



Dispositivi innovativi per l'efficienza energetica in edilizia

Alessandro Cannavale
Ricercatore in Fisica tecnica
Politecnico di Bari



Sommario

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro

2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza

Dispositivi innovativi per l'efficienza energetica in edilizia

3. Dispositivi cromogenici per smart windows

4. Building integration di dispositivi innovativi

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro

In Germania la parola **glesum** indicava la trasparenza dell'ambra gialla, per poi diventare **glass**. Le condizioni climatiche hanno favorito lo slancio tecnologico verso pareti vetrate di grandi dimensioni ed elevata trasparenza.

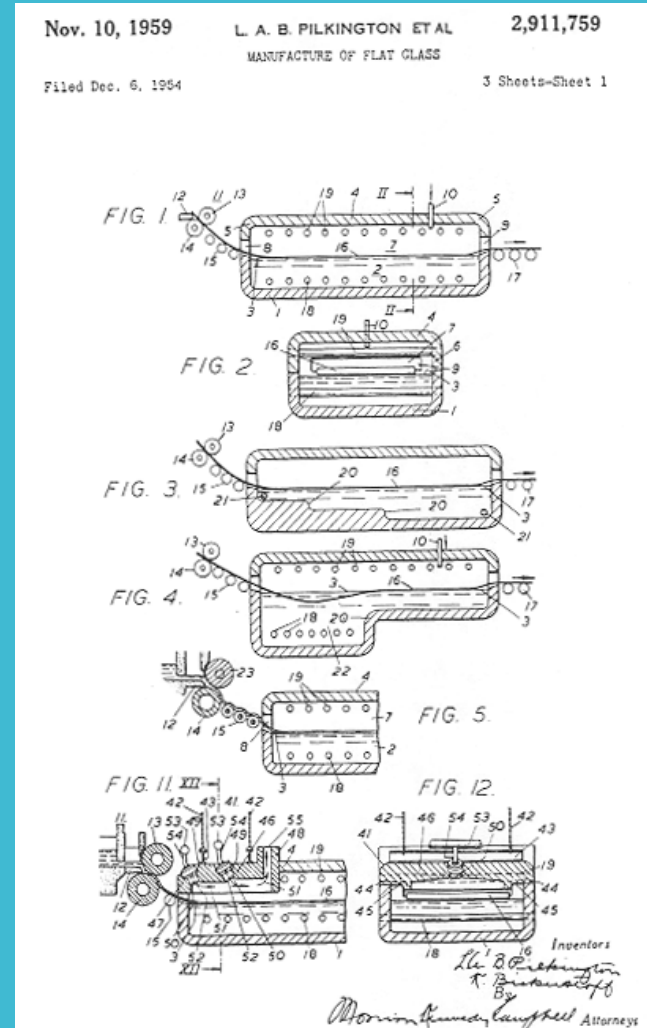
Verso la fine del **XVIII secolo** assunse rilievo la creazione di ampi edifici per la coltura delle piante, grandi serre che rappresentavano una sintesi delle migliori tecniche costruttive innovative del tempo. **Crystal Palace**, 80000 m² di superficie ricoperta con vetrate.



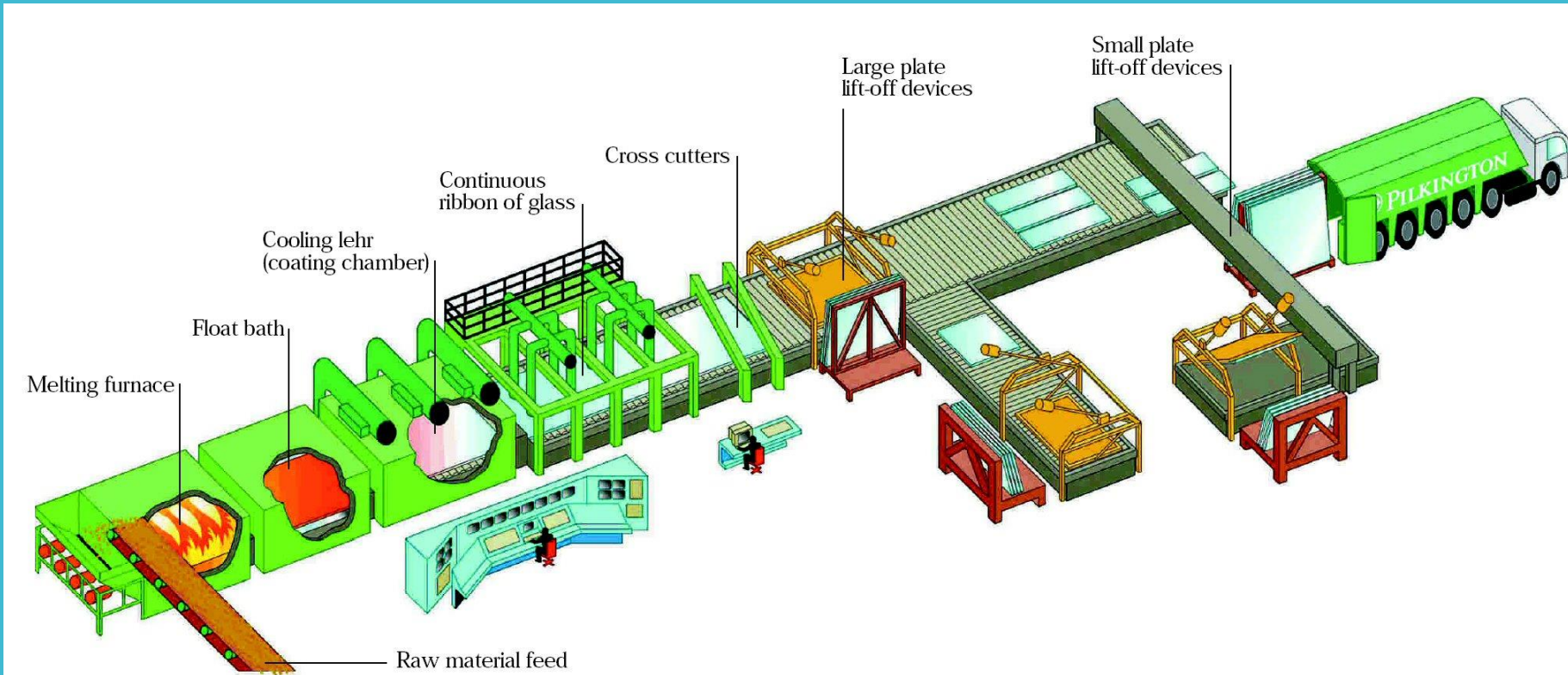
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Dopo la Seconda Guerra Mondiale la **Pilkington Brothers Ltd.** Sviluppò un processo in grado di combinare finitura brillante con miglioramento delle qualità ottiche.

