

## Stato dell'arte della tecnologia fotovoltaica e tipologie di prodotti



Alessandro Virtuani

Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca (CCR),  
Istituto per l'Ambiente e la Sostenibilità (IES),  
Unità Energie Rinnovabili, Ispra (Va), Italia

## Fotovoltaico (FV)

- 1. Il nostro istituto (JRC-IES-RE)**
- 2. Stato, mercato, prospettive di crescita**  
il mercato oggi e scenari per il futuro
- 3. Tecnologie FV**  
1°-2°-3° generazione;  
evoluzione a breve-medio termine;

## CCR (JRC) – Centro Comune di Ricerca IES - Istituto per l'Ambiente e la Sostenibilità'

- Sede: Ispra (VA)
- Staff nel 2006: 447
- Unità: Energie Rinnovabili  
(Biomasse, Studi economico/politici sulle rinnovabili,  
Fotovoltaico)

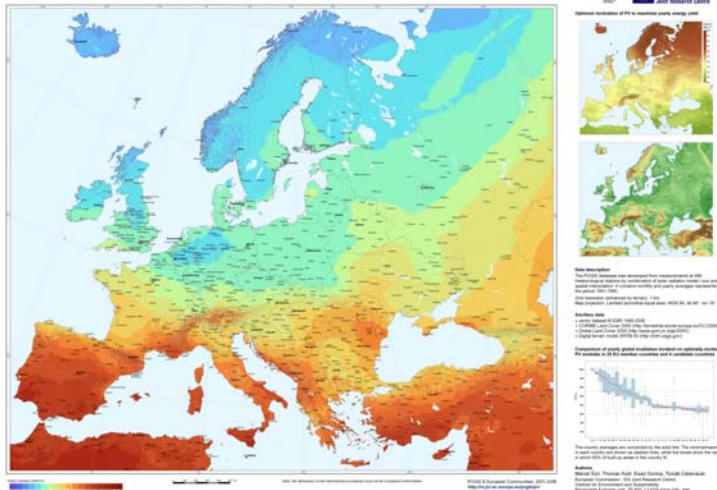


<http://ies.jrc.ec.europa.eu>

## European Solar Test Installation (ESTI)

- **Taratura ( $P_{max}$ )** di moduli/celle (IEC 60891, 60904)
- **Qualificazione e omologazione** di moduli (IEC 61215 / 61646)
- **"Energy rating"**: quanta energia produco Wh/W<sub>p</sub>?  
- produzione di energia nel ciclo di vita di un modulo FV.
- **Ricerca**
  - partecipazione a numerosi progetti europei
  - 2° generazione del FV: *film sottile*
  - 3° generazione del FV: *polimeri e concentratori*
- **Internet-based PV-GIS**:
  - disponibilità del sole in Europa con una risoluzione di 1 km
  - calcolo dei costi dell'energia PV a livello regionale
  - etc.

Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined photovoltaic modules



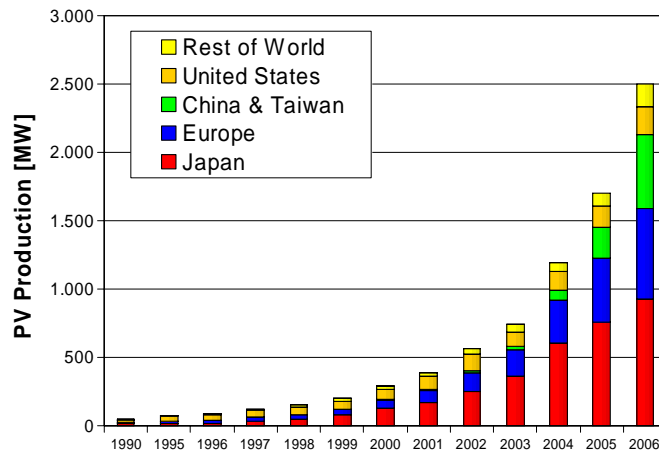
## PV-GIS PV Geographic Information System

