

The ENEA logo features the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font against a dark blue background. To the left of the text is a stylized graphic of a sun or starburst with rays emanating from it.

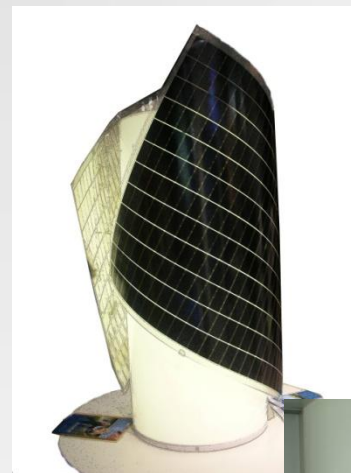
AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Tecnologie innovative di generazione di energia
elettrica da fonti rinnovabili

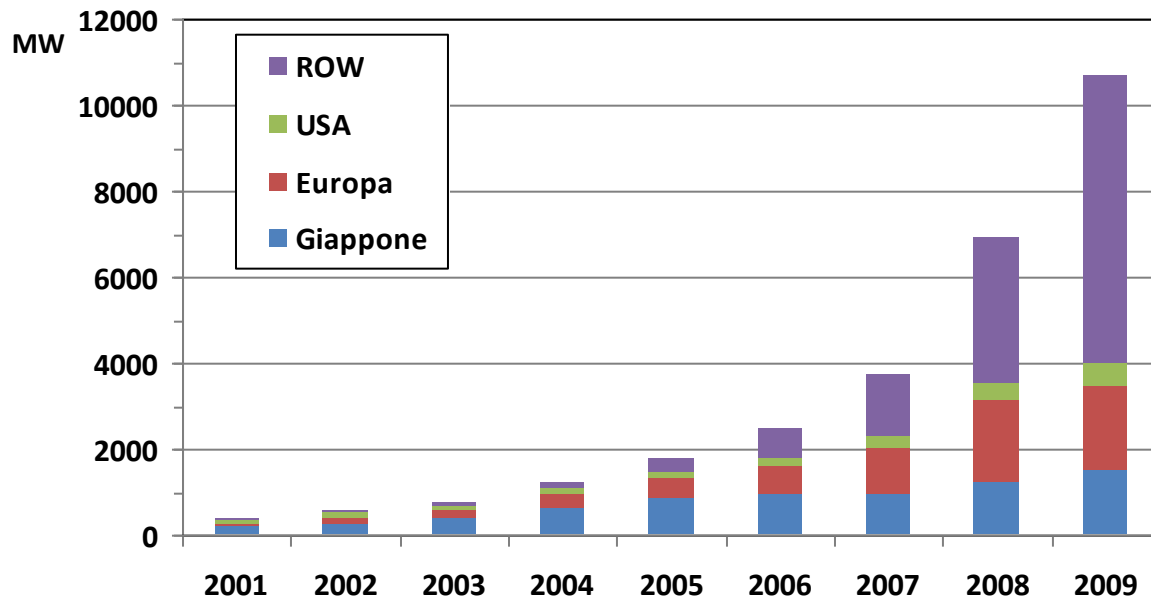
La ricerca su celle fotovoltaiche innovative

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%	+22,8%
Europa	+42,3%	+58,8%	+78,4%	+0,8%
USA	+16,3%	+52,2%	+52,0%	+41,7,0%
ROW (Cina, Taiwan, India, ecc.)	+110,8%	+113,1%	+134,2%	+97,3%
Totale	+37,9%	+51,1%	+86,9%	+54,3%

Mercato delle varie tecnologie FV

Si standard; 75%

Si mono super; 6%

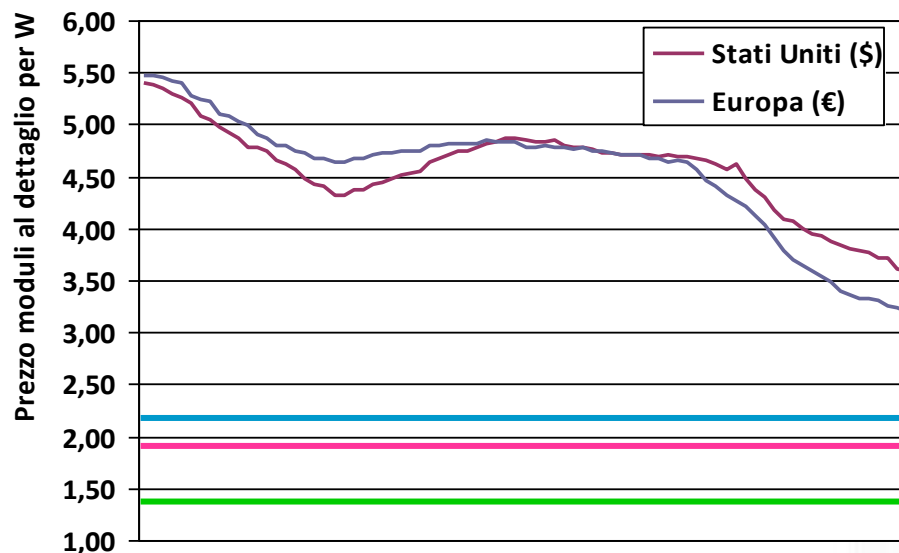
Il silicio cristallino ad oggi
domina il mercato del FV.