Float glass: una colata continua di impasto vetroso viene riversata in una fornace su una superficie di stagno liquido. La colata viene mantenuta a temperatura elevata per consentire alla lastra di regolarizzarsi e assumere facce lisce e parallele. Avviene poi il raffreddamento fino a quando la lastra non può essere sollevata dal letto di stagno. Il processo negli anni è stato migliorato per ottenere lastre di spessore sempre più elevato. Spessore variabile da **0,4 mm a 25 mm** e con **larghezze fino a 3 m.**



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



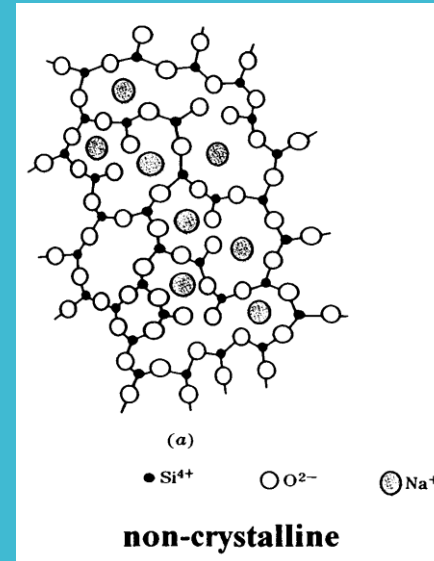
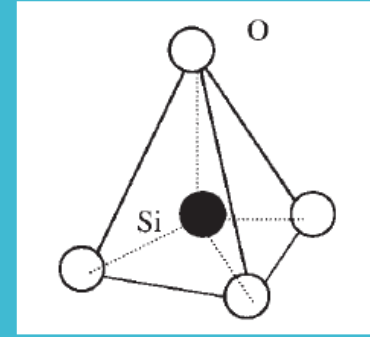
Processo di produzione del vetro float

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Un'eccessiva velocità di raffreddamento determina una struttura **amorfa**, come osservato nel 1925 da Tammann. La velocità di raffreddamento influenza la densità del vetro ottenuto. Se il raffreddamento avviene lentamente gli atomi si impacchettano in modo **cristallino** con ripetizioni perfette di esagoni, anelli contenenti legami Si-O. Nel vetro di quarzo si parla di **ordine a lungo raggio (LRO)**, mentre nel vetro amorfo si parla di **ordine a corto raggio (SRO)**.

L'aggiunta di modestissime quantità di additivi modifica fortemente le proprietà ottiche e meccaniche del vetro.

Ad esempio, l'aggiunta di soda, (**carbonato di sodio Na_2CO_3**) detta **fondente**, abbassa la temperatura di fusione da 1600°C a 1000°C e favorisce la creazione dei *non-bridging-oxygens*, ossia di atomi di ossigeno privi di legame. Ciò favorisce la lavorabilità. Il diossido di silicio invece ha un punto di fusione di circa **1600°C** .



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Vetri di quarzo: contengono *silice oltre l'80%*. Resistono agli sbalzi termici e sono permeabili agli UV. Rammolliscono a temperature più elevate. Non molto lavorabili.

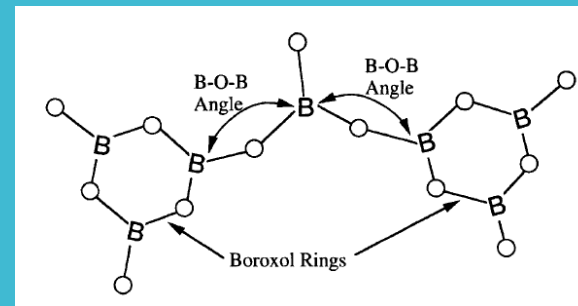
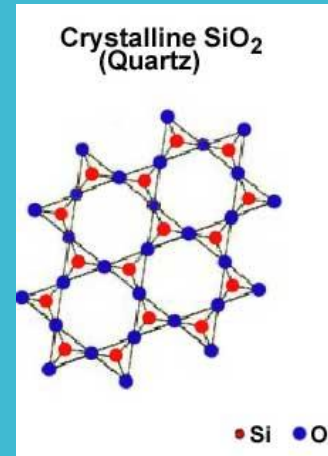
Vetri di borosilicati: sono lavorabili ma presentano alte temperature di rammollimento ed *elevata resistenza alle alte temperature e agli sbalzi termici*. Resistono alla corrosione. Basso coefficiente di dilatazione termica. L'aggiunta di boro (7-13%) forma gruppi borossilici (B_2O_5) creando un network 3D, dominato dai gruppi B_3O_6 , detti boroxol.