<http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm>

## Fotovoltaico (FV)

1. Il nostro istituto (CCR-IES-RE)
2. **Stato, mercato, prospettive di crescita**  
il mercato oggi e scenari per il futuro
3. **Tecnologie FV**  
1°-2°-3° generazione;  
evoluzione a breve-medio termine;

## Produzione mondiale di moduli/celle FV dal 1990 al 2006



Fonte:  
PV News;  
PV Status Report 2007

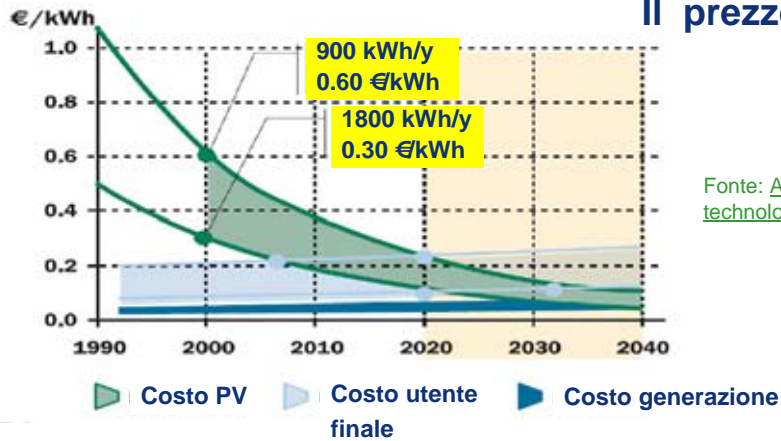
Negli ultimi 5 anni crescita molto sostenuta: piu' del 40% all'anno....

## Il mercato del FV oggi

1. Mercato sovvenzionato: *conto energia* ("feed-in tariffs");
2. Crescita sostenuta ma con alcune incertezze:
  - approvvigionamento del Si ("feedstock supply"): rischio rialzo prezzi, margini mal redistribuiti, ...
  - Rischio situazione di *non equilibrio*: sfasamento domanda-offerta, ...
3. Nuove tecnologie mature per l'ingresso nel mercato FV: film sottili, nuovi concetti Si *wafer-based*....

Il mercato FV continuerà a crescere in maniera rapida, realisticamente in maniera piu' sostenibile (+15-30% all'anno)...

## Il prezzo del FV

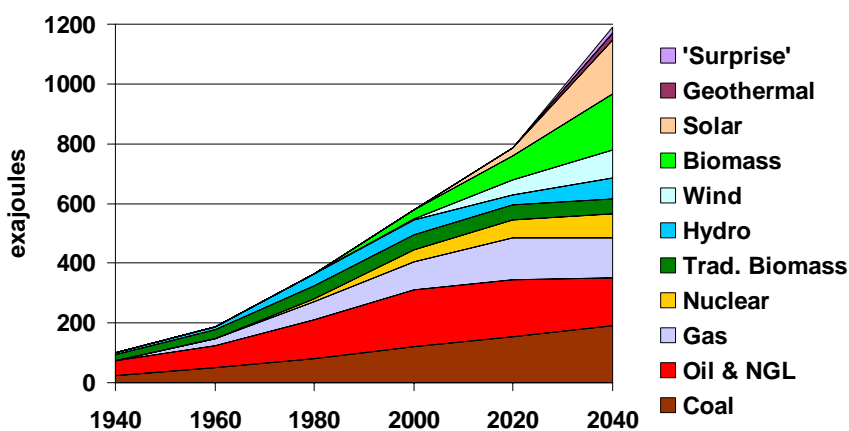


Fonte: [A vision for PV technology, 2005](#)

**Obiettivo:** prezzo FV competitivo col prezzo dell'elettricità per l'utente finale nel Sud Europa entro il 2015 ("grid parity")....

