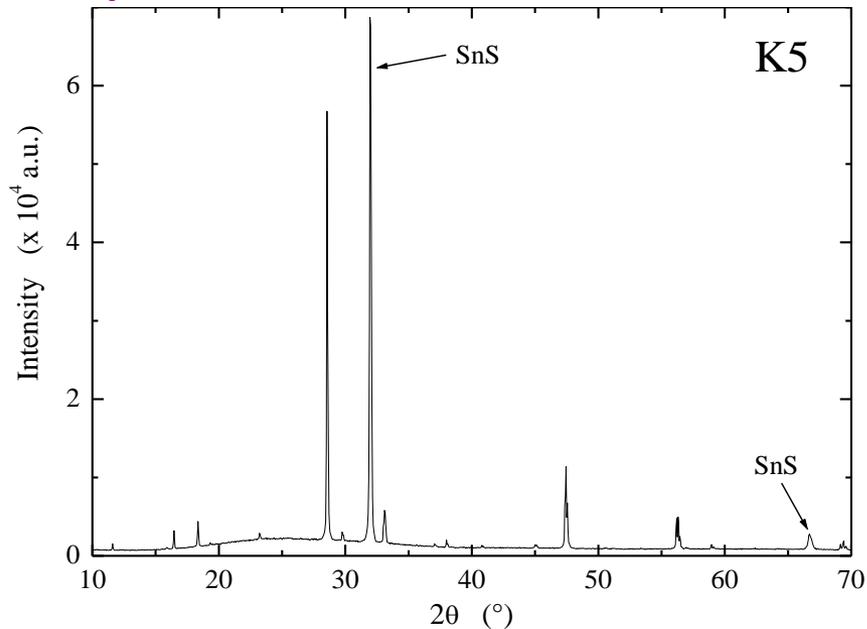
**Possibilità di sostituire l'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV.**

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



**Necessità di implementare il laboratorio con un sistema di sputtering per la deposizione dei materiali**

## Spettro di diffrazione X



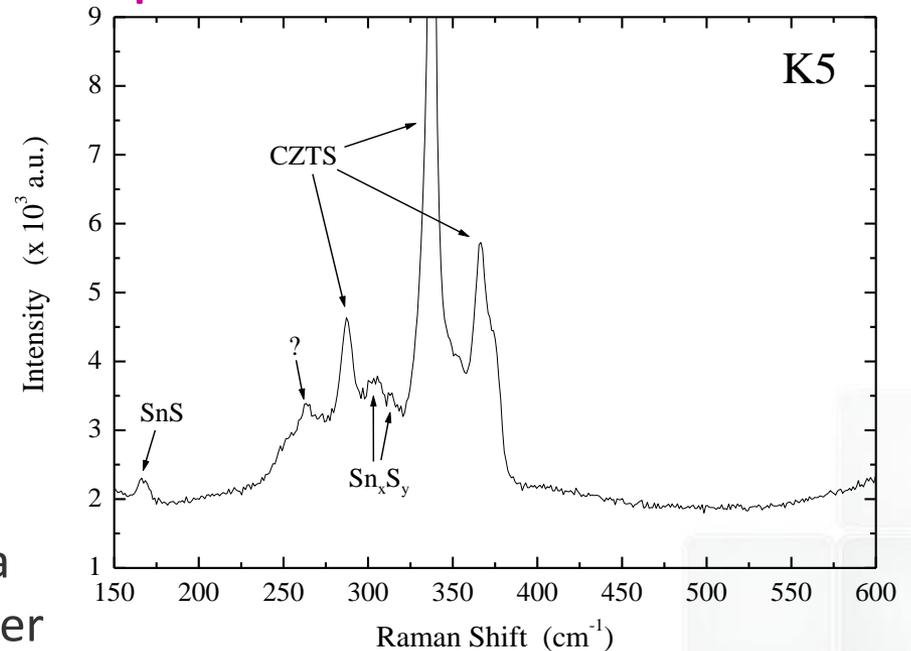
I materiali presentano fasi spurie.

Un migliore controllo della stechiometria consentirà di ottenere materiali idonei per l'utilizzo nei dispositivi.