Coefficiente di dilatazione termica:

Vetro comune: $9 \times 10^{-6} K^{-1}$

Vetro ai borosilicati: $3 \times 10^{-6} K^{-1}$

SiO_2 e B_2O_3 compongono il reticolo e sono detti **vetrificanti**.



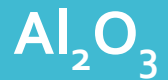
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



Stabilizzanti

Nei vetri **soda-lime** o **sodico-calcici** si procede con una additivazione di **Na₂O** del 13% e di **CaO** dell'8.6%.

Quest'ultimo, il **CaO**, è uno dei costituenti principali perché rende i vetri più resistenti sia meccanicamente sia chimicamente.



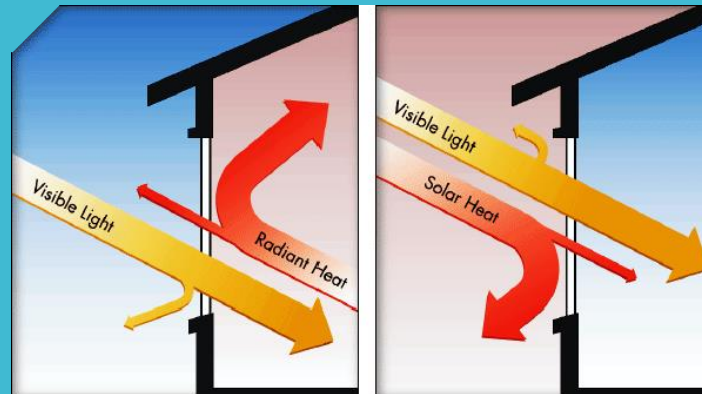
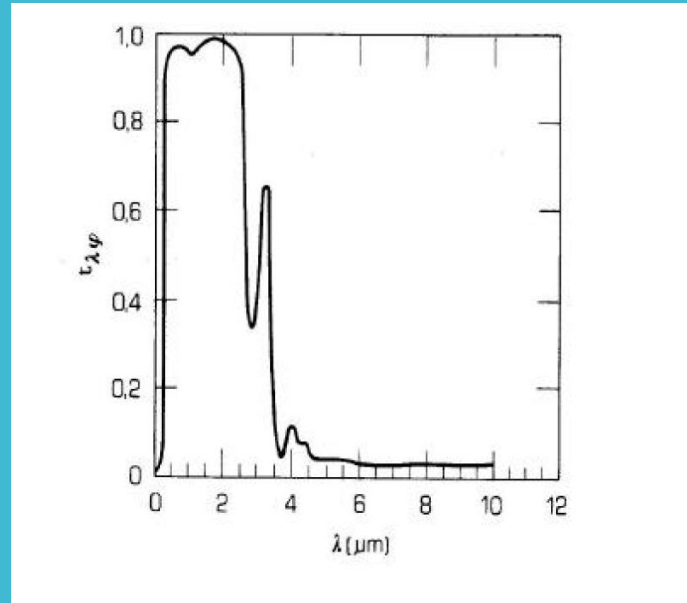
L'allumina è considerata lo **stabilizzante** per eccellenza dal punto di vista della resistenza chimica. Nei contenitori in vetro sodico-calcico ad uso alimentare viene usata in concentrazione compresa tra 1 e 3% in peso. È uno stabilizzante, come il CaO.



1. **Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro**
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Il passaggio termico dovuto ad un gradiente di temperatura attraverso una finestra ha diverse componenti:

- **Trasferimento radiativo**
- **Conduzione** attraverso le parti solide e gassose, conduzione attraverso il perimetro della sigillatura
- **Convezione** nell'intercapedine, in genere riempita con gas.



1. **Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro**
2. **Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza**
3. **Dispositivi cromogenici per smart windows**
4. **Building integration di dispositivi innovativi**

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro

2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza

3. Dispositivi cromogenici per smart windows

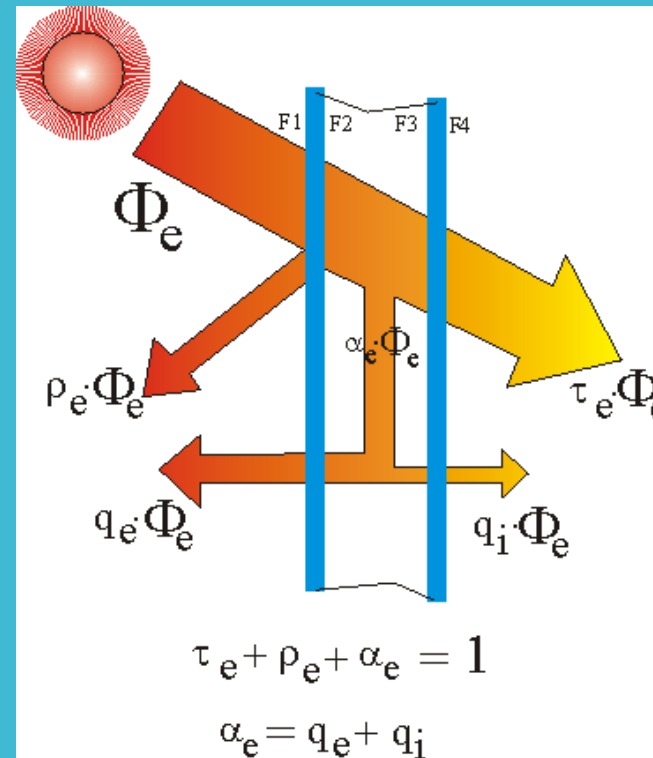
4. Building integration di dispositivi innovativi

Il **fattore di trasmissione solare** fornisce la percentuale di radiazione trasmessa tra 250 e 2500 nm.