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

CIGS/CIS; 2%

Si am./microcr.; 8%

CdTe; 10%



Dicembre 2001

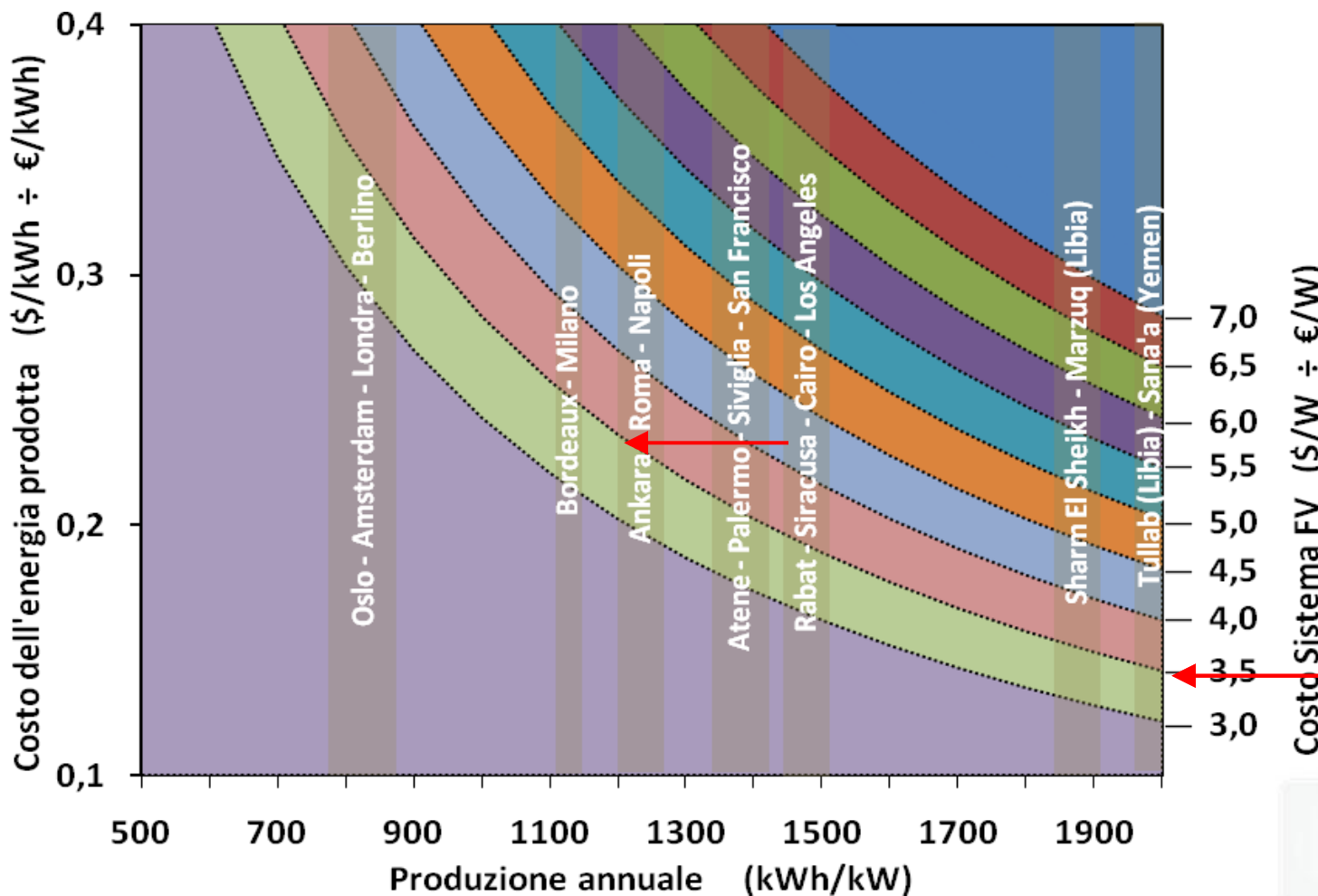
Ottobre 2010

Best Prices

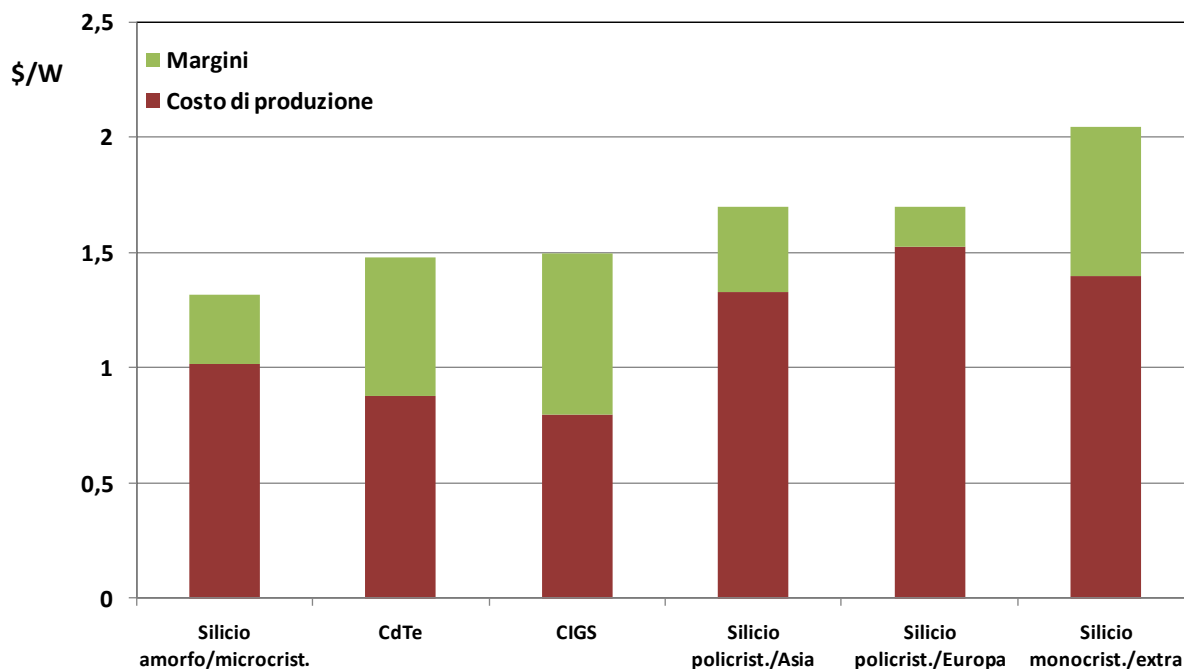
Mono 2,21 \$/W
Multi 1,97 \$/W

T.Film 1,40 \$/W

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

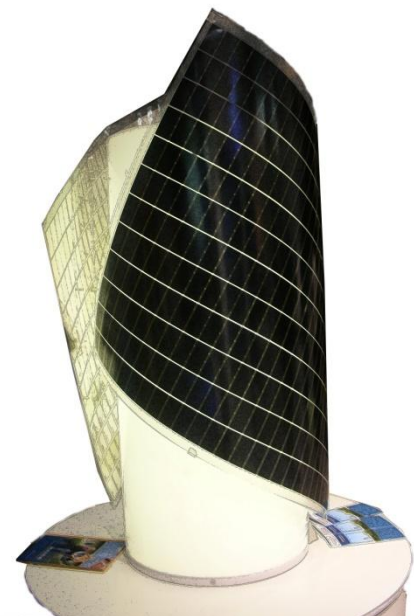
Obiettivi di costo

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

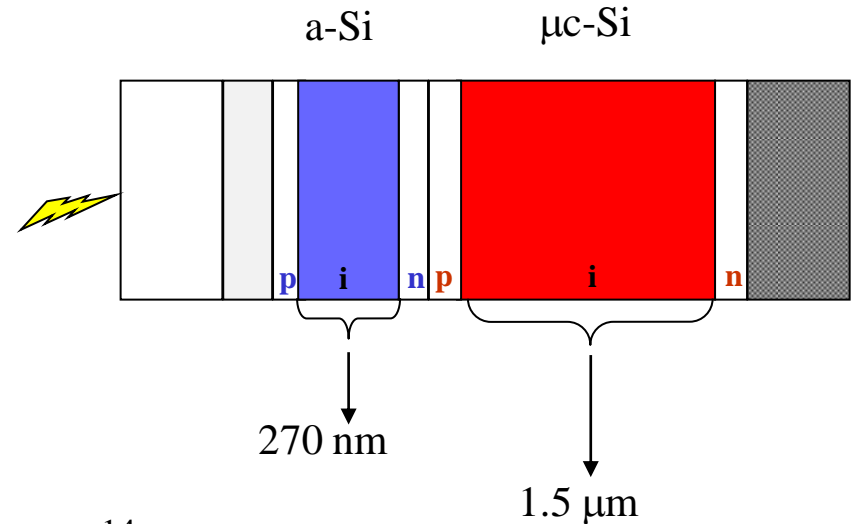
- ❖ Fotovoltaico avanzato a base di film sottili di silicio
- ❖ Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di rame ed elementi II-IV e VI
- ❖ Sviluppo di celle organiche a base di materiali o ibridi



