

La Filiera Fotovoltaica e le varie tipologie di pannelli fotovoltaici

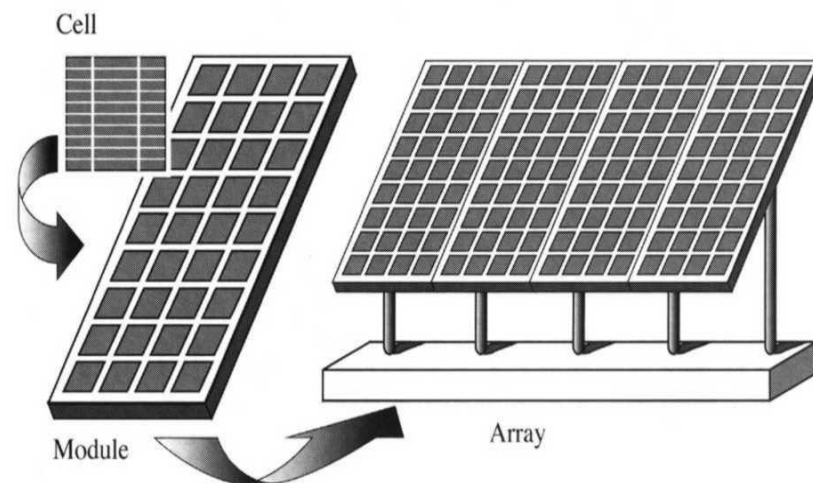
prof. ing. Alfonso Damiano

alfio@diee.unica.it

La cella fotovoltaica è l'elemento base per la realizzazione di un sistema fotovoltaico

La cella fotovoltaica è un diodo di grande superficie, che esposto alla radiazione solare si comporta come un generatore di corrente.

Quali sono i materiali che possono essere utilizzati per realizzare una cella fotovoltaica?



I materiali utilizzati per la realizzazione delle celle fotovoltaiche devono possedere caratteristiche fisiche ben precise:

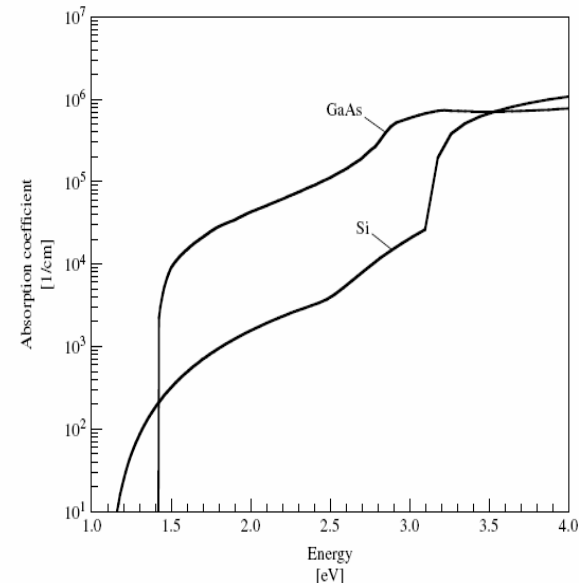
- **Devono avere caratteristiche semiconduttive**
- **Devono possedere un energy gap compresa nel campo in cui la radiazione solare presenta la massima intensità (1-1.5 eV)**
- **Devono possedere un'alto coefficiente di assorbimento (10^4 - 10^5 cm⁻¹) della radiazione nel campo in cui la radiazione solare presenta la massima intensità (350-1000nm)**
- **Bassa velocità di ricombinazione**
- **Un lungo percorso di diffusione**
- **Deve essere facilmente reperibile**
- **Abbondante in natura**

Uno dei materiali che rispetta tutte queste caratteristiche è il silicio

Caratteristiche del silicio cristallino:

- Il Silicio è un semiconduttore
- Il silicio ha un energia di banda (energy gap) pari a 1.1 eV compresa nel campo in cui la radiazione solare presenta la massima intensità (1-1.5 eV)
- Presenta un coefficiente di assorbimento relativamente basso (10^4 - 10^5 cm⁻¹) della radiazione nel campo in cui la radiazione solare presenta la massima intensità (350-1000nm)

Ciò costringe ad aumentare lo spessore per poter aumentare l'assorbimento della radiazione
Spessore superiore a 50 μm



Materiali fotovoltaici:

I	II	III	IV	V	VI
		B	C	N	O
		Al	Si	P	S
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te

Composti binari del III-V gruppo

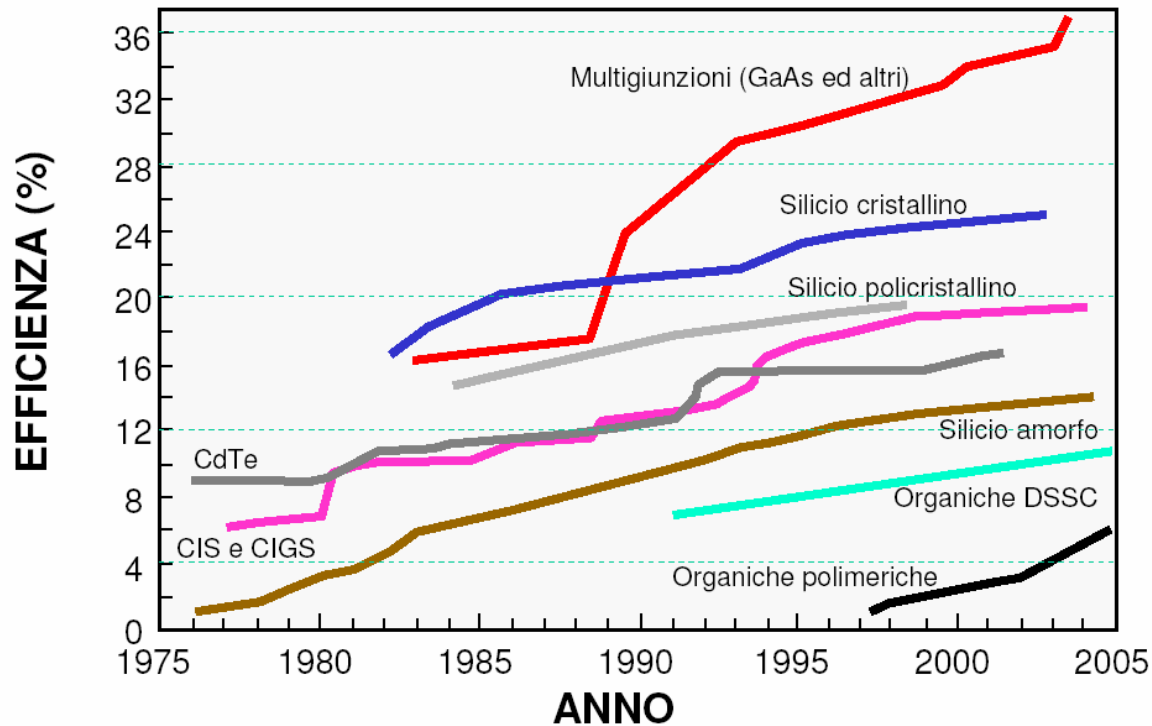
Es: AsGa

Composti binari II-VI gruppo

Es: TeCd

Questi composti presentano una struttura cristallina (zincoblende) simile da quella del silicio (struttura a diamante)

Efficienze massime ottenute in laboratorio su celle di piccole dimensioni

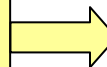


Catena di produzione del pannello fotovoltaico

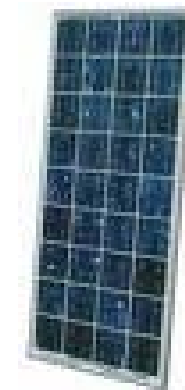
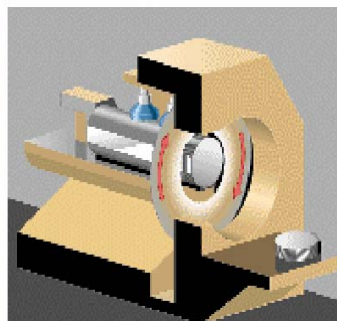
Produzione di
Polysilicon di grado solare



Taglio
Doping
Cella PV



Assemblaggio celle e
realizzazione del pannello



Caratteristiche chimiche del Silicio Metallurgico

Element	O	Fe	Al	Ca	C	Mg	Ti	Mn	V	B	P
Low (ppm)	100	300	300	20	50	5	100	10	1	5	5
High (ppm)	5000	25 000	5000	2000	1500	200	1000	300	300	70	100
Element	Cu	Cr	Ni	Zr	Mo						
Low (ppm)	5	5	10	5	1						
High (ppm)	100	150	100	300	10						