Esiste poi un'aliquota di calore che viene poi reirradiata sotto forma di energia termica verso l'interno, detto **fattore secondario di trasmissione di calore**.

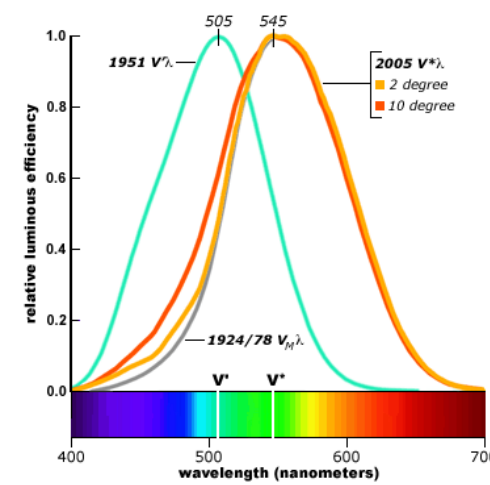
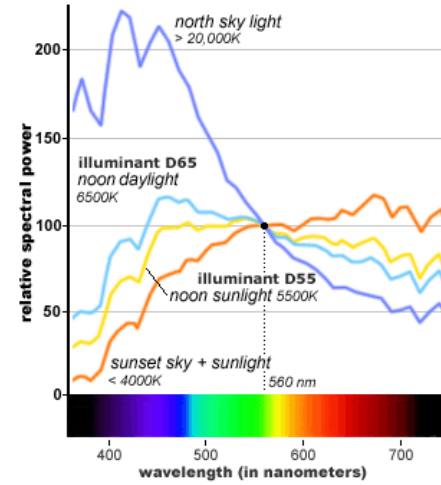
Il **fattore di trasmissione totale** di energia solare g è definito da:

$$g = t_e + q_i$$



$$T_{\text{vis}} = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} T(\lambda) D_{\lambda} V(\lambda) \Delta \lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta \lambda}$$

where



D_{λ} = relative spectral distribution of illuminant D65 [148, 183]

$V(\lambda)$ = spectral luminous efficiency for photopic vision defining the standard observer for photometry [148, 184]

$T(\lambda)$ = spectral transmittance of the glass

λ = wavelength

$\Delta \lambda$ = wavelength interval

$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta \lambda$ = values at different wavelengths given in Table A.2 in Appendix 15.A [148]

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

$$T_{\text{sol}} = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} T(\lambda) S_{\lambda} \Delta \lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta \lambda}$$

where

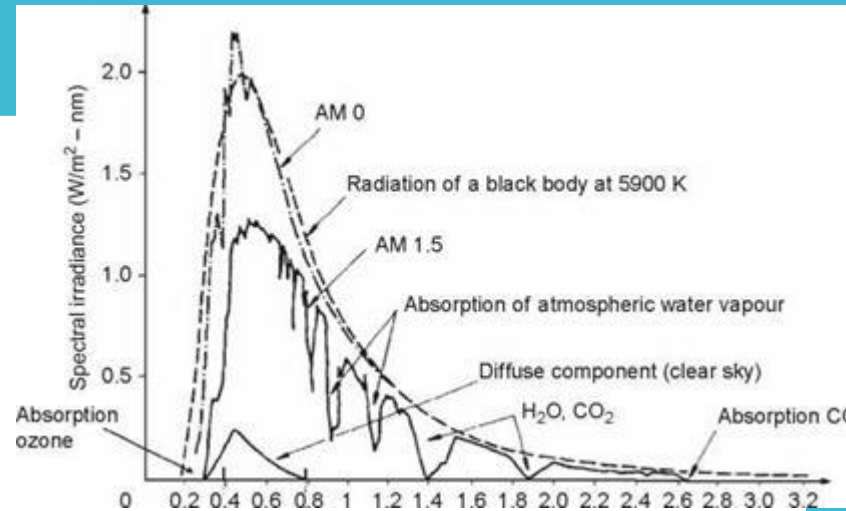
S_{λ} = relative spectral distribution of solar radiation [148, 182]