Film sottili di silicio



Celle tandem micromorfe

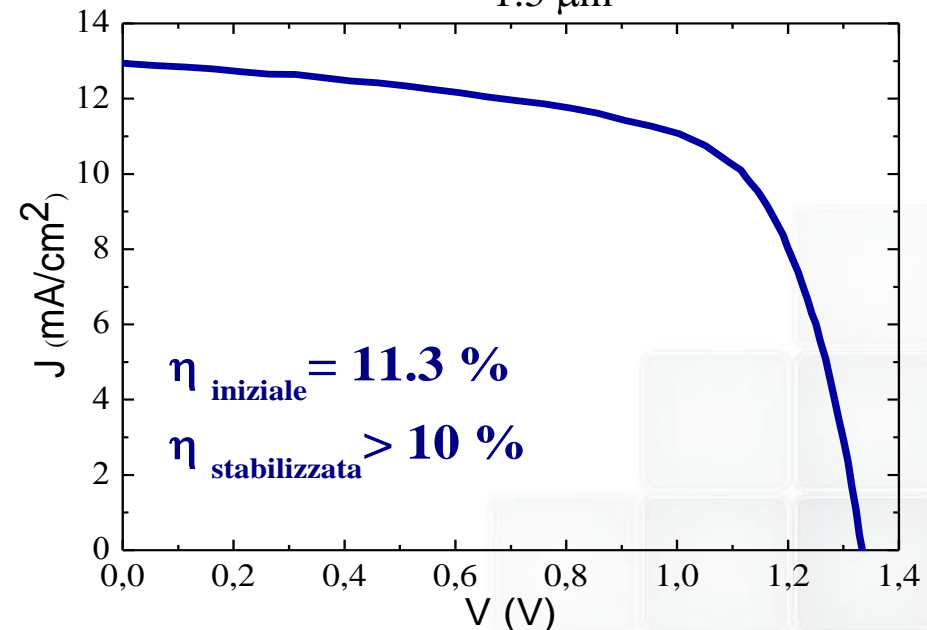


Technique: **VHF PECVD at 100 MHz**

Deposition temperature: **150°C**

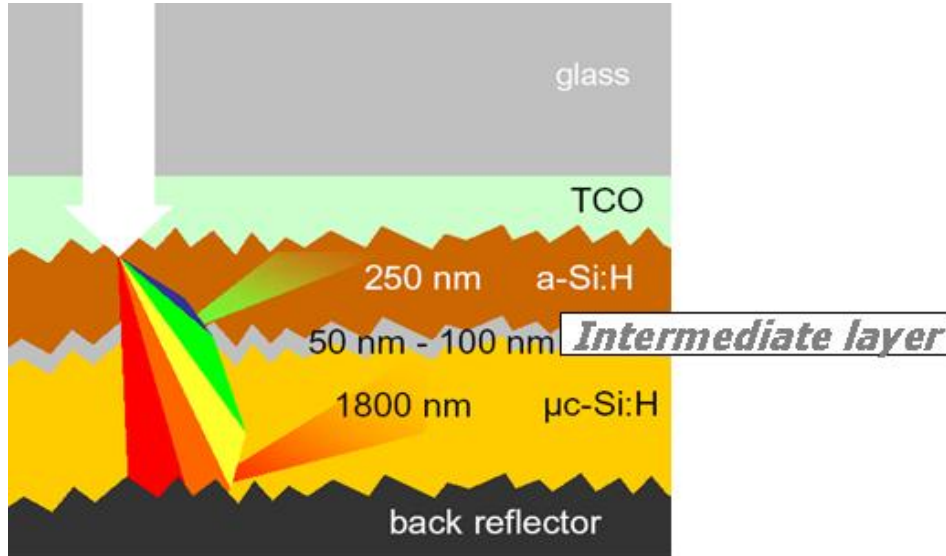
Substrate: Glass/SnO₂ Asahi U-type

Area: 1 cm X 1 cm



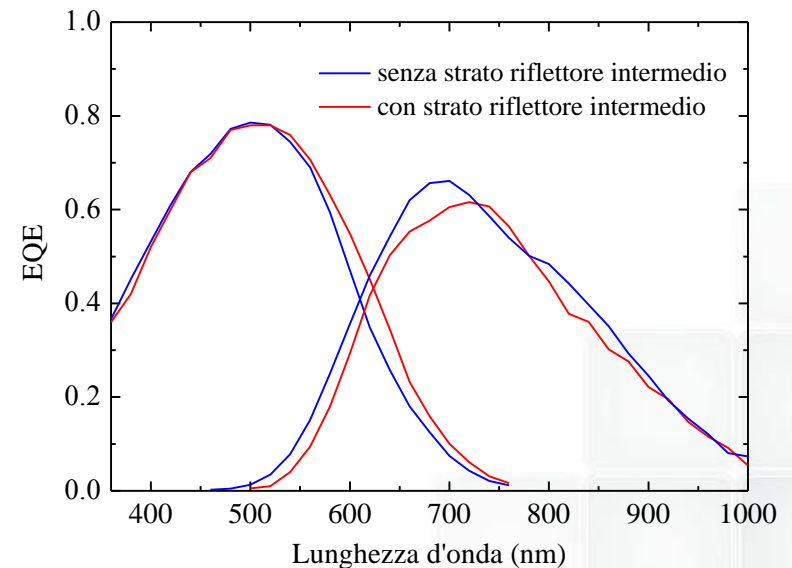
Film sottili di silicio

Celle tandem micromorfe con strati riflettori intermedi