Purezza del 97-99%

Caratteristiche elettriche del Silicio per applicazioni PV

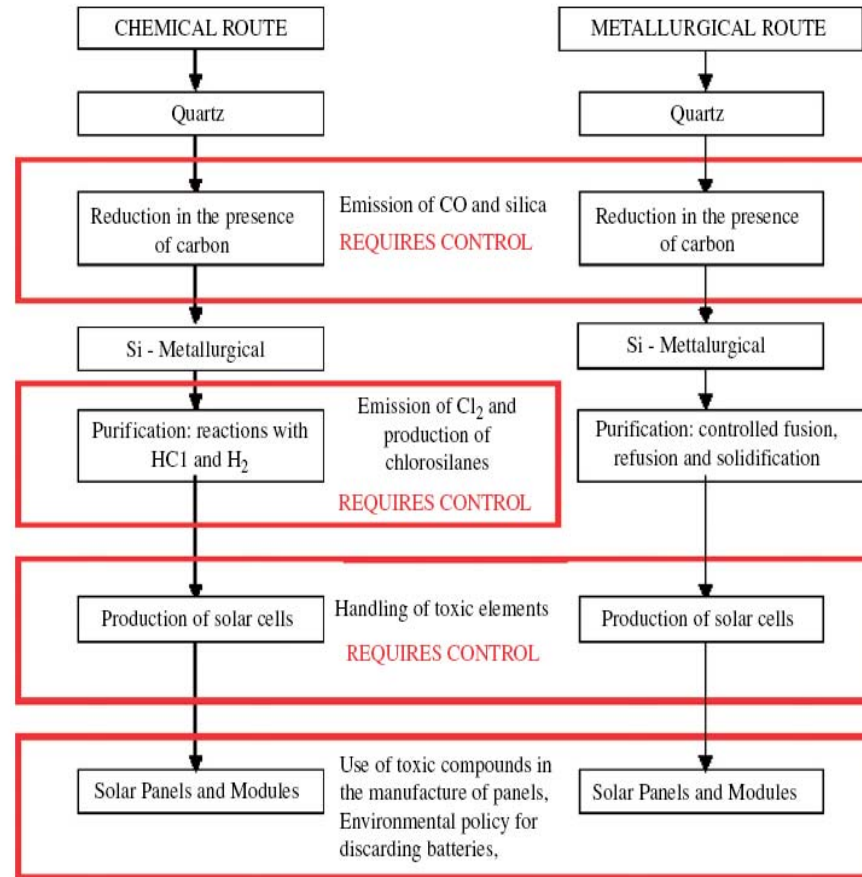
Property	Specification
Resistivity	Higher than 1 ohm cm, <i>p</i> -type
Minority-carrier lifetime	Higher than 25 μ s

Caratteristiche chimiche limite del Silicio per applicazioni PV

Impurity	Specification
Fe, Al, Ca, Ti, metallic impurities	Less than 0.1 ppm(w) each
C	Less than 4 ppm(w)
O	Less than 5 ppm(w)
B	Less than 0.3 ppm(w)
P	Less than 0.1 ppm(w)

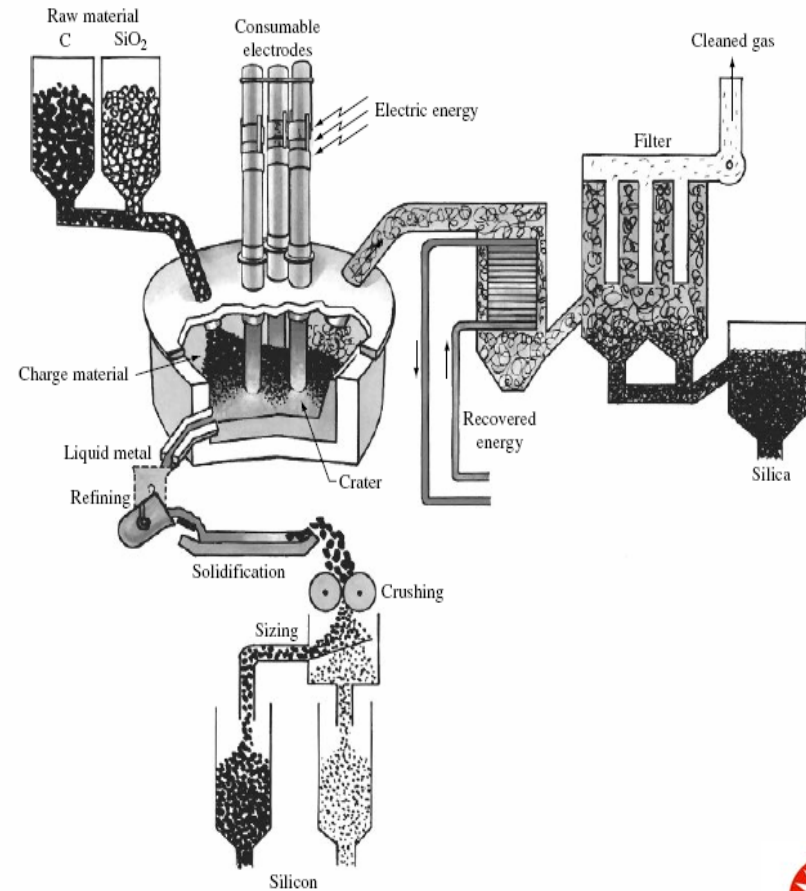
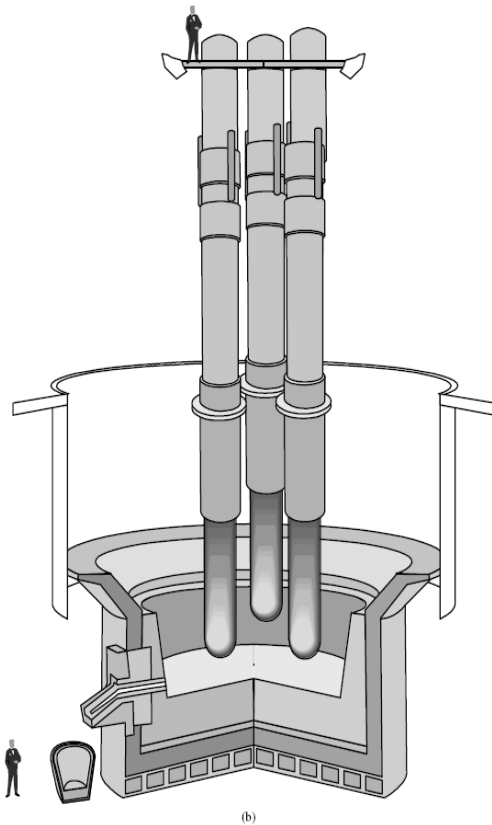
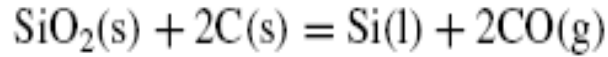
Purezza del 99,9999%

Diagramma di Flusso del processo di produzione

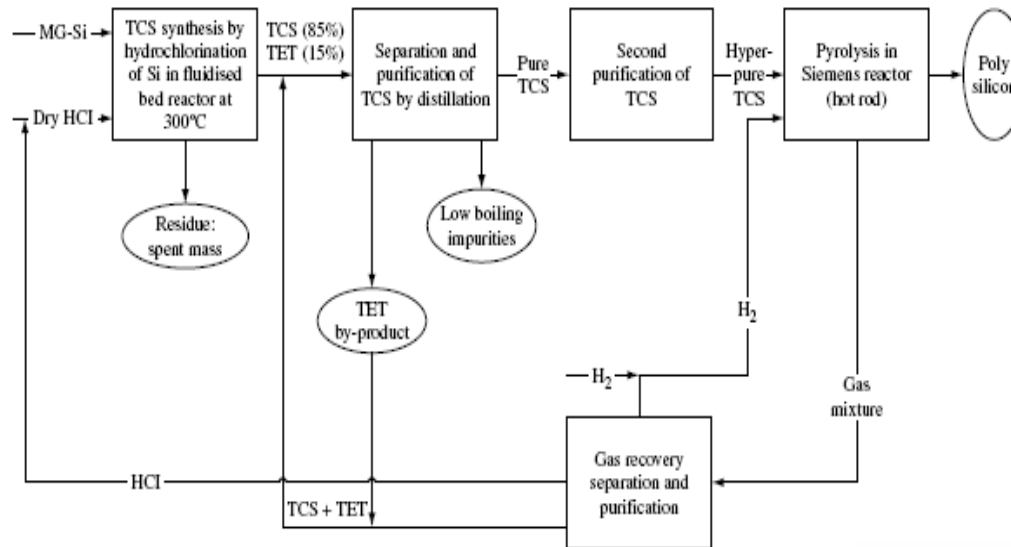


Fonte: A.F.B. Braga et al.: "New processes for the production of solar-grade polycrystalline silicon" Solar energy material and solar Cells

Produzione di silicio di tipo metallurgico

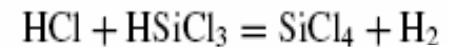
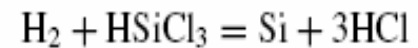
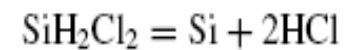