$T(\lambda)$ = spectral transmittance of the glass

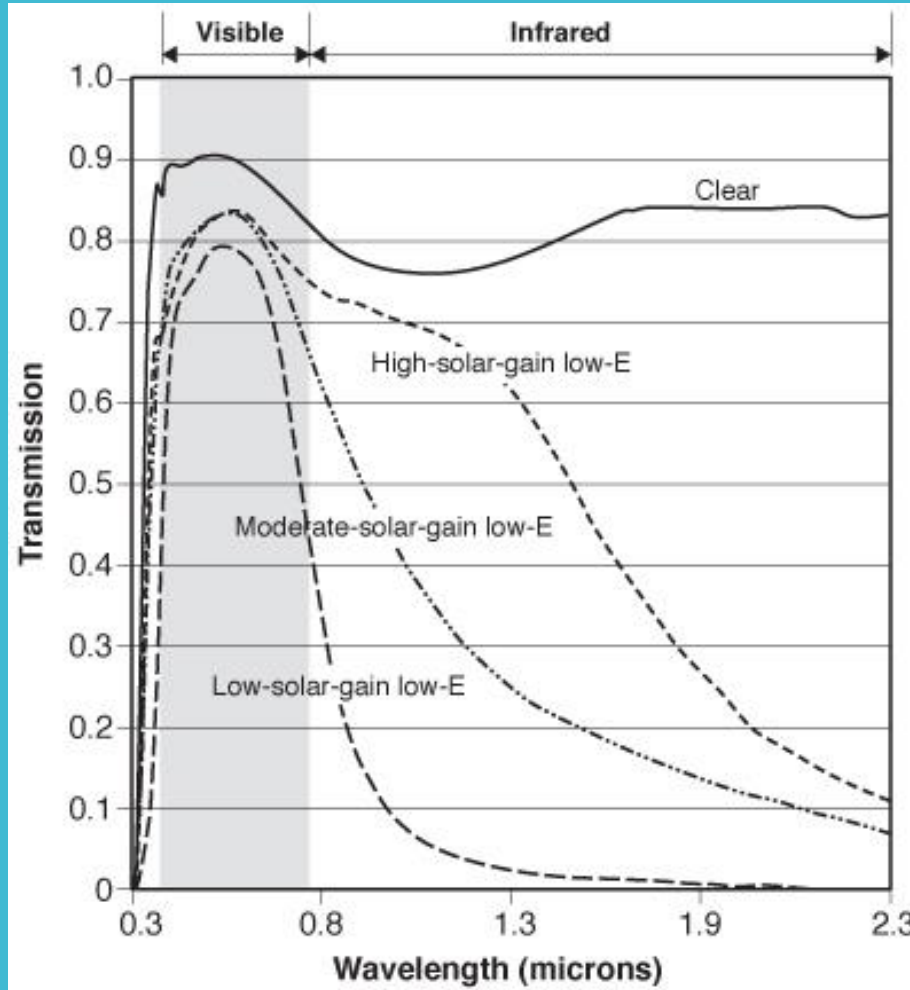
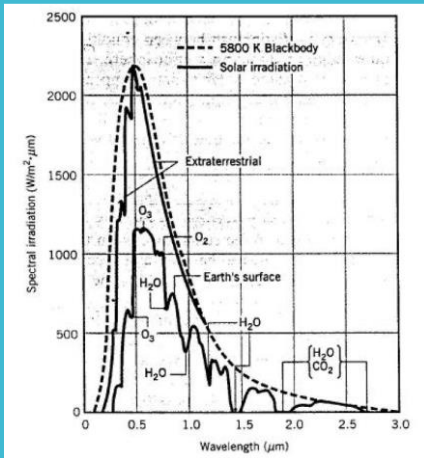
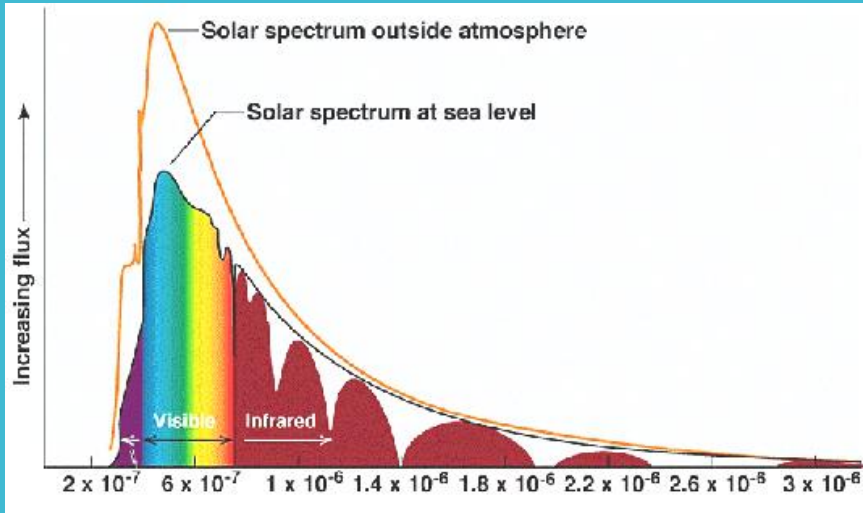
λ = wavelength

$\Delta \lambda$ = wavelength interval

$S_{\lambda} \Delta \lambda$ = values at different wavelengths given in Table A.3 in Appendix 15.A [148, 182]



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Materiali innovativi trasparenti

- *Materiali ad alte prestazioni* (rivestimenti selettivi e riempimento di gas)
- *Materiali cromogenici* (definiti attraverso il lavoro di Lambert e Granqvist come i materiali che sono in grado di mutare le proprie caratteristiche ottiche in risposta a stimoli esterni).

Fotocromici (controllo passivo)

Termocromici e termotropici (controllo passivo)

Elettrocromici (controllo attivo)

Gasocromici (controllo attivo)

Cristalli liquidi o SPD (controllo attivo)

- *Materiali a selettività angolare* (componenti impiegati per indirizzare la radiazione solare incidente verso direzioni particolari).