**Ovvero:** prezzo FV ~0.15 €/kWh, ovvero prezzo del sistema FV ~ 2.5 €/W<sub>p</sub>

## Produzione di energia elettrica: scenario di sviluppo sul lungo termine



Fonte: [Shell \(2002\)](#)

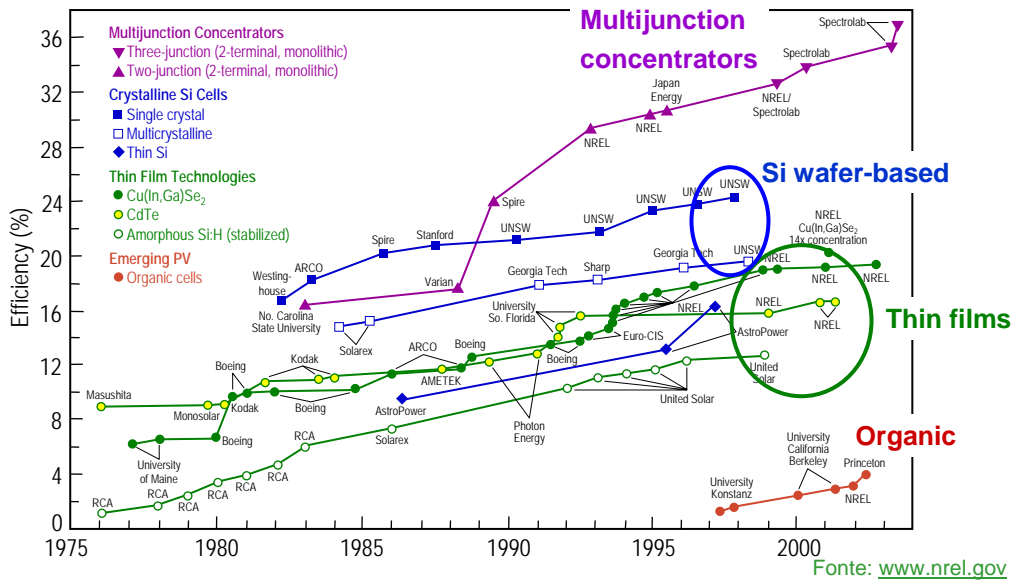
## Fotovoltaico (FV)

1. Il nostro istituto (CCR-IES-RE)
2. Stato, mercato, prospettive di crescita  
il mercato oggi e scenari per il futuro
3. **Tecnologie FV**  
1°-2°-3° generazione;  
evoluzione a breve-medio termine;

## 3. Tecnologie FV

- 1° generazione: **Silicio cristallino (Si wafer-based)**  
tecnologia dominante
- 2° generazione: **film sottili**  
fortissime prospettive di crescita nel breve-medio termine
3. generazione: **concentrazione (altissima efficienza),  
materiali organici (bassissimo costo)**  
medio-lungo termine.....

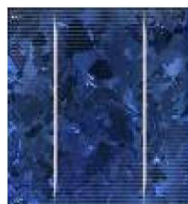
**RICERCA: efficienze record in laboratorio**



**3. Tecnologie FV**

**1° generazione: Silicio cristallino (Si wafer-based)**

tecnologia dominante (2006: 92% mercato mondiale);



**Oggi:** problemi legati all'approvvigionamento del Silicio ("feedstock shortage") con conseguente rialzo dei prezzi.....

Per far fronte ai problemi legati alla penuria del Si ed evitare un ulteriore rialzo dei prezzi del FV si e' reso necessario rivoluzionare la tecnologia Si- wafer-based.

Come?