Processo Siemens

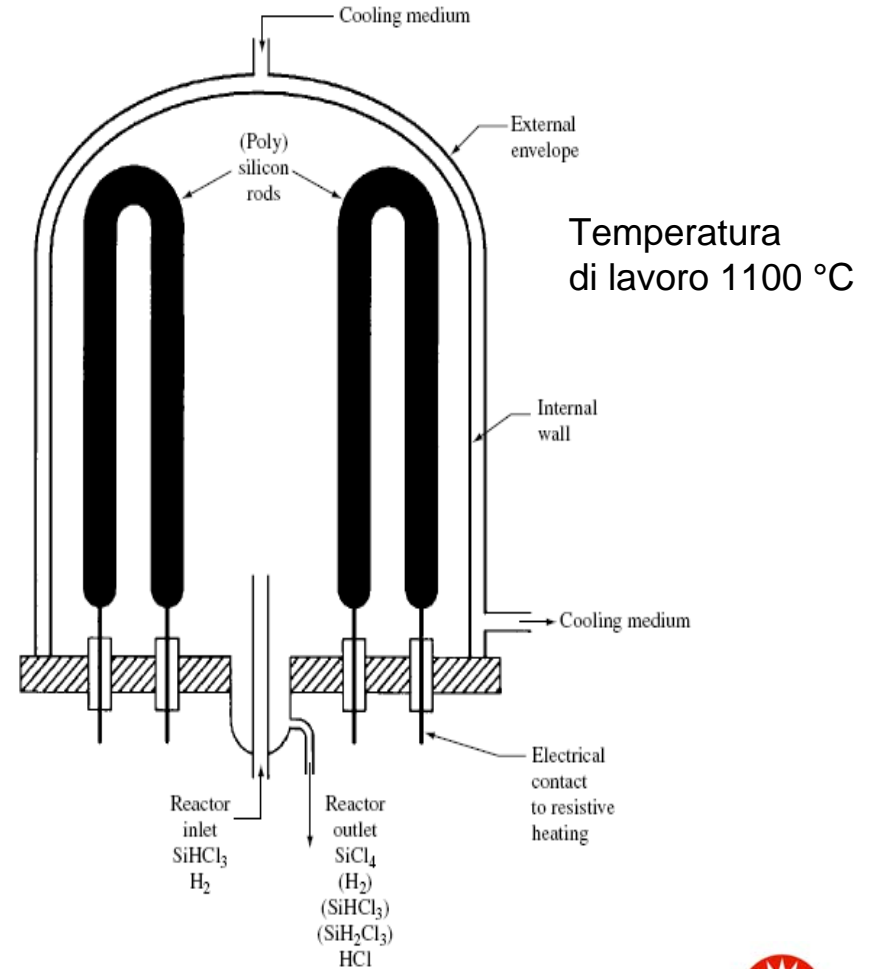


MG-Si: Metallurgical Grade Silicon
TCS: Trichlorosilane
TET: Tetrachlorosilane

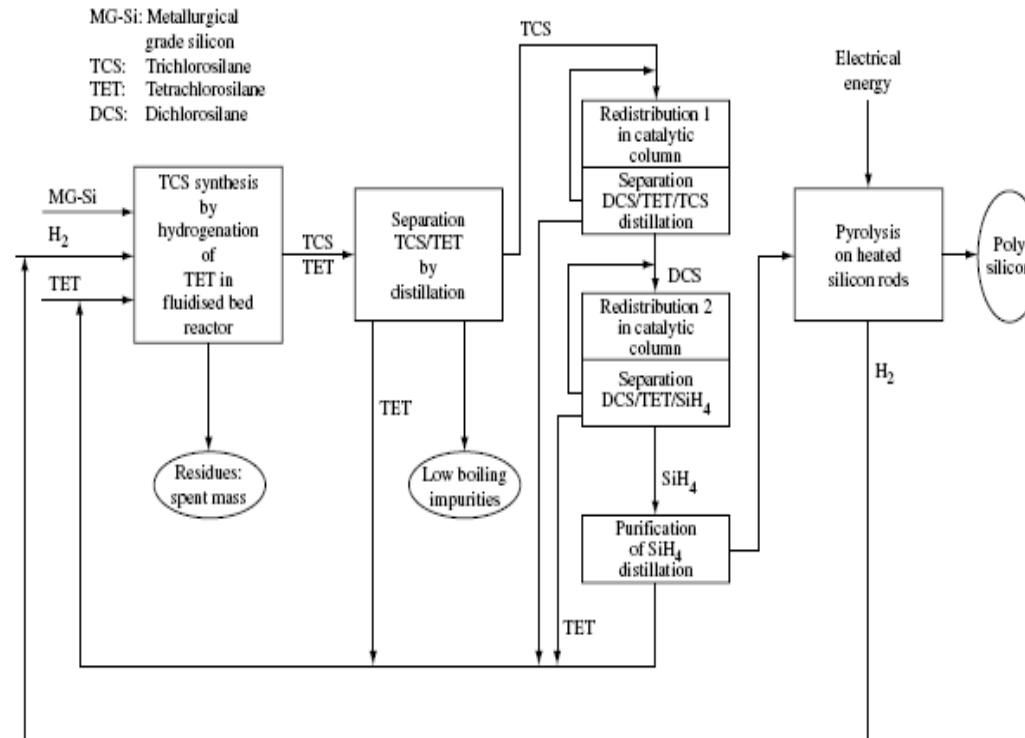
Principali Reazioni



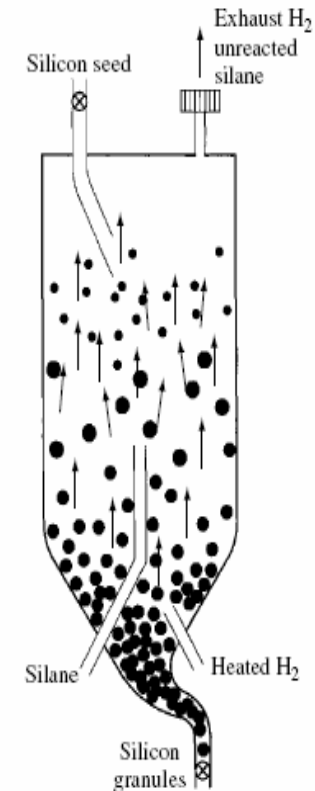
Reattore Siemens

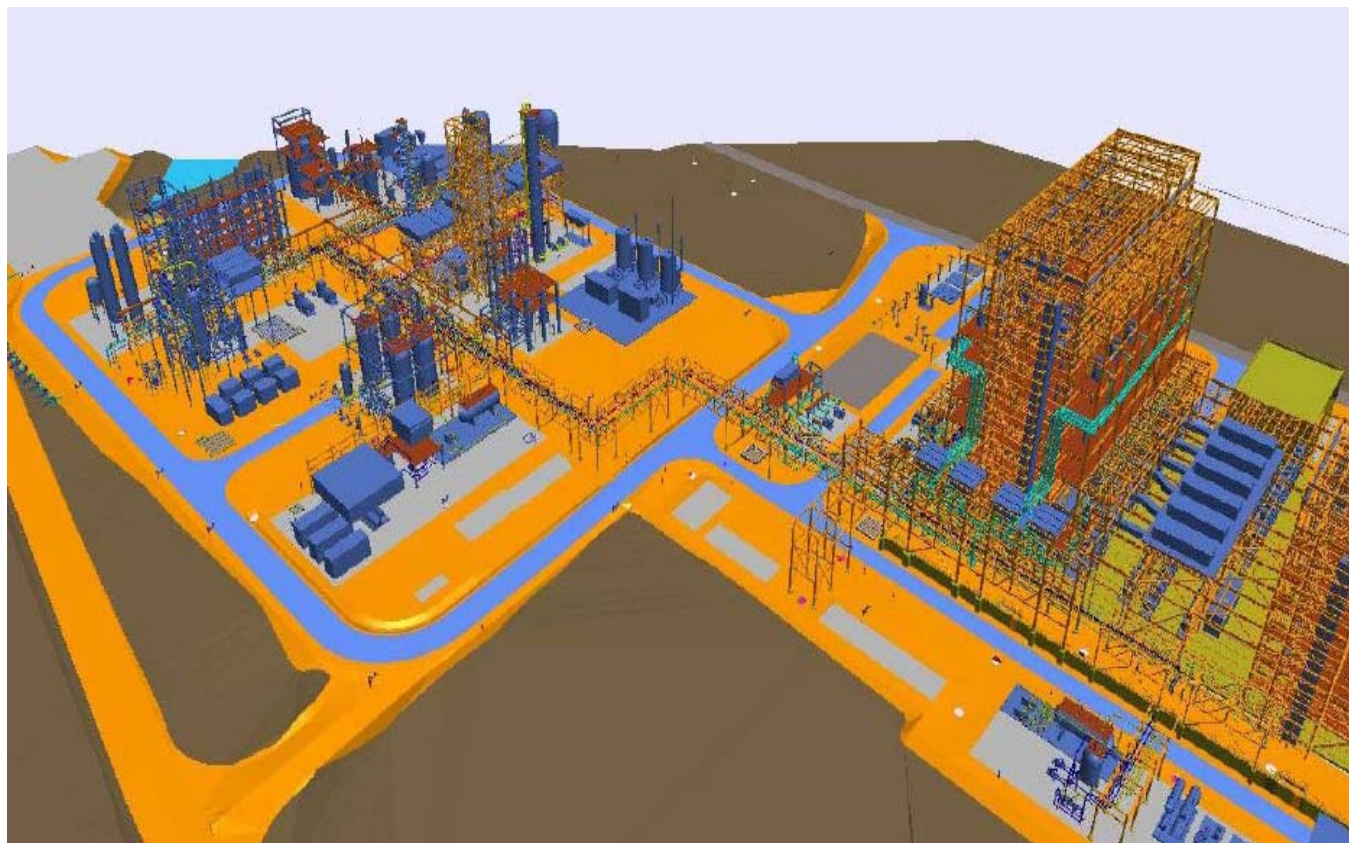


Processo Union Carbide

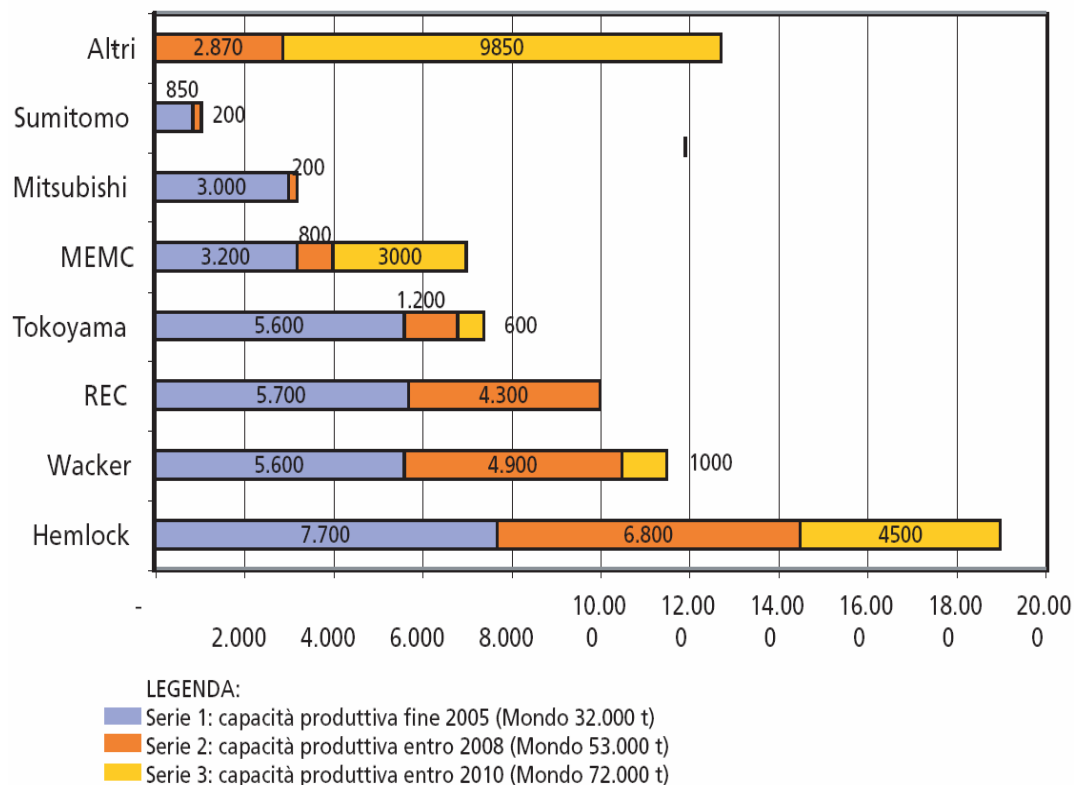


Evoluzione Processo Union Carbide FBR





Valori attuali e attesi di produzione di Polysilicon nel mondo



Caratteristiche Fisiche del silicio

Property	Value
Atomic weight	28.085
Atomic density (atoms/cm ³)	5.0×10^{22}
Melting point (°C)	1410
Boiling point (°C)	2355
Density (g/cm ³ at 25°C)	2.329
Heat of fusion (kJ/g)	1.8
Heat of vaporisation at MP (kJ/g)	16
Volume of contraction on melting (%)	9.5