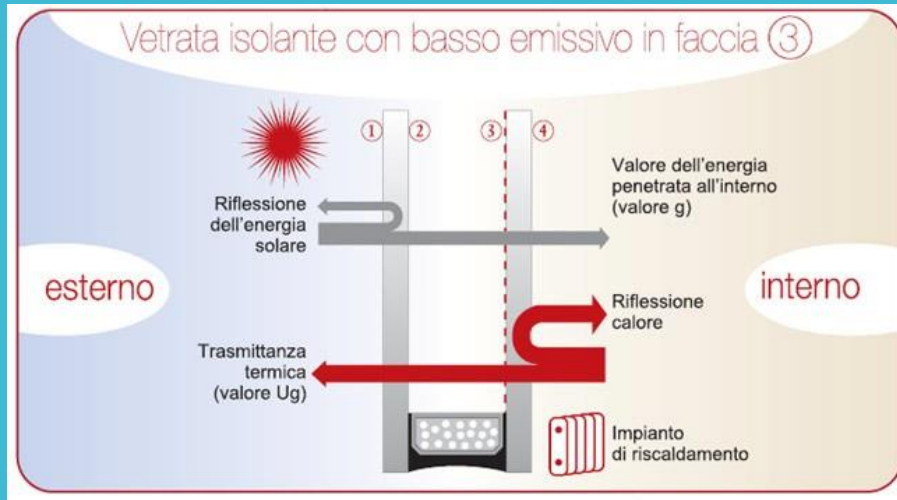


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro

2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza

3. Dispositivi cromogenici per smart windows

4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

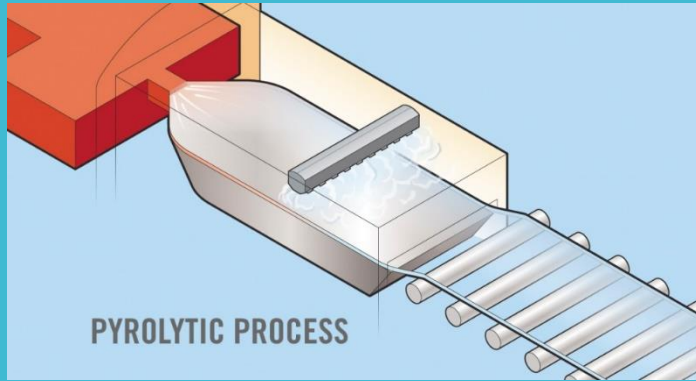
Di particolare interesse la riduzione della **componente radiativa**, che può essere contenuta adoperando dai rivestimenti che contengano l'emissione di calore da almeno una delle facce del pannello di vetro.

Nei vetri doppi, il trasferimento di calore può scendere da $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ quando entrambe le facce di un'unità isolata sia rivestita con un materiale a bassa emissività.

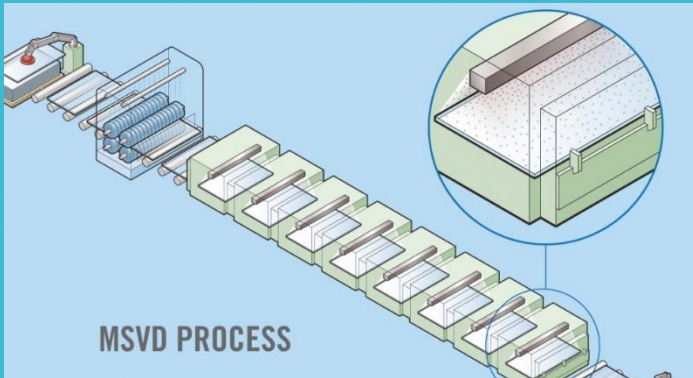
La **emissività** di un materiale (di solito indicata con ϵ , riducibile da 0.84 fino a 0.04) è la frazione di energia irradiata da un materiale rispetto all'energia irradiata da un corpo nero alla medesima temperatura.

Vetro singolo: $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ [fonte: Manuale Tecnico Saint Gobain Vetro Italia]

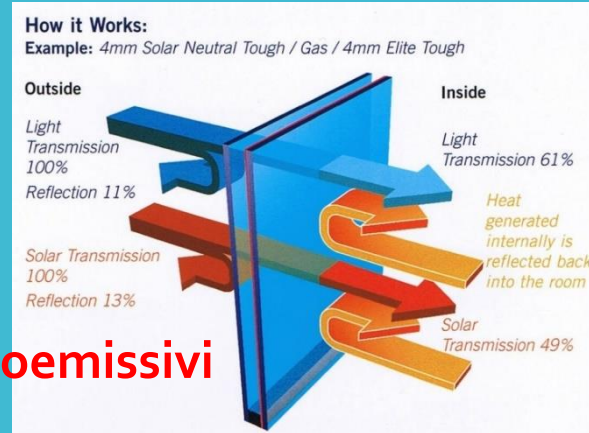
Vetrocamera 4-12-4: $2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ [fonte: UNI EN ISO 10077-1/Appendice F]



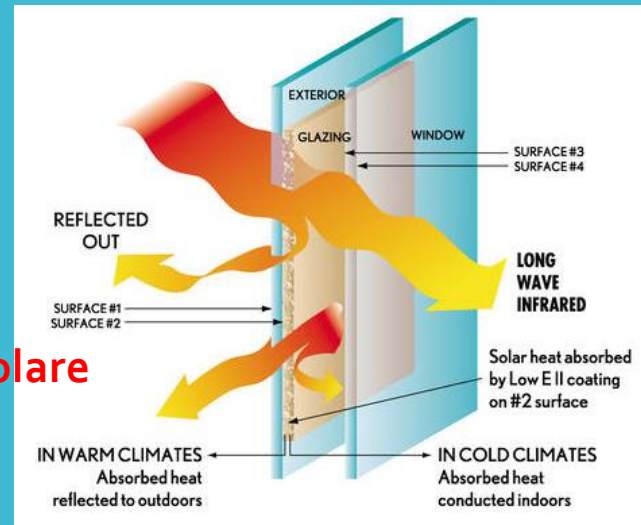
I **coating** possono essere depositati sotto forma di **hard coatings** (sopra, emissività fino a 0.13) e **soft coating** (sotto, emissività fino a 0.01). Questi ultimi hanno migliori prestazioni di isolamento termico.