## Film di $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Evaporazione dei film precursori e successiva solforizzazione

## Spettro Raman



# Celle polimeriche

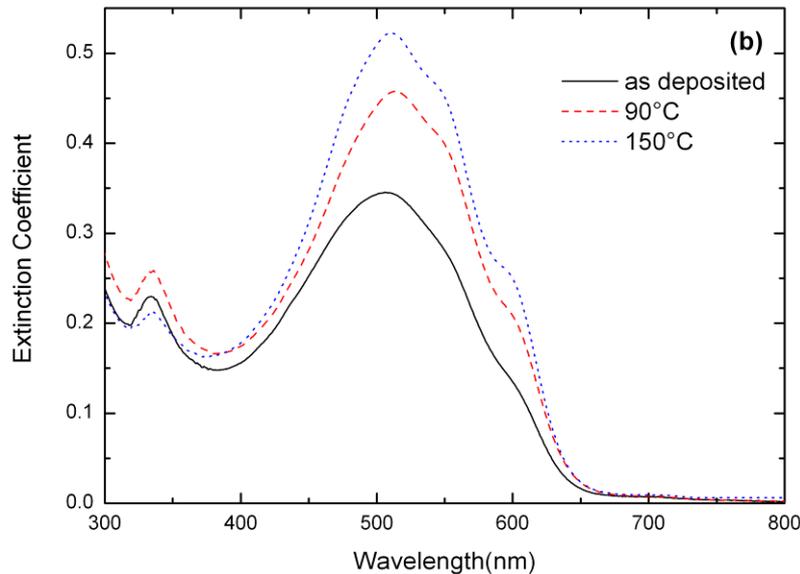
**Allestimento di un nuovo laboratorio per  
la realizzazione di celle polimeriche in  
atmosfera controllata**



**Glove box operante in atmosfera di azoto**

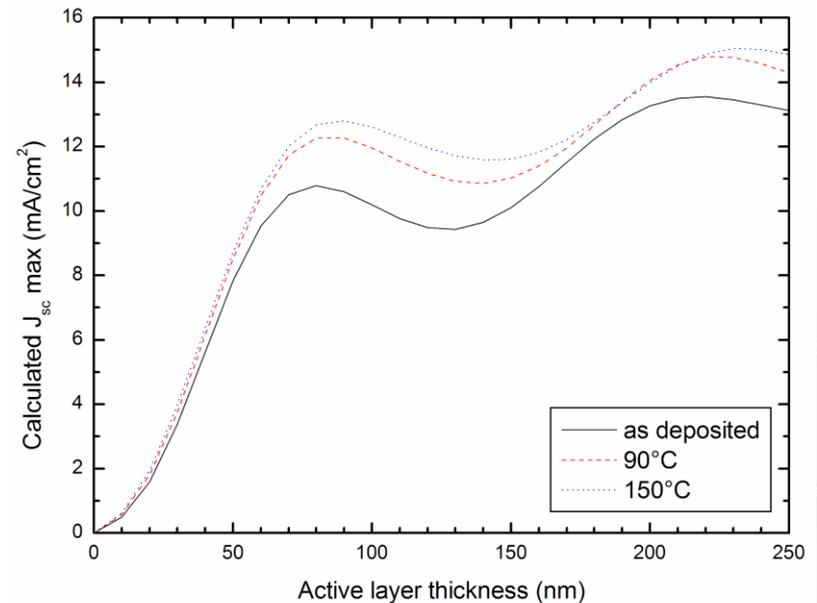
Il laboratorio è completato con attrezzature per il trattamento preliminare dei campioni e per una prima caratterizzazione in situ dei dispositivi.