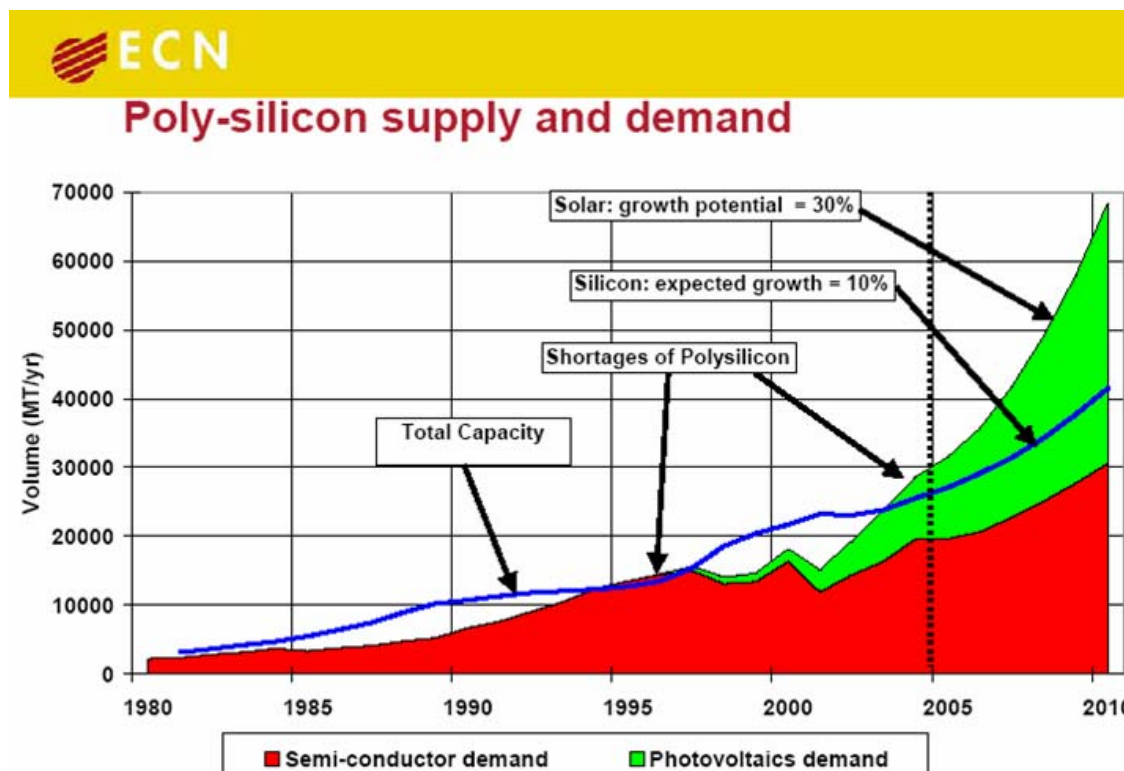
Il consumo di silicio nel caso di pannelli a silicio cristallino è di circa 10 -20 g/W contro i 0,1-0,4 g/W nel caso del silicio amorfo

Production capacities by the end of 2010

Silicon	8-10 GWp
Wafer	10-12 GWp
Cells	11-14 GWp
c-Si Modules	14-16 GWp
Thin Film	4 GWp

Fonte EPIA: European Photovoltaic Industry Association

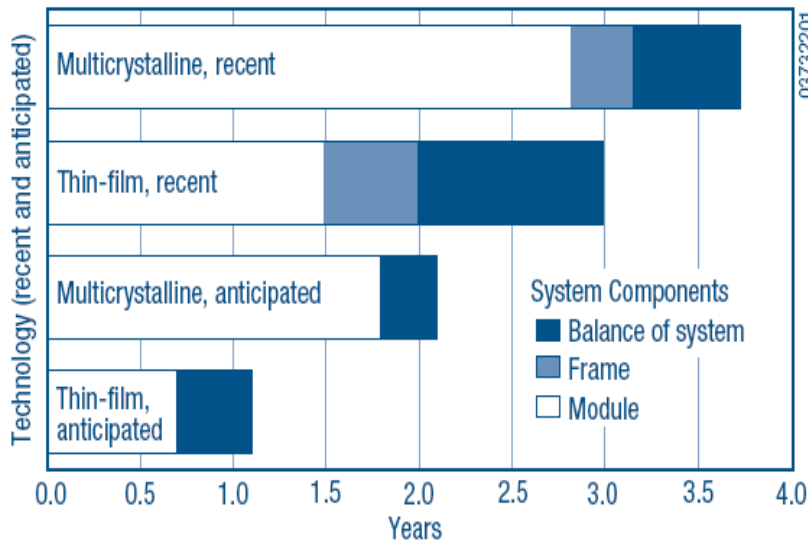
Analisi di Mercato della materia prima (polysilicon)



Fonte EPIA: European Photovoltaic Industry Association



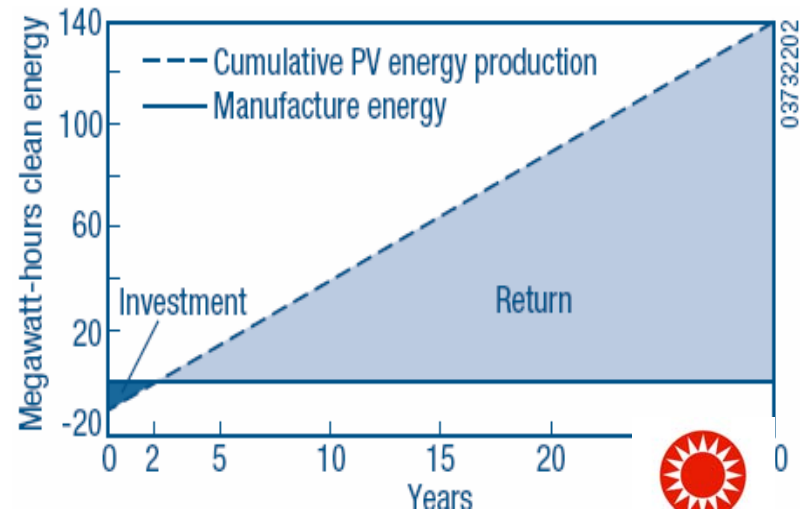
Energy Pay Back per impianti fotovoltaici (fonte DOE)



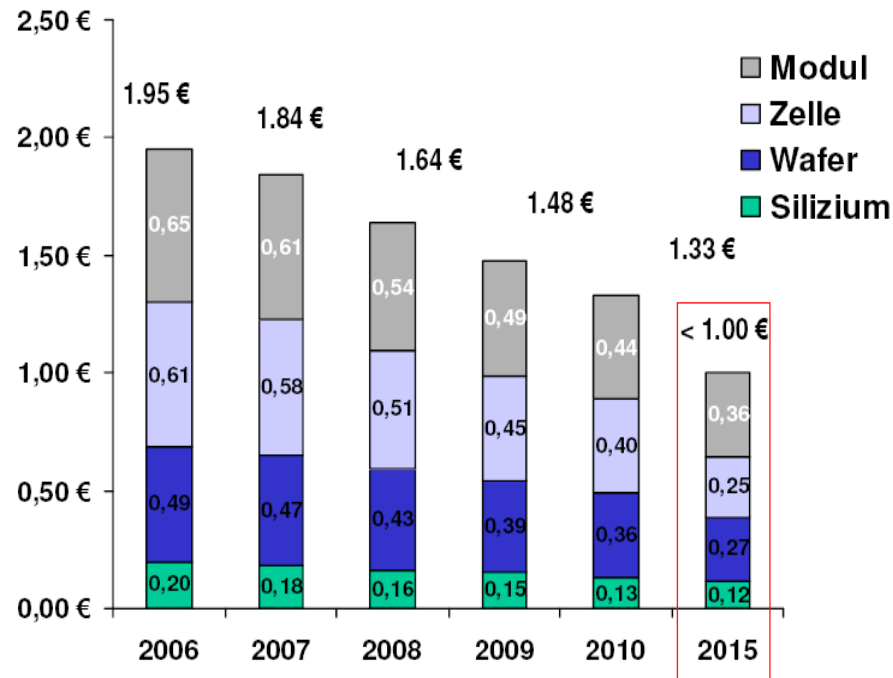
Energy Pay Back:

Tempo di funzionamento dell'impianto necessario a produrre la stessa quantità energia utilizzata per la sua realizzazione.