«Low-E» bassoemissivi



Controllo solare

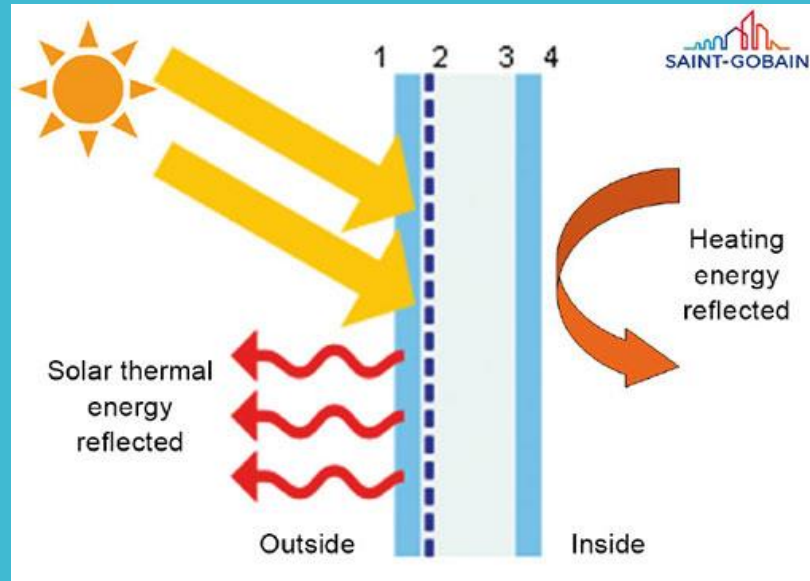


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Il **vetro selettivo** è un un vetro float coatizzato avente *sia proprietà di controllo solare sia di isolamento termico*, così da abbassare il valore del fattore solare g .

Un vetro selettivo con protezione solare avanzata garantisce, allo stesso tempo, un eccellente isolamento termico e un alto livello di luce naturale. Il coating è applicato generalmente mediante sputtering catodico in condizioni di vuoto.

Si ricorda che per legge dal 2015, $g < 0,35$ (tenendo conto della schermatura del serramento $g < 0,35$).



1. **Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro**
2. **Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza**
3. **Dispositivi cromogenici per smart windows**
4. **Building integration di dispositivi innovativi**



È possibile introdurre ulteriori **materiali antiriflettenti** per ridurre le elevate riflessioni alle interfacce dei metalli. A questo scopo si impiegano dielettrici ad alto indice come Bi_2O_3 , In_2O_3 , TiO_2 , ZnO e ZnS .

Ad esempio, abbinando film di biossido di titanio con film di argento si può costruire una struttura di questo tipo:

Glass/ TiO_2 /Ag/ TiO_2 : 18/18/18 nm

Trasmittanze nell'ordine del 90% nel visibile e riflettanze analoghe nell'infrarosso. Si tratta di un buon sistema a **controllo solare**.

Esistono coating per vetri del tipo «**low-E**» che possono contenere diversi layer di materiale.

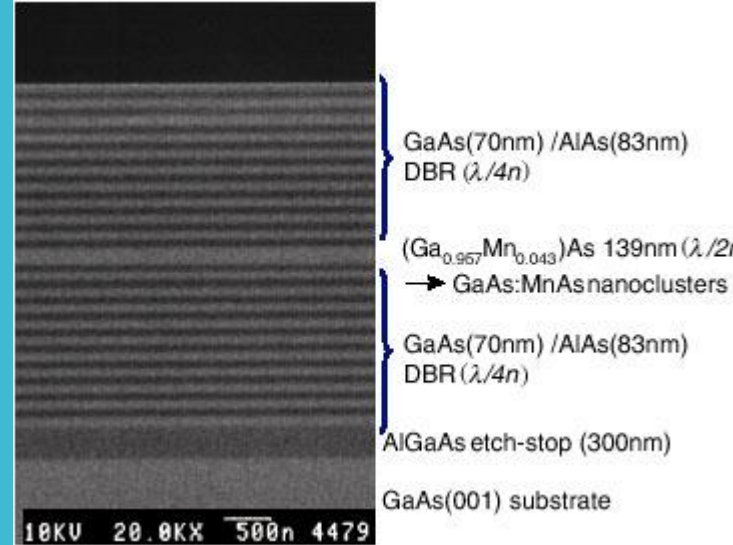
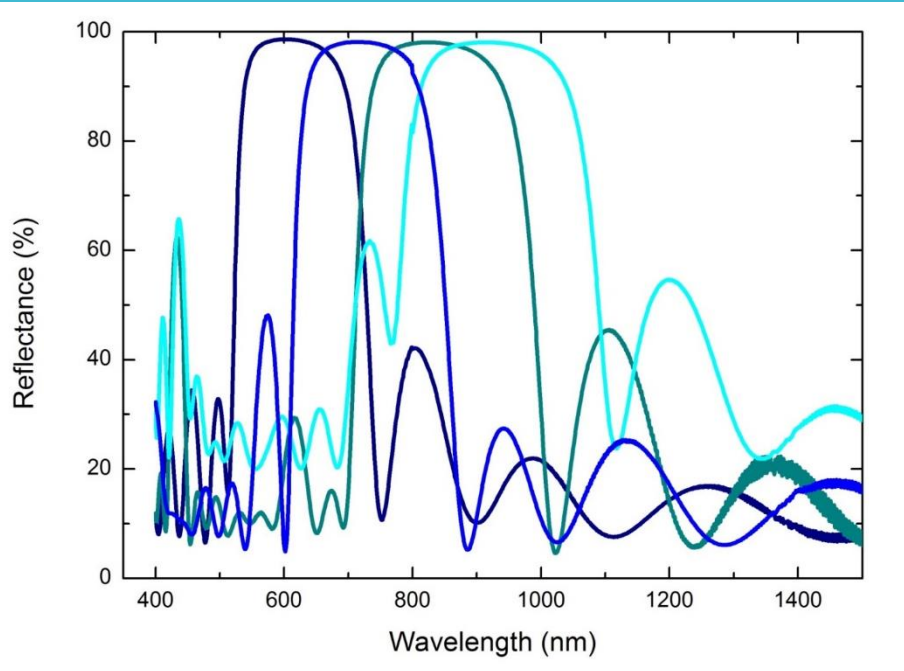
Glass/ TiO_2 (15-20nm)/ ZnO (5-10nm)/Ag(9-12nm)/ITO(2-5nm)/ SnO_2 (35-40nm)/ TiO_2 (1-5nm)