Utilizzando uno strato di SiO_x , è stato evidenziato un miglioramento dell'intrappolamento della luce nella cella top.

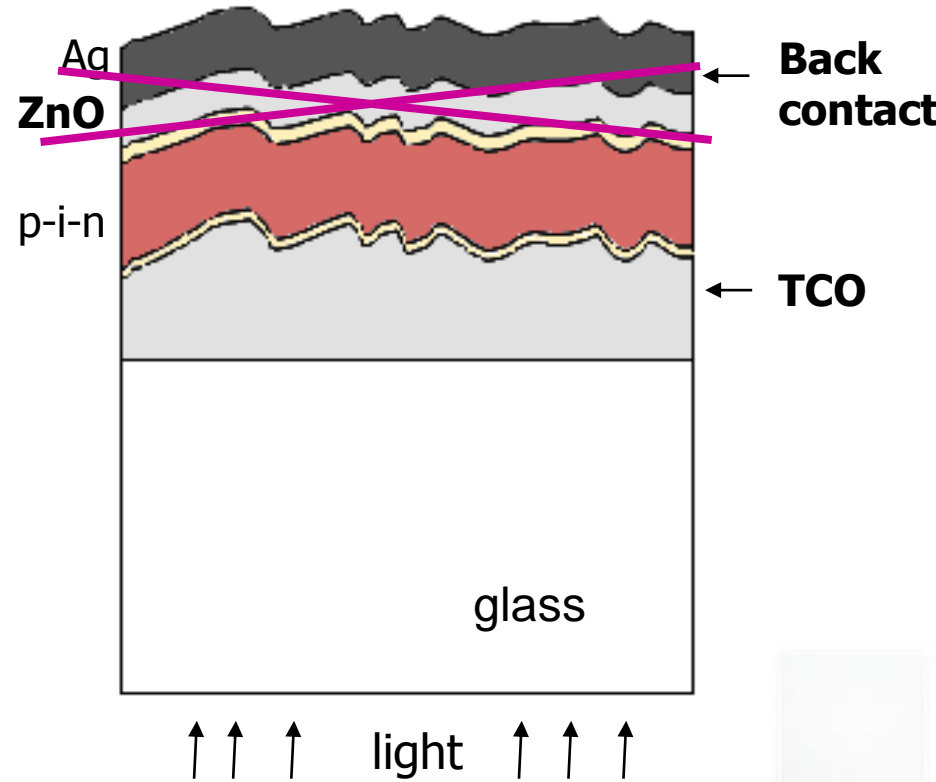
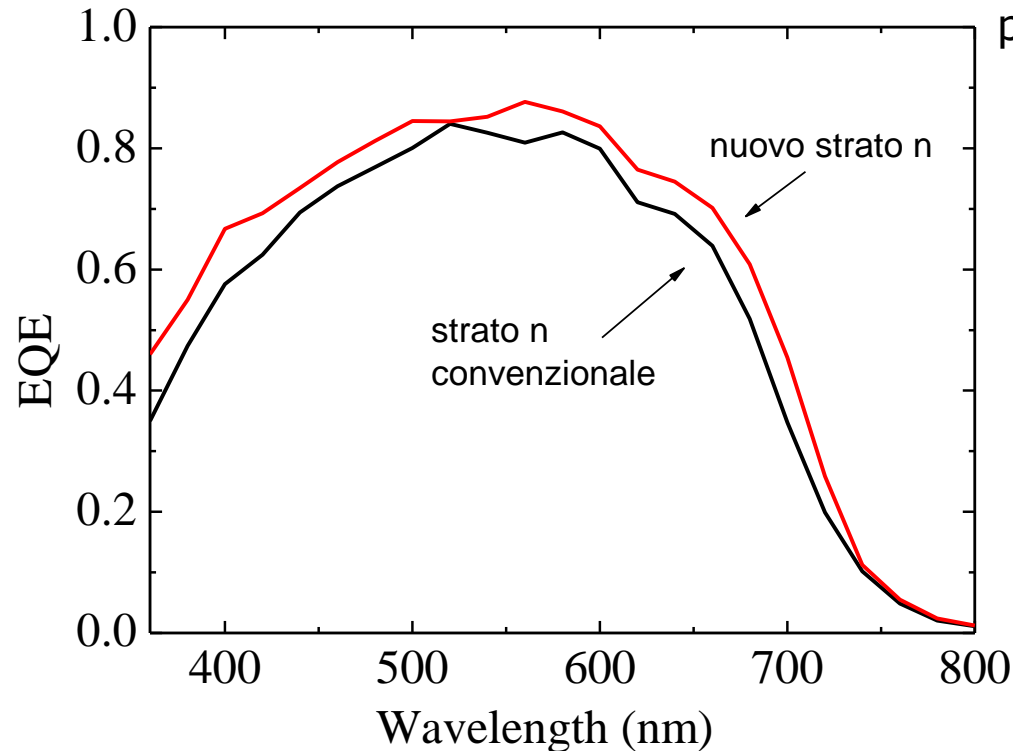
Studio delle proprietà ottiche ed elettriche di film di $\text{SiO}_x\text{:H}$ e $\text{SiN}_x\text{:H}$ depositati con tecnica PECVD