Consumo energetico per produrre le celle monocristalline 600 kWh/m² 420 kWh/m² per il policristallino.

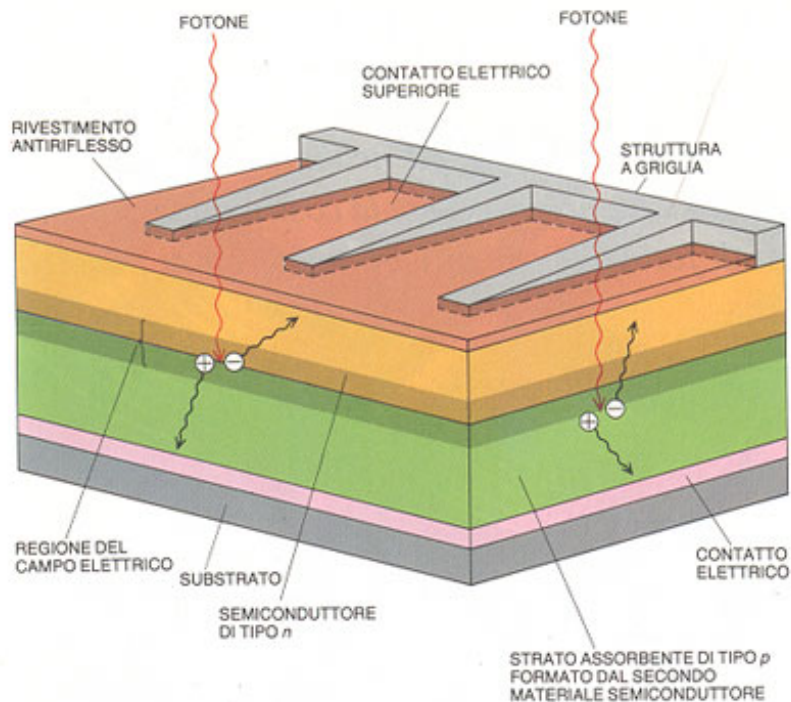


Valutazione del costo di produzione a Wp (Schott Solar)

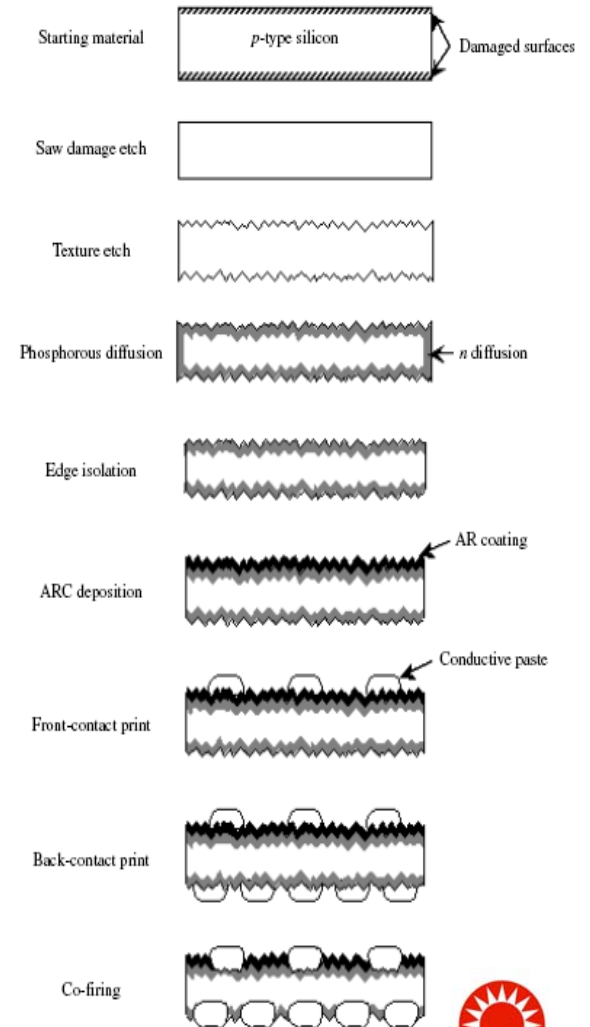
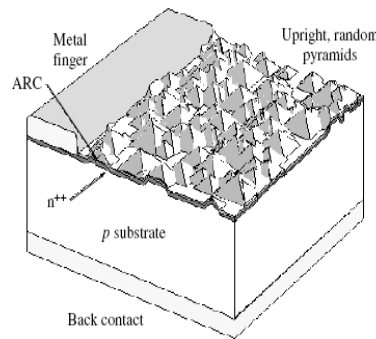
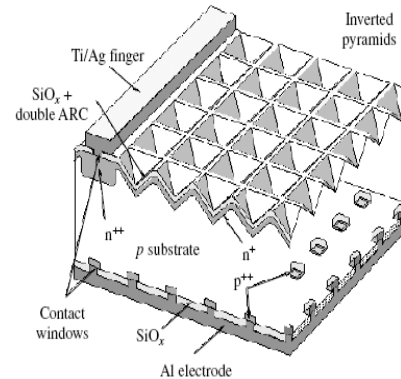
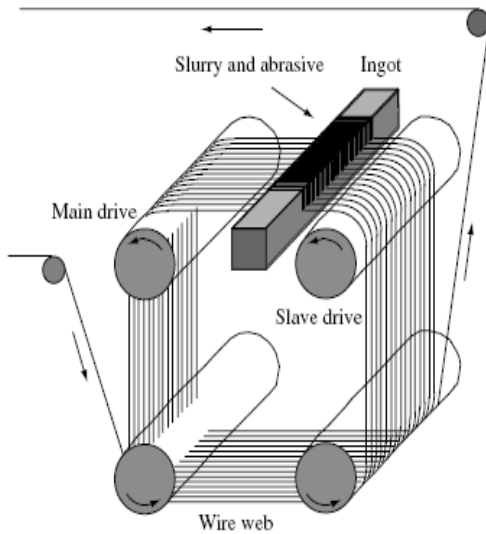


Fonte presentazione EPIA 2nd International Conference on Solar
Photovoltaik Investment Frankfurt 19 / 20 February 2008 I.A. Schwirlich

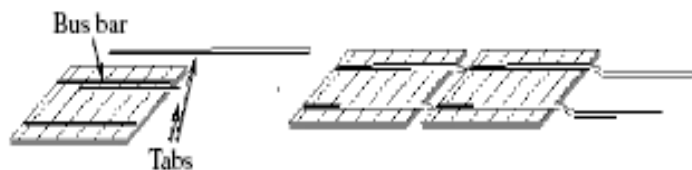
Processo di realizzazione della cella fotovoltaica



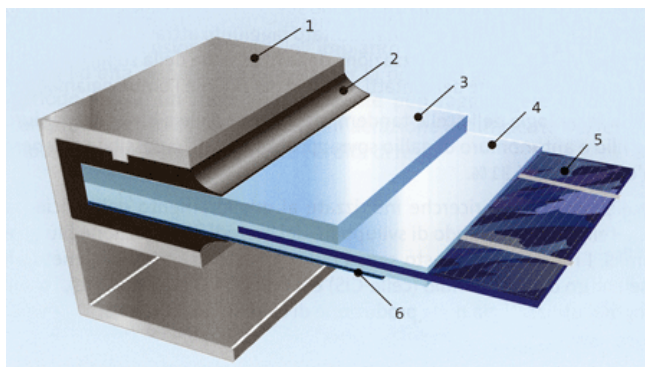
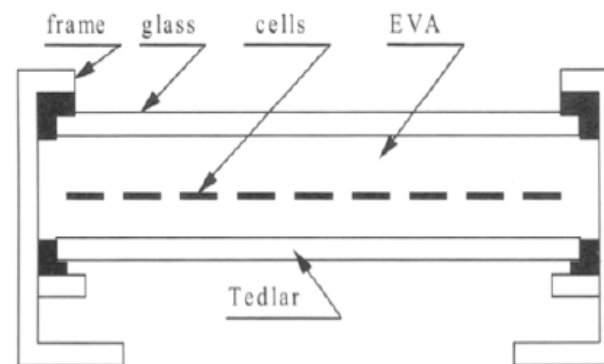
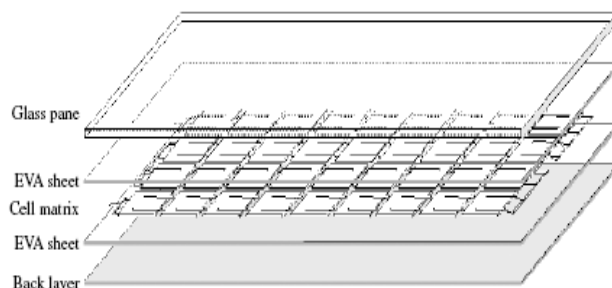
Processo di realizzazione della cella fotovoltaica