1. Produzione di Si di *grado solare* (meno caro del Si di *grado elettronico*);
2. Aumentare l' efficienza delle celle;
3. Realizzazione di wafer sempre piu' sottili (spessori: dai 300-400  $\mu\text{m}$  a 200  $\mu\text{m}$  e oltre)...
4. Utilizzo degli scarti dell'industria microelettronica di Si drogato *n* (piu' abbondante sul mercato)

Fonte: [Imec, Leuven](#):  
[Cella c-Si su wafer 80  \$\mu\text{m}\$](#)



### 3. Tecnologie FV

#### 2° generazione: film sottili

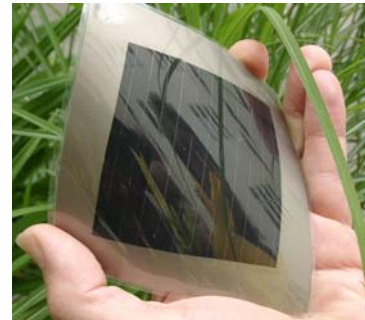
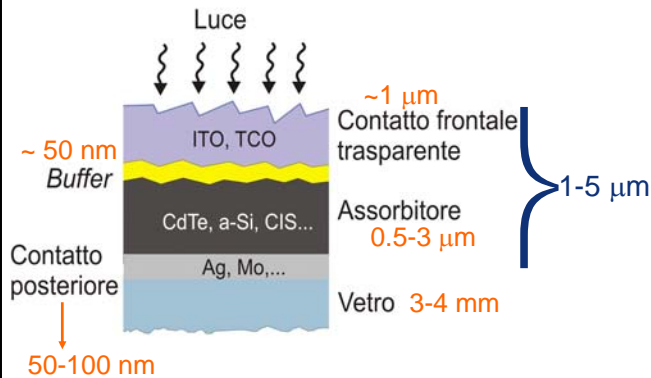
fortissime prospettive di crescita nel breve-medio termine (2006: 8% mercato mondiale);

- Nuovi *concetti/materiali* ormai maturi dal punto di vista industriale;
- notevole potenzialita' di abbassare il prezzo del FV;
- Possibilita' di acquistare impianti "chiavi in mano" per la produzione di scala di queste tecnologie...



Fonte: [www.oerlikon.com/solar](http://www.oerlikon.com/solar)

## Struttura di una cella a film sottile



Fonte: ZSW, Stuttgart.

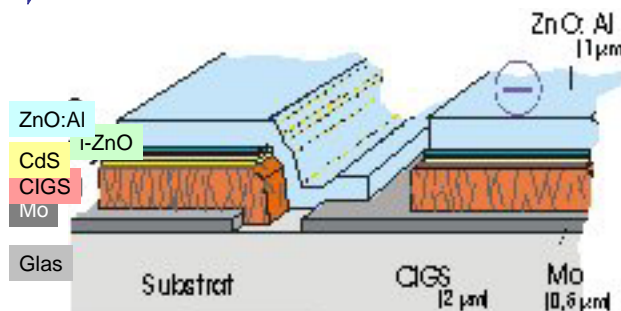
**Tecnologie:** silicio amorfo/microcristallino (a-Si,  $\mu\text{c-Si/a-Si}$ );  
telluriuro di cadmio (CdTe);  
calcogenuri CIS (  $\text{Cu(In.Ga)(Se,S)}_2$  )....

## Moduli a film sottile

il materiale assorbitore e' depositato sull'intera area del substrato;  
le celle vengono poi disegnate e collegate attraverso alcuni processi di incisioni meccaniche o al laser:

*integrazione monolitica* in serie delle celle.

➡ alta automazione dei processi di produzione!



Fonte: Würth Solar,  
Schwäbisch Hall.