Film sottili di silicio

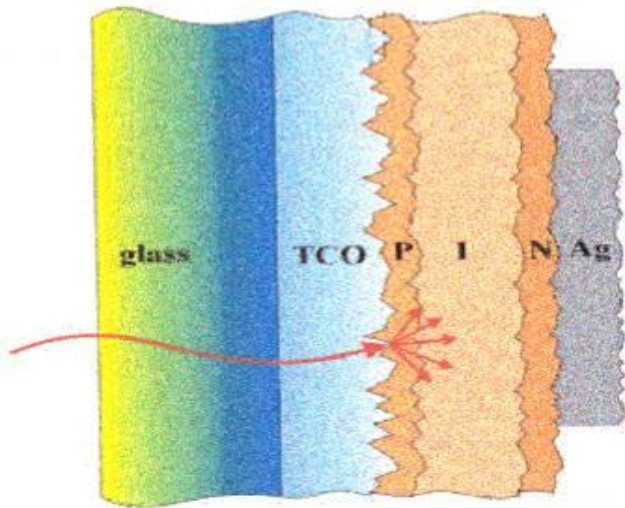
E' stato proposto l'utilizzo di film di $\text{SiO}_x\text{:H}$ drogati come strati di tipo n alternativi a quelli attualmente utilizzati

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

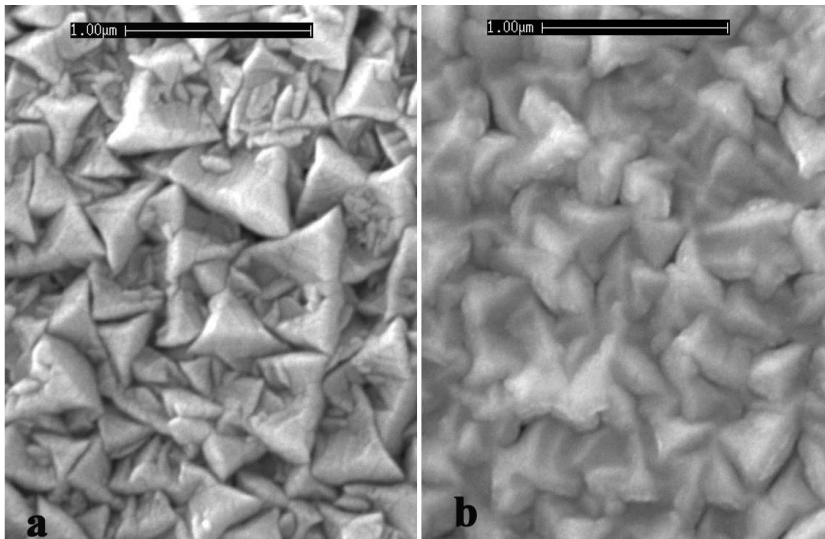


Il nuovo strato n consente di semplificare il riflettore posteriore delle cella

Film sottili di silicio

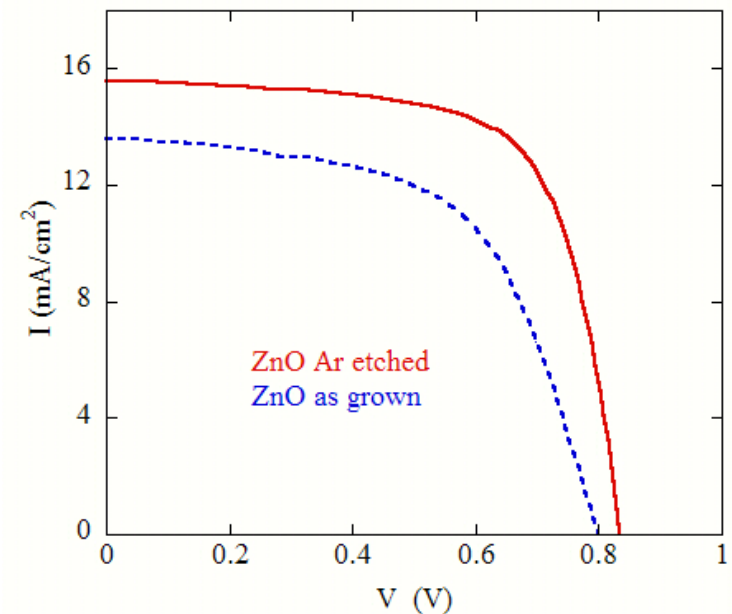


Ottimizzazione dei trattamenti superficiali dei film di ZnO da utilizzare come contatto frontale



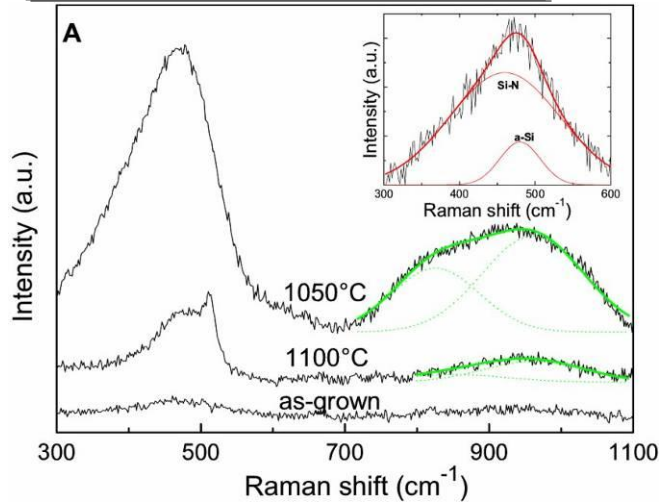
Film di ZnO "as grown" e dopo il trattamento superficiale