Processo di realizzazione dei moduli fotovoltaici

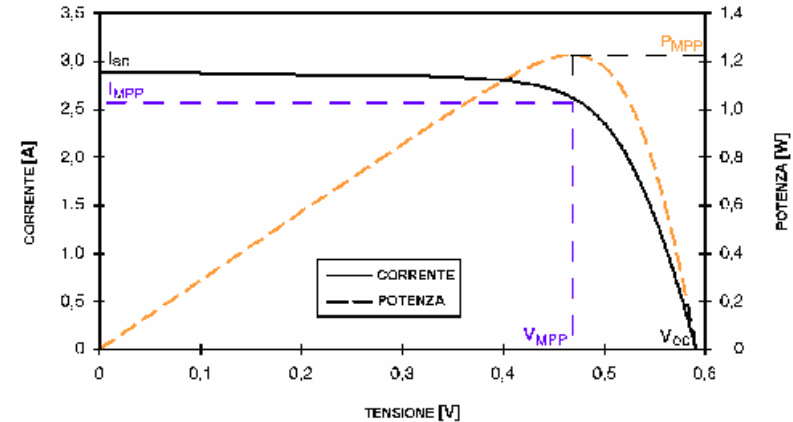
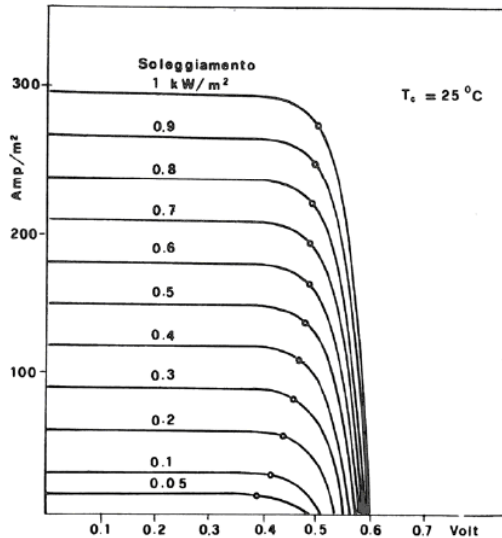
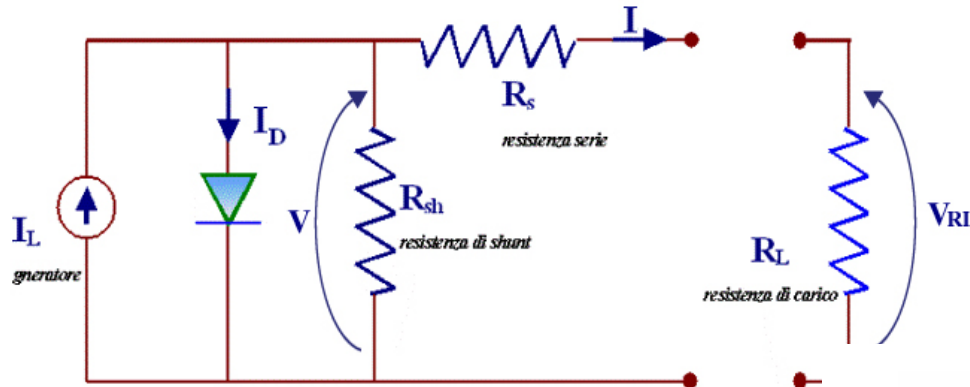


- Realizzazione delle stringhe
- Connessione delle stringhe
- Realizzazione del pannello

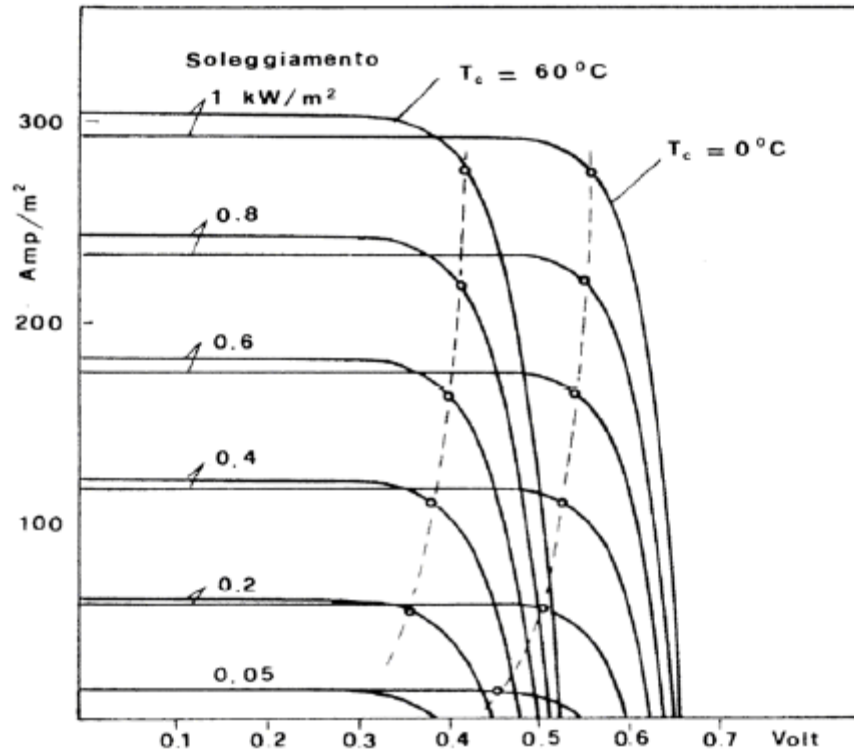


1) Cornice in alluminio, 2) Sigilante, 3) Vetro, 4) Eva, 5) Cella 6) Tedlar

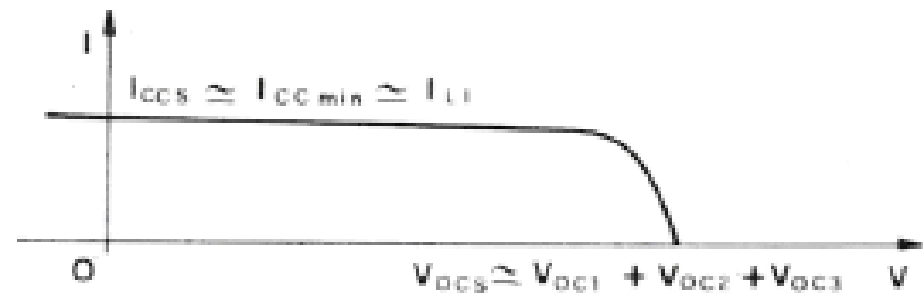
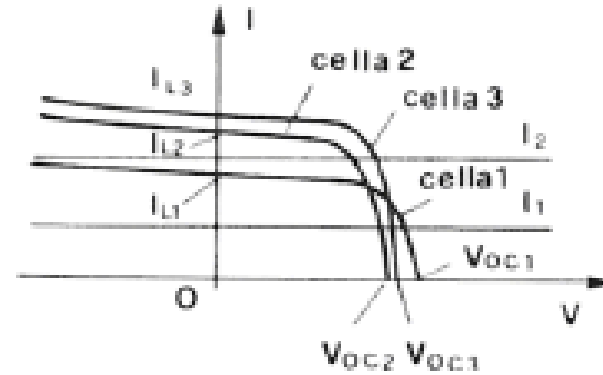
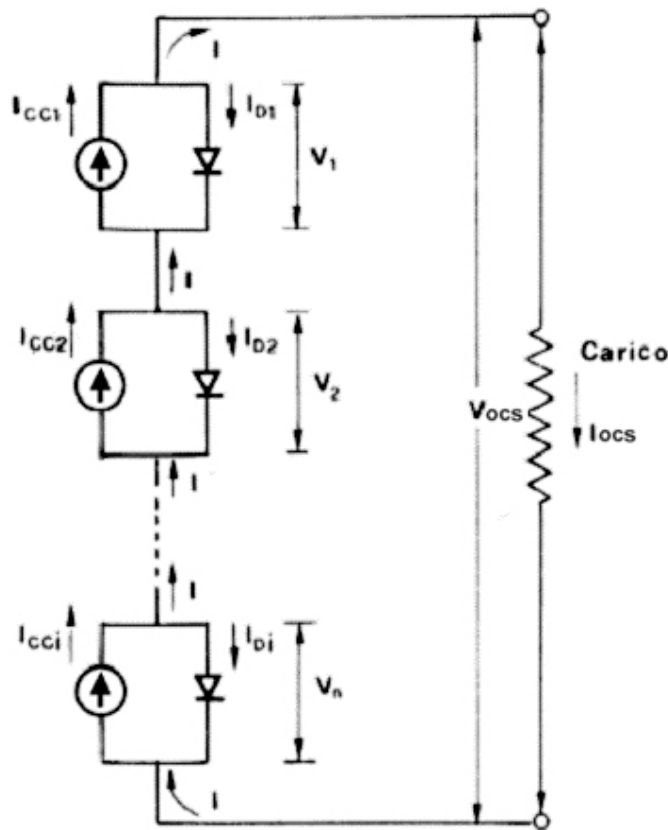
Problematiche delle connessioni delle celle fotovoltaiche