## Potenzialita' dei film sottili

Rispetto alla tecnologia dominante (*Si wafer-based*):  
efficienze piu' basse, ma notevole potenzialita' di abbassare il  
prezzo del FV (target modulo: 2010 ~1 €/W<sub>p</sub>, 2015-2020 ~0.5 €/W<sub>p</sub>);

- ridotto consumo di materiale ( $\leq 1\%$ ) e di energia  
(*energy pay-back time* piu' basso,  $\leq 10-50\%$ );
- substrati a basso costo (vetro, plastica, metallo);
- .....
- elevato grado di automazione per le linee di produzione  
(*glass-in/module-out*); tecnologia *roll-to-roll*....
- .....
- sinergie con le aziende produttrici di macchinari per la deposizione  
su larga scala di strati semiconduttori (ex. schermi piatti, LCD,...);
- relativa (!!!) facile scalabilita' (da cm<sup>2</sup> a m<sup>2</sup>);
- .....

## ...e inoltre...

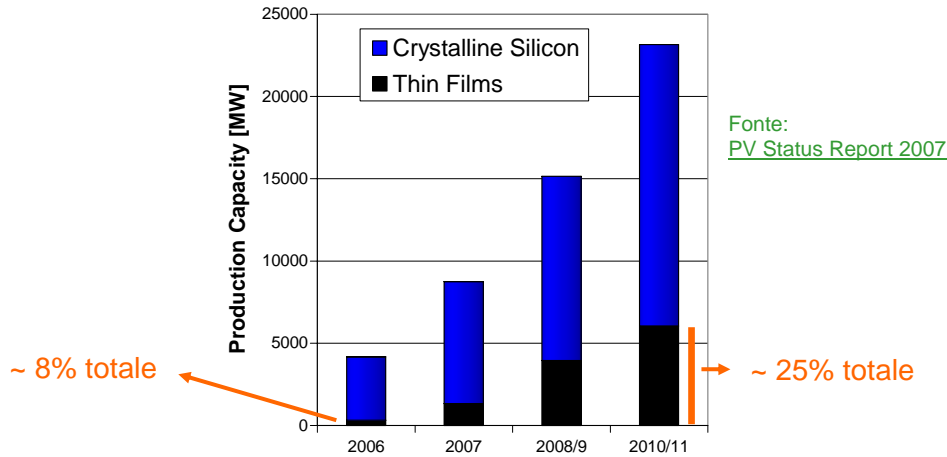
L'aspetto opaco ed omogeneo di questi moduli li rende particolarmente  
adatti per l'integrazione architettonica nell'involucro degli edifici:  
facciate, tetti, lucernari, etc. ....



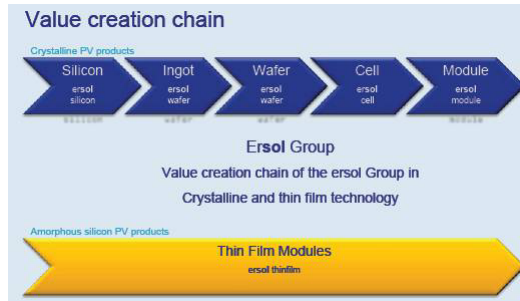
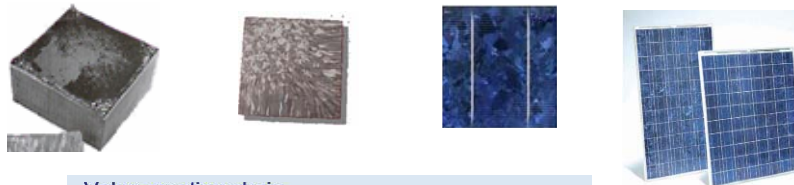
Fonte: Würth Solar, Schwäbisch Hall.



### Aumento della capacita' di produzione annunciata (!!!)



2006-mondo: + di 130 aziende attive nel FV a film sottile (RD / produzione); 21 aziende produttrici di FV a film sottile;



Fonte:  
[www.ersol.de](http://www.ersol.de)

### 3. Tecnologie FV

#### 3. generazione: concentrazione

celle/moduli solari ad *altissima efficienza*,

#### materiali organici

celle/moduli solari a *bassissimo costo*

medio-lungo termine.....