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

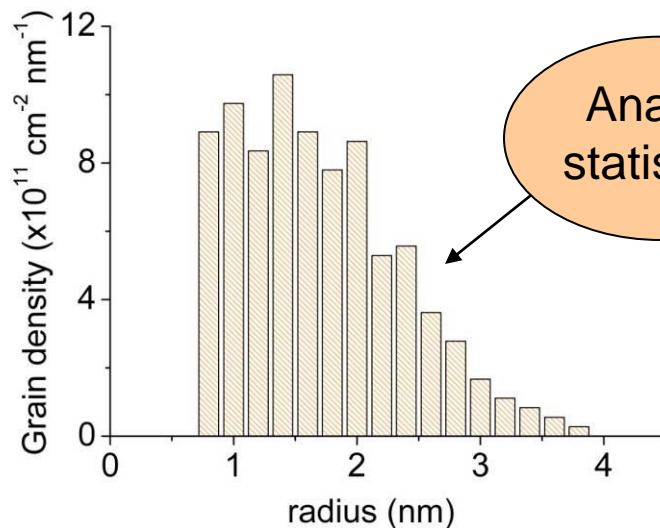


Film sottili di silicio

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

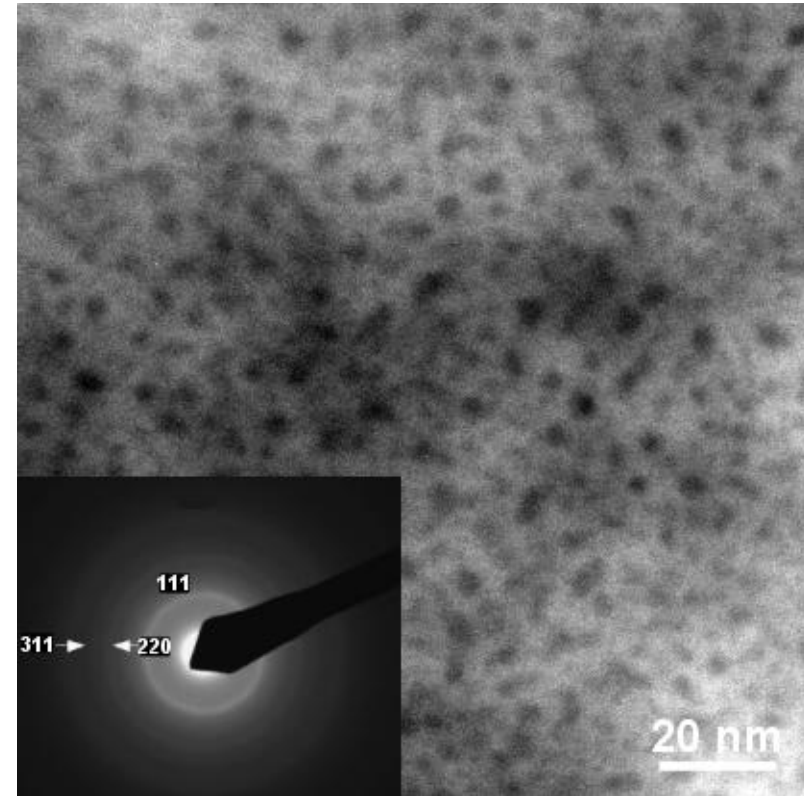
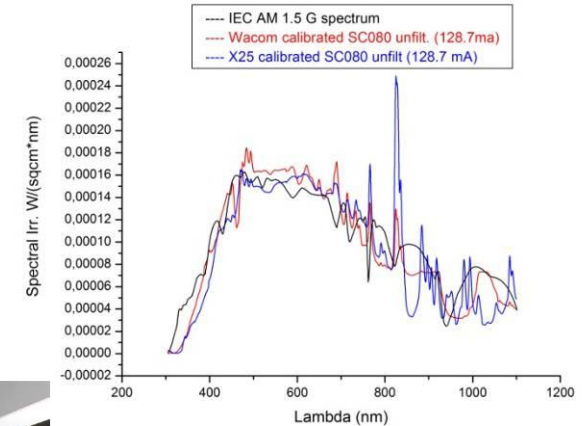


Immagine EFTEM della separazione di fase completa con formazione di Quantum Dot cristallini di Si dopo annealing di 1h a 1100°C

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)



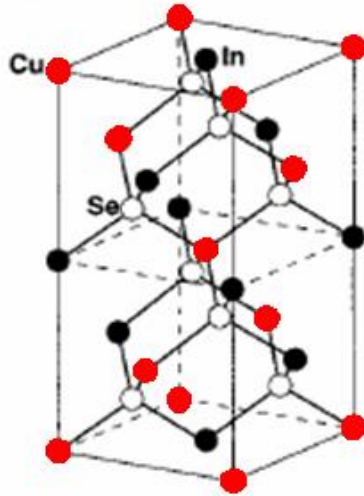
Laboratorio di laser scribing:

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



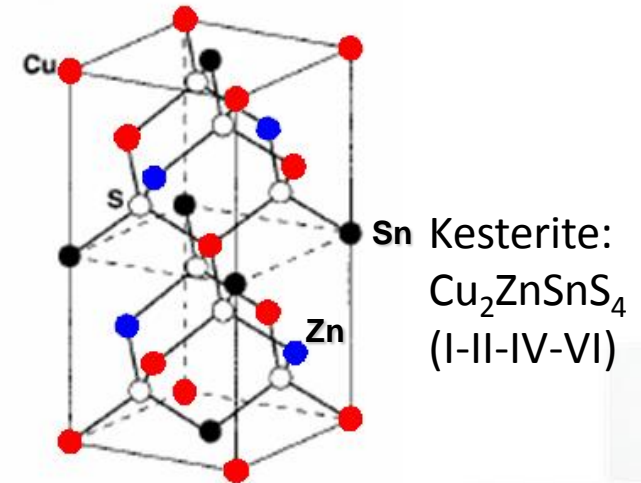
Film sottili policristallini $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$