## Modello ottico per l'ottimizzazione degli spessori dello strato attivo



**Ottimizzazione dello spessore dello strato attivo**

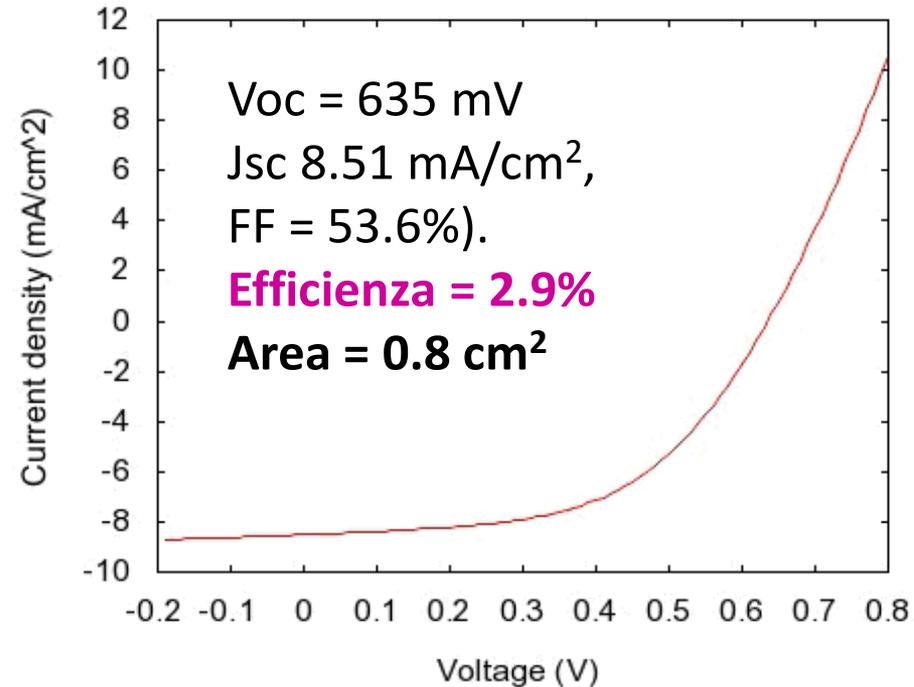
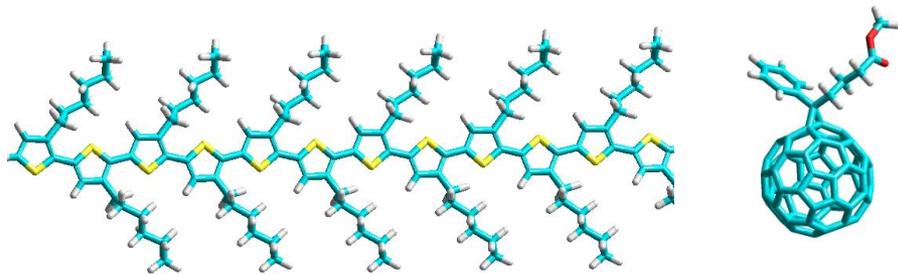
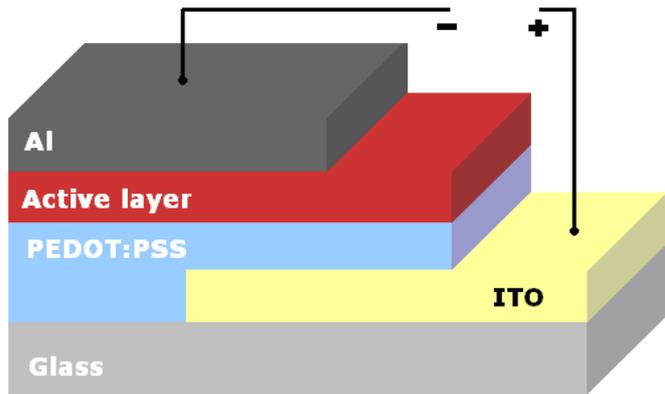
**Determinazione delle costanti ottiche di ciascuno strato e calcolo del coefficiente di assorbimento dello strato attivo**



# Celle polimeriche

Vetro/ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al

Prototipo di dispositivo



Sono stati sintetizzati nuovi materiali polimerici e ibridi (organici-inorganici) e sono stati avviati test di fabbricazione dei dispositivi

# Conclusioni e prospettive

## **Fotovoltaico a base di film sottili di silicio**

- ✓ Sviluppo di film di ossido di silicio per utilizzo come strati riflettori intermedi e posteriori per i dispositivi
- ✓ Ottimizzazione dei trattamenti di film di ZnO per elettrodo frontale
- ❖ **Sviluppo di strati assorbitori alternativi e innovativi per celle tandem**
- ❖ **Materiali e nuove architetture per migliorare l'intrappolamento della radiazione solare**

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

- ✓ Implementazione dei laboratori e primi test di crescita di film di  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ .
- ❖ **Messa a punto di processi di crescita e di caratterizzazione di celle solari.**

## **Sviluppo di celle organiche a base di materiali polimerici o ibridi**

- ✓ Allestimento di una linea sperimentale di dispositivi a base polimerica in atmosfera controllata
- ✓ E' stata ottenuta un'efficienza massima di 2.9%.
- ❖ **Realizzazione di celle fotovoltaiche polimeriche con efficienza del 4% e valutazione della stabilità di tali dispositivi.**

## **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)

### **Collaborazioni esterne:**

**Università di Genova – Dipartimento di Fisica**

**Università di Modena e Reggio Emilia - Dipartimento di Chimica**

**Università del Salento - Dipartimento di Ingegneria dell’Innovazione**

**Università di Trento - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali**

**Università “La Sapienza” di Roma - Dipartimento di Fisica**