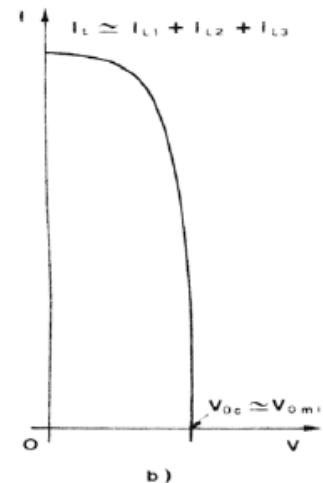
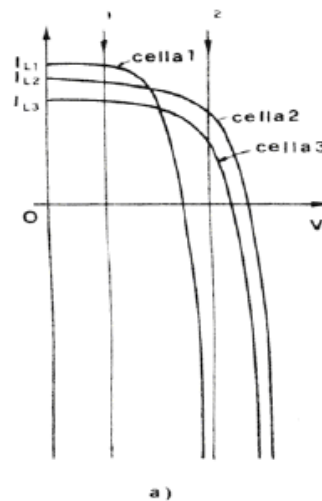
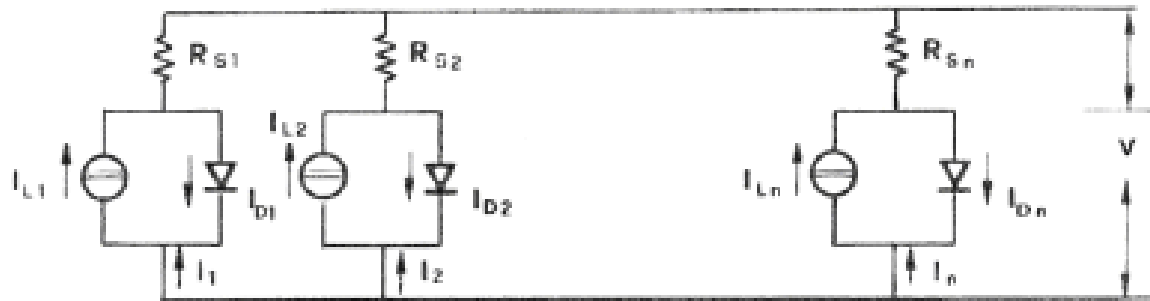
Problematiche delle connessioni delle celle fotovoltaiche



Problematiche delle connessioni delle celle fotovoltaiche: collegamento serie



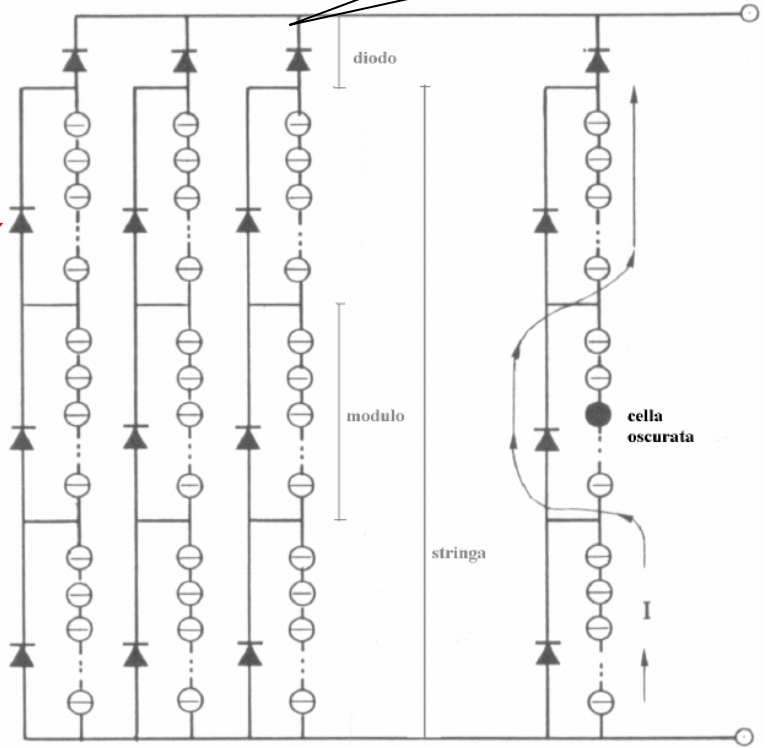
Problematiche delle connessioni delle celle fotovoltaiche: collegamento parallelo



Problematiche delle connessioni delle celle fotovoltaiche: Risoluzione dei problemi

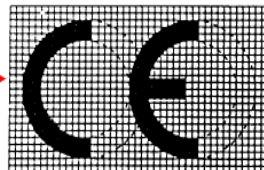
I diodi di blocco hanno lo scopo di impedire che gli squilibri di tensione tra le singole stringhe, nel caso di sbilanciamento nell'erogazione di potenza da parte delle stesse, possano dar luogo alla circolazione di una corrente inversa verso le stringhe

I diodi di by-pass consentono di cortocircuitare e quindi isolare il singolo modulo (o parte di esso, in presenza di due o più diodi per modulo) nel caso di un malfunzionamento dello stesso (o di oscuramento di qualche cella)



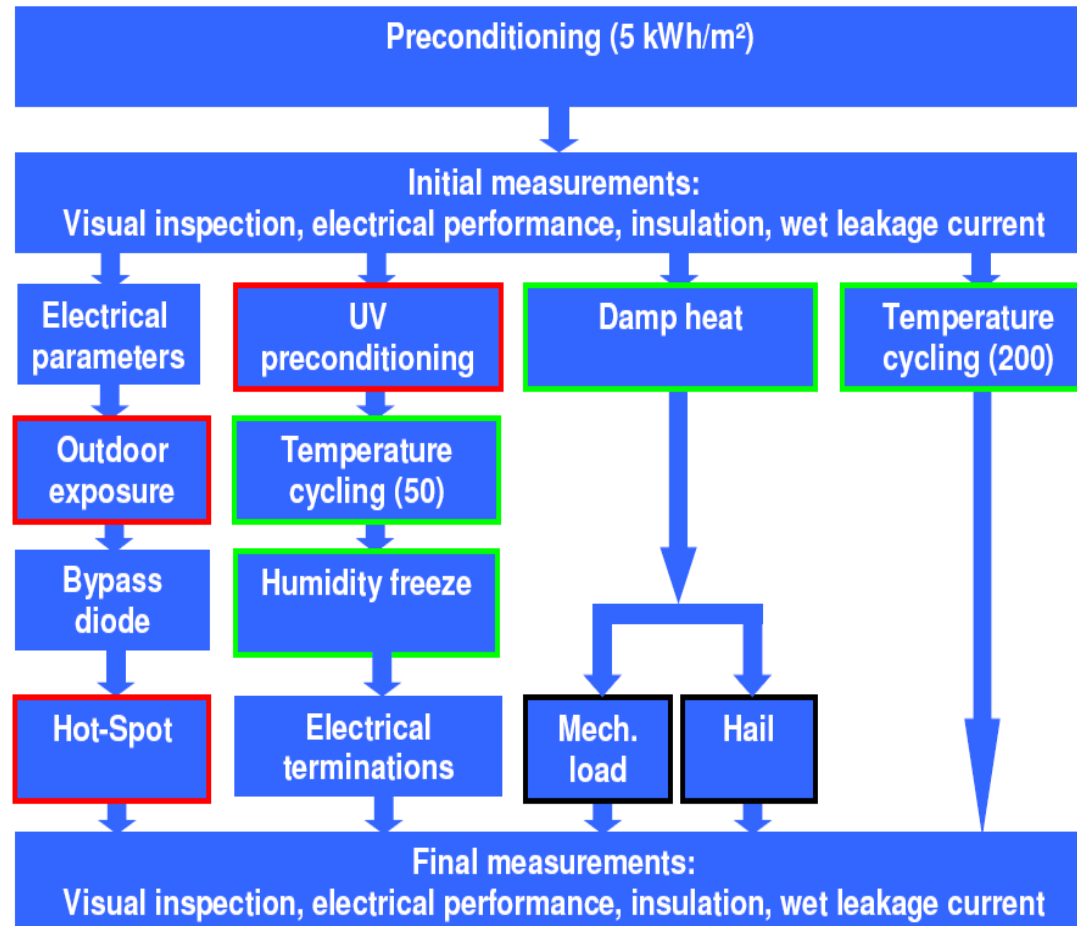
Perchè la certificazione è importante

IEC 61215 Ed. 2 (2005)	Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval
IEC 61646 Ed. 1 (1996)	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval
IEC 61730-1 Ed. 1 (2004)	Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction
IEC 61730-2 Ed. 1 (2004)	Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing



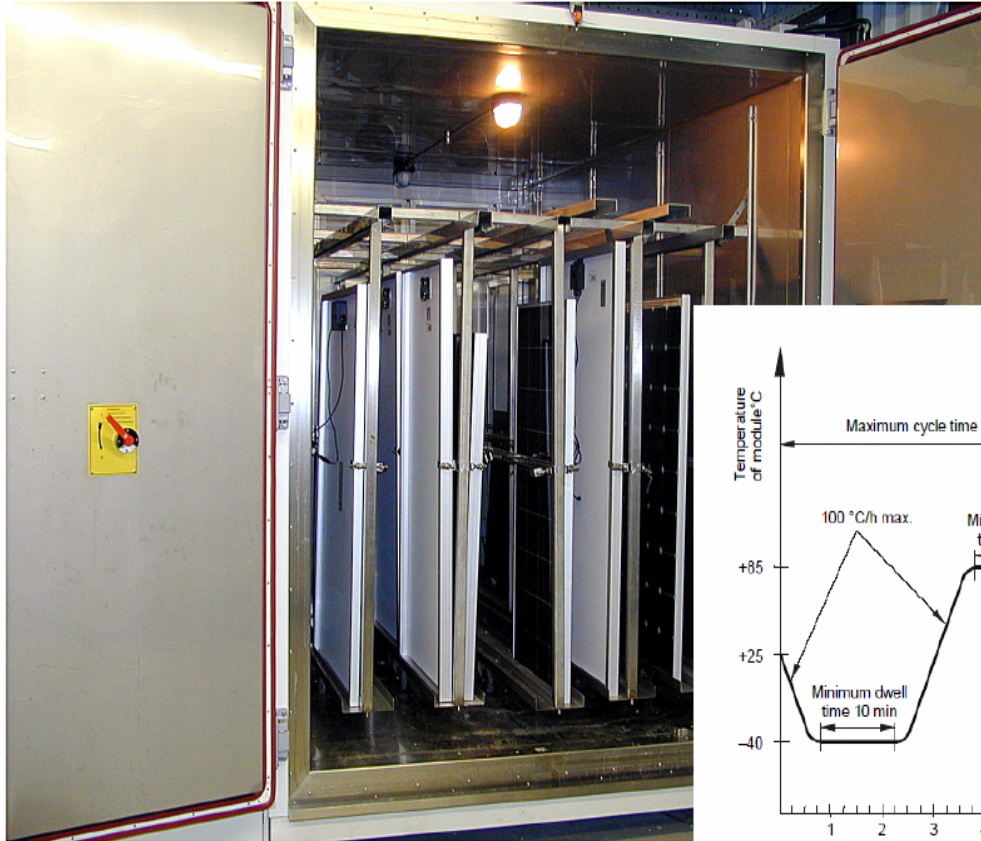
Fonte presentazione EPIA 2nd International Conference on Solar Photovoltaik Investment Frankfurt 19 / 20 February 2008 TÜV Rheinland Immissionsschutz