Chalcopyrite:
 CuInSe_2
(I-III-VI)



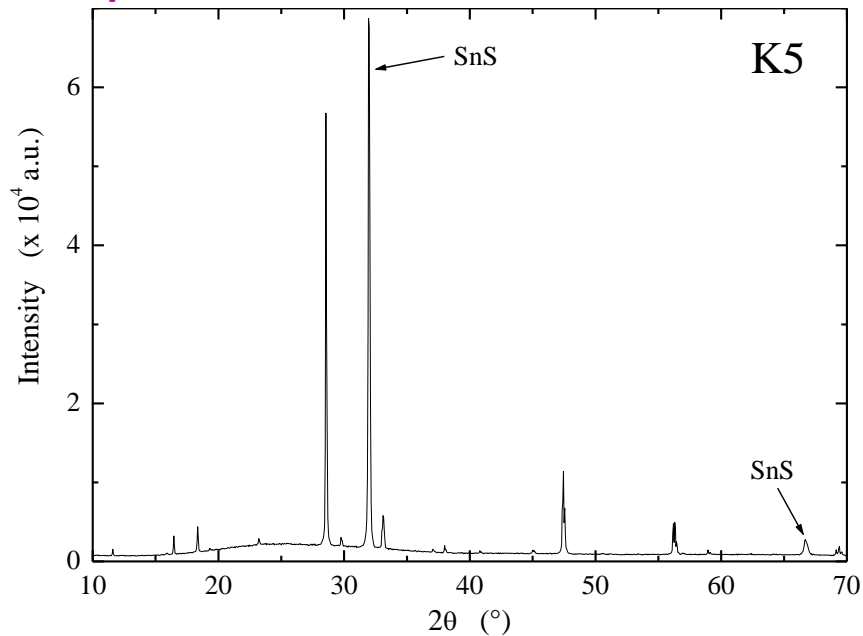
Possibilità di sostituire l'indio con coppie di elementi dei gruppi II e IV.

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



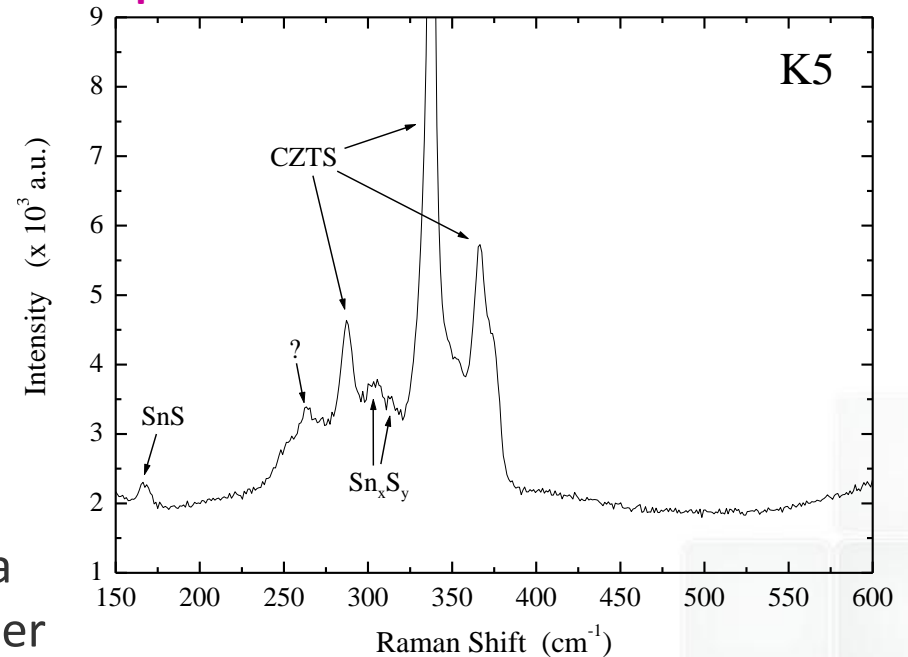
I materiali presentano fasi spurie.

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

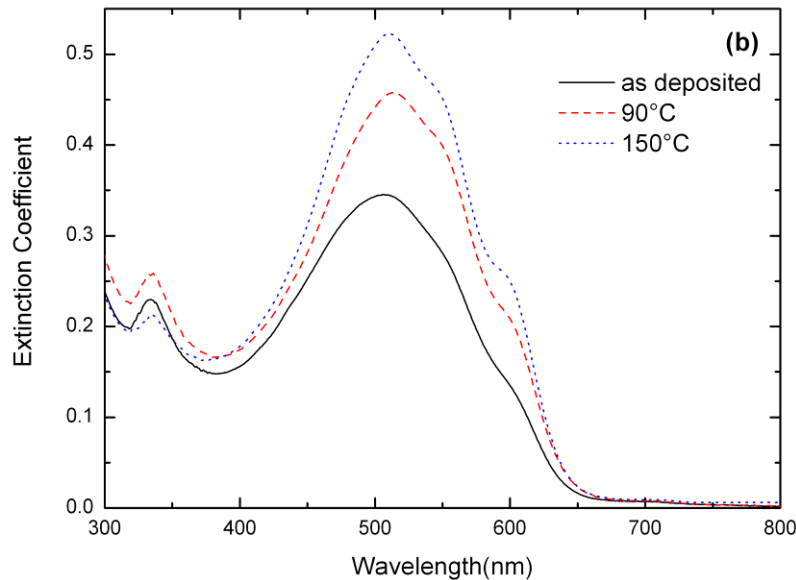
**Allestimento di un nuovo laboratorio per
la realizzazione di celle polimeriche in
atmosfera controllata**