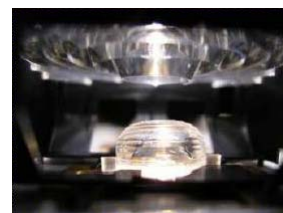
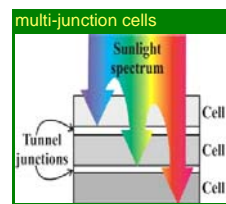
#### Concentrazione: *altissima efficienza*

Celle FV a singola giunzione utilizzano solo una parte dello spettro solare:

i fotoni a bassa energia non vengono assorbiti, quelli ad alta energia dissipano la loro energia in eccesso.

Soluzione:

giunzioni multiple e concentrazione della luce....



Efficienze record di conversione:  
oggi 39.5 %....  
domani 60%?!?

Tecnologie (celle/concentratori) ancora in fase di sviluppo...

Necessita' di un sistema di inseguimento solare: sistema FV diventa molto piu' complicato !

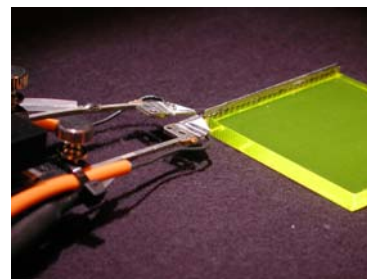
Isofoton fresnel lens-based concentrator module prototype under test at ESTI  
[www.fullspectrum-eu.org](http://www.fullspectrum-eu.org)



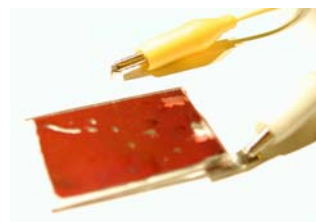
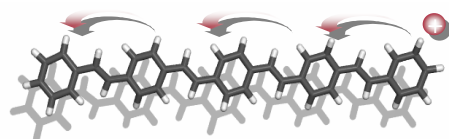
**Materiali organici:** *bassissimo costo*

Materiali organici (polimeri, coloranti, ...)  
Efficienze basse ma con potenzialita' enormi di ridurre il prezzo del FV (materiali e processi di produzione poco costosi).....

Problemi:  
stabilita' all'aria, umidita', luce....



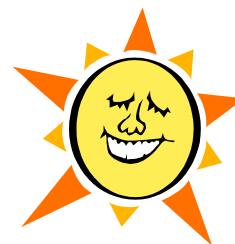
[www.fullspectrum-eu.org](http://www.fullspectrum-eu.org)



## Conclusioni

1. Mercato del FV: ancora prospettive di crescita molto marcate...
  
2. Tecnologie FV
  - 1° - Si *wafer-based*: rivoluzionare la tecnologia....
  - 2° - Film sottile: grosse aspettative nel breve-medio termine...
  - 3° - Nuovi concetti concentrazione/organici:  
medio-lungo termine.....

**Grazie per l'attenzione!**



## Ringraziamenti

Ewan Dunlop, Stefano Marchionna e tutto l' *ESTI-staff*!

## Referenze

[PV News, published by  
The Prometheus Institute, July 2006, ISSN 0739-4829](#)

[PV Status Report 2007 \(2006\):  
http://ies.jrc.cec.eu.int/369.html](http://ies.jrc.cec.eu.int/369.html)

[Strategic Research Agenda for PV Solar Energy Technology \(2007\):  
http://www.eupvplatform.org/](http://www.eupvplatform.org/)

[A vision for PV technology \(2005\)  
http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/vision-report-final.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/vision-report-final.pdf)

## Concetti chiave legati al FV

1. ***Energia distribuita***  
produco e consumo nello stesso luogo;
2. ***Mix energetico***  
valorizzazione delle *ricchezze energetiche* a livello locale;
3. ***Risparmio (efficienza!!!) energetico***  
**Sul mio tetto:** FV e solare termico;  
Nella mia casa: lampade ed elettrodomestici a basso consumo.....