Test sequences of IEC 61215 Ed. 2



Fonte presentazione EPIA 2nd International Conference on Solar Photovoltaik Investment Frankfurt 19 / 20 February 2008 TÜV Rheinland Immissionsschutz

Environmental stress tests

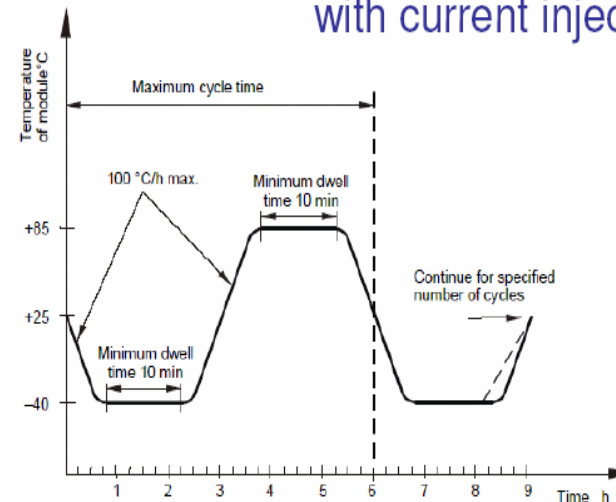


Damp heat:

1000 hours
85 °C, 85% RH

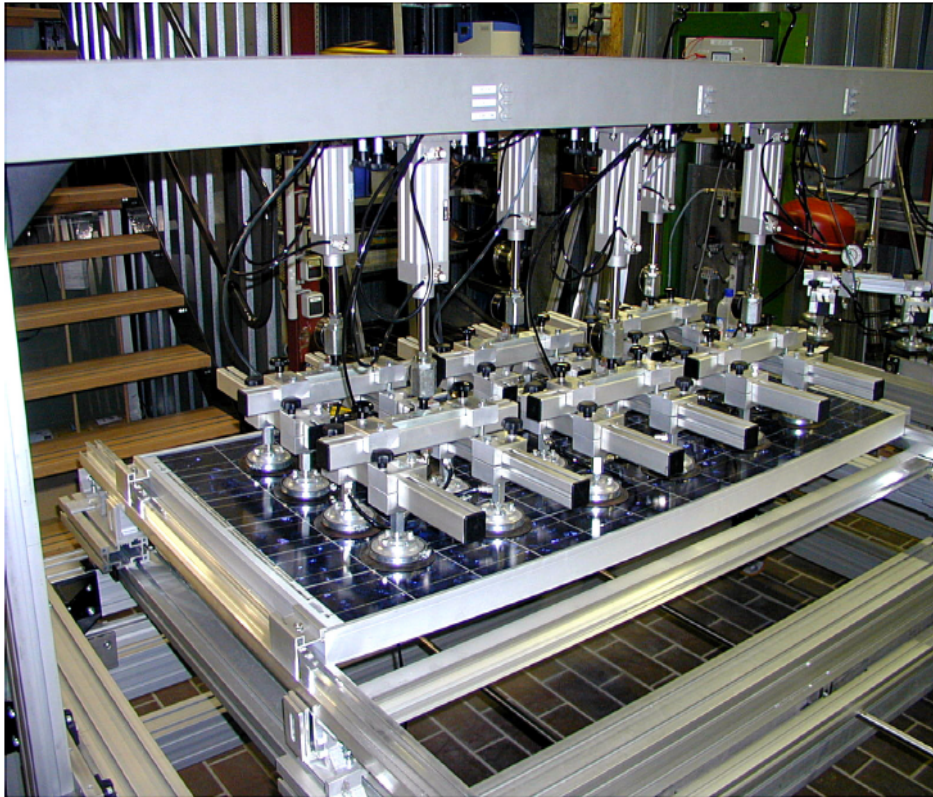
Thermal cycling:

200 cycles
-40 °C to 85 °C
with current injection



Fonte presentazione EPIA 2nd International Conference on Solar Photovoltaik Investment Frankfurt 19 / 20 February 2008 TÜV Rheinland Immissionsschutz

Mechanical stress tests:

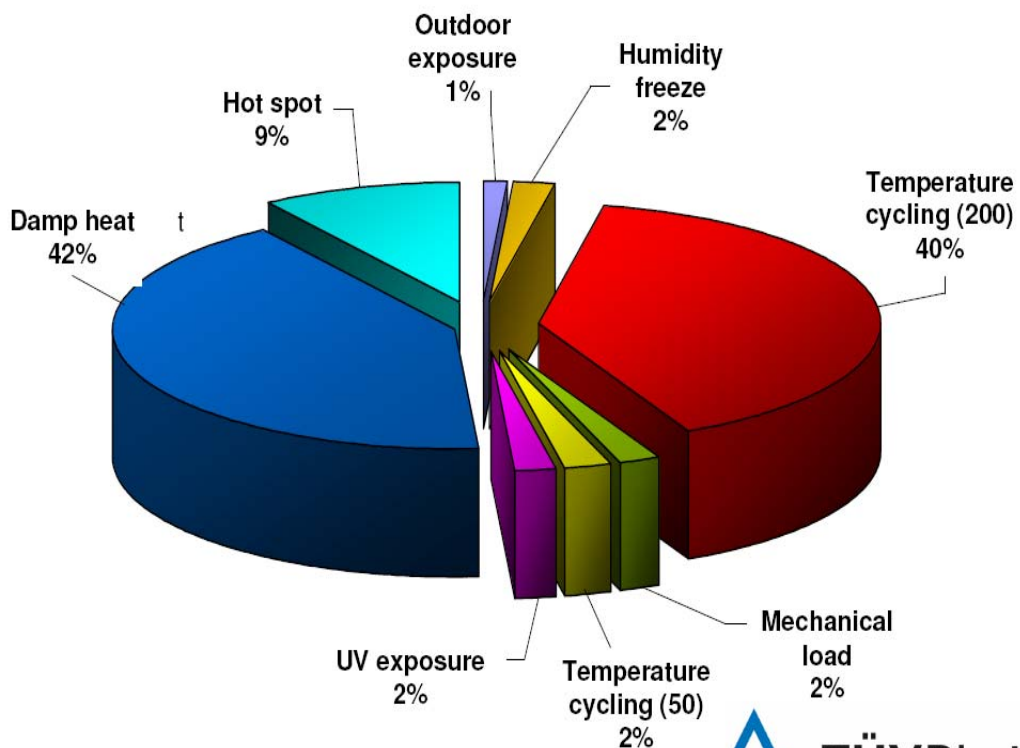


Mechanical load test
to determine the ability of the module to withstand wind, snow, static or ice loads.

- 3 load cycles to the module front and back surface
- Standard:
2.4 kN/m² uniform load
- Optional:
5.4 kN/m² during last front cycle

Fonte presentazione EPIA 2nd International Conference on Solar Photovoltaik Investment Frankfurt 19 / 20 February 2008 TÜV Rheinland Immissionsschutz

Distribuzione del fallimento dei test di prove di certificazione pannelli



www.tuv.com



Migliori prestazioni su moduli a film sottile misurate presso NREL (aggiornamento 2004)

Tipo di film	Efficienza (%)	Dimensioni (m ²)	Data di misura	Azienda produttrice	Nazionalità
a-Si	6	0,81	2001	Kaneka	GIAPPONE
a-Si triple	7,9	0,45	1997	United Solar	USA
a-Si/a-Si	5,7	0,74	2002	EPV	USA
a-Si/a-SiGe	7,6	0,74	1996	Solarex	USA
a-Si/a-SiGe/a-SiGe	7,6	0,93	1997	United Solar	USA
CdS/CdTe	11	0,83	2001	BP Solar	USA/EUROPA
CdS/CdTe	10,2	0,66	2004	First Solar	USA
CdS/CdTe	11	0,54	2000	Matsushita	GIAPPONE
CdS/CdTe	7	0,66	2003	Antec Solar	USA
CdS/CIGS/foil	7,3	0,77	2002	Global Solar	Global Solar
CdS/CIS-alloy	12,8	0,36	2001	Shell Solar	EUROPA
CIGS	12,5	0,59	2002	Wurth Solar	EUROPA
Zn(O,S,OH) _x /CIGS	13,4	0,34	2002	Showa Shell	GIAPPONE