Glove box operante in atmosfera di azoto

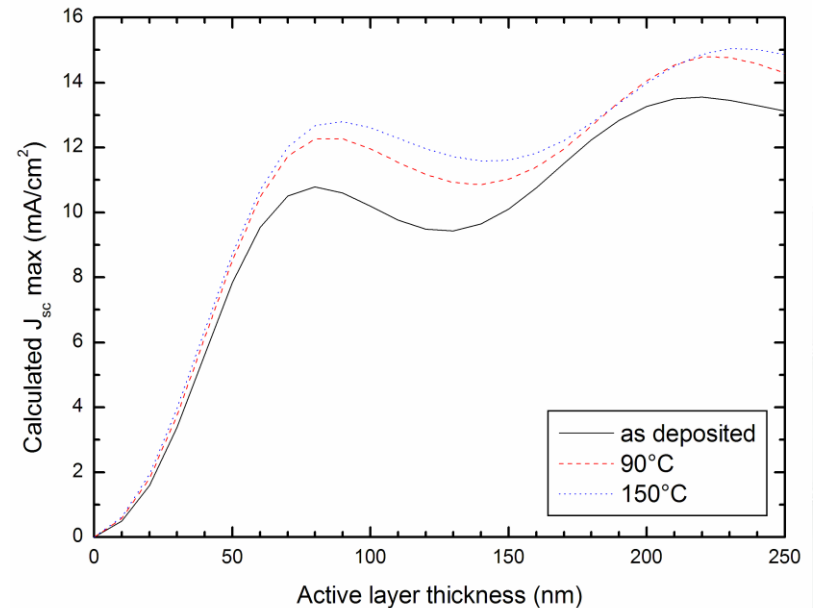
Il laboratorio è completato con attrezzature per il trattamento preliminare dei campioni e per una prima caratterizzazione in situ dei dispositivi.

Modello ottico per l'ottimizzazione degli spessori dello strato attivo



Ottimizzazione dello spessore dello strato attivo

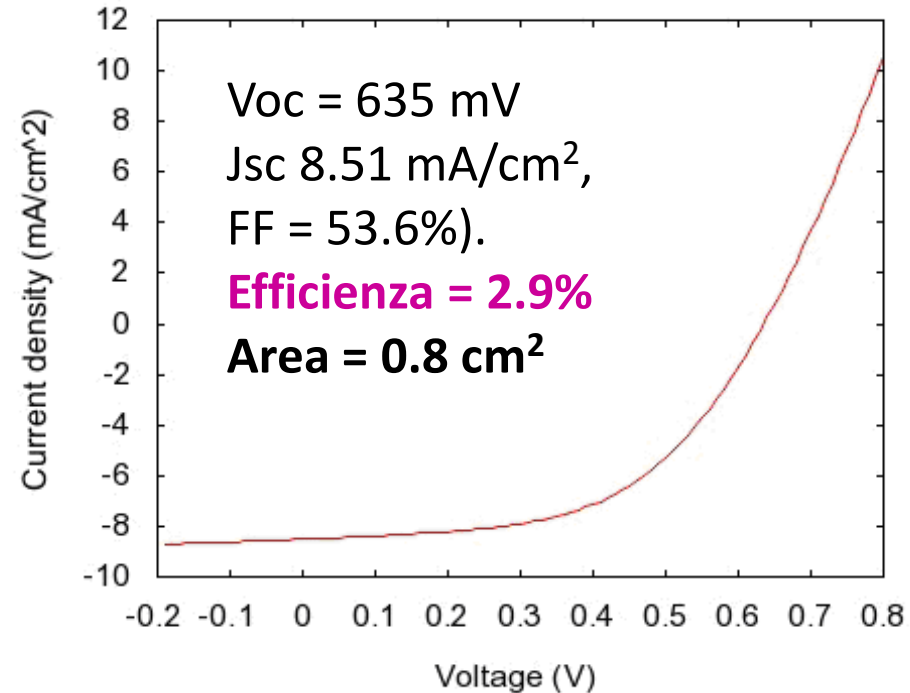
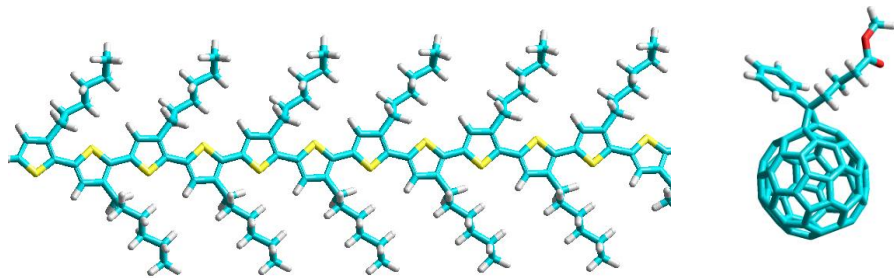
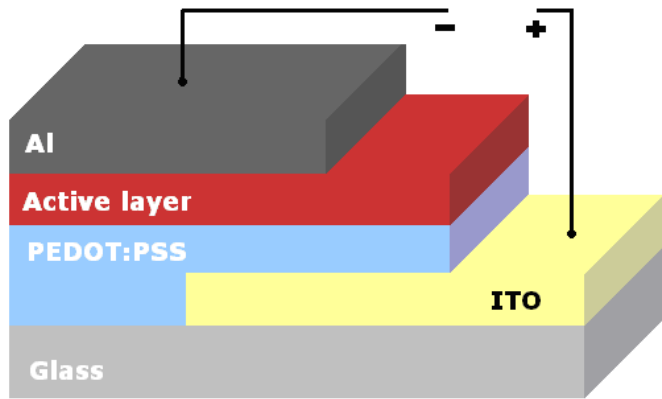
Determinazione delle costanti ottiche di ciascuno strato e calcolo del coefficiente di assorbimento dello strato attivo



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

lucia.mercaldo@enea.it

marialuisa.addonizio@enea.it

pasquale.morvillo@enea.it

ENEA UTRINN-FVC – Laboratori di Casaccia

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