Così come sistemi avanzati di film «a controllo solare» possono contenere anche nove strati successivi, con sistemi di deposizione a controllo atomico dello spessore.



1. **Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro**
2. **Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza**
3. **Dispositivi cromogenici per smart windows**
4. **Building integration di dispositivi innovativi**

Rivestimenti superficiali



$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

d – Spessore

λ – Lunghezza d'onda

n – Indice di rifrazione

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Reflection = 0.076%
Uncoated reflection 8.16%

Reflection from back surface

Reflection from front surface

Incident wave

$A_2 = 0.132$
 $A_1 = -0.159$

$\frac{1}{4}\lambda =$ coating thickness

Transmission = 99.92%
Uncoated transmission 91.83%

$n_{air} = 1.00$
 $n_{coating} = 1.38$
 $n_{glass} = 1.80$

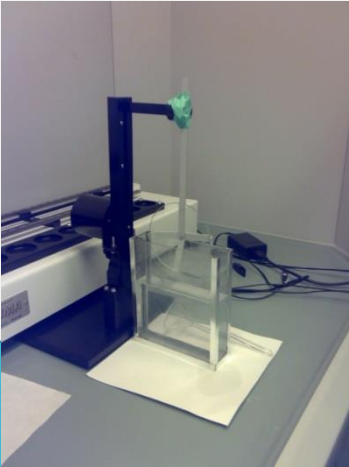
$n_{glass} > n_{coating}$
Optimum coating: $n_{coating} = \sqrt{n_{glass}}$

$\lambda_0 = 4n_{coating}h$

$n_{coating} = (n_{air}n_{glass})^{1/2}$

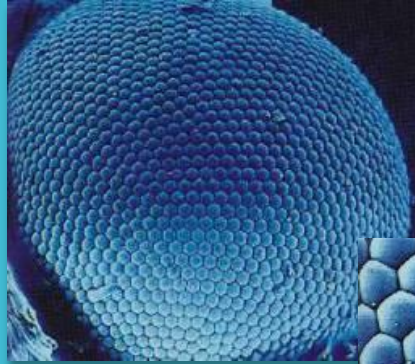
$n_{glass} = 1,5 \Rightarrow n_{coating} = 1,23$

$h = 0,8 \left(\frac{\eta U}{\rho g}\right)^{1/2}$

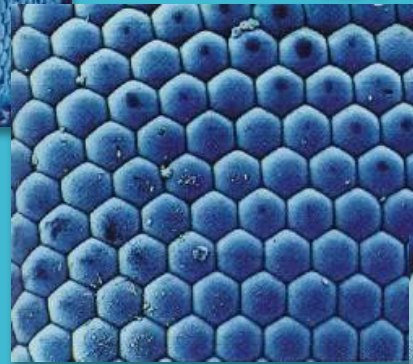


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

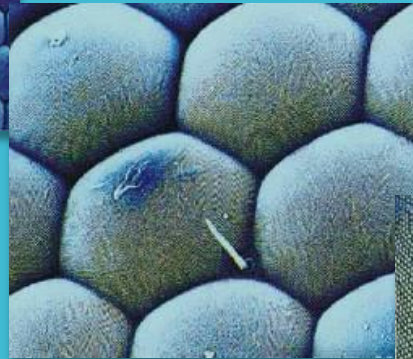
130 x



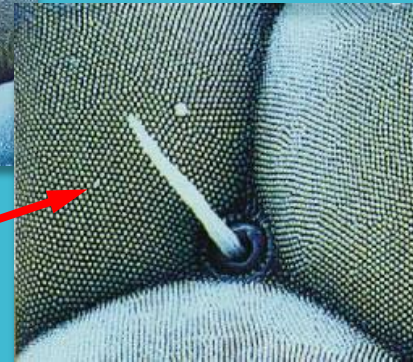
420 x



1050 x



4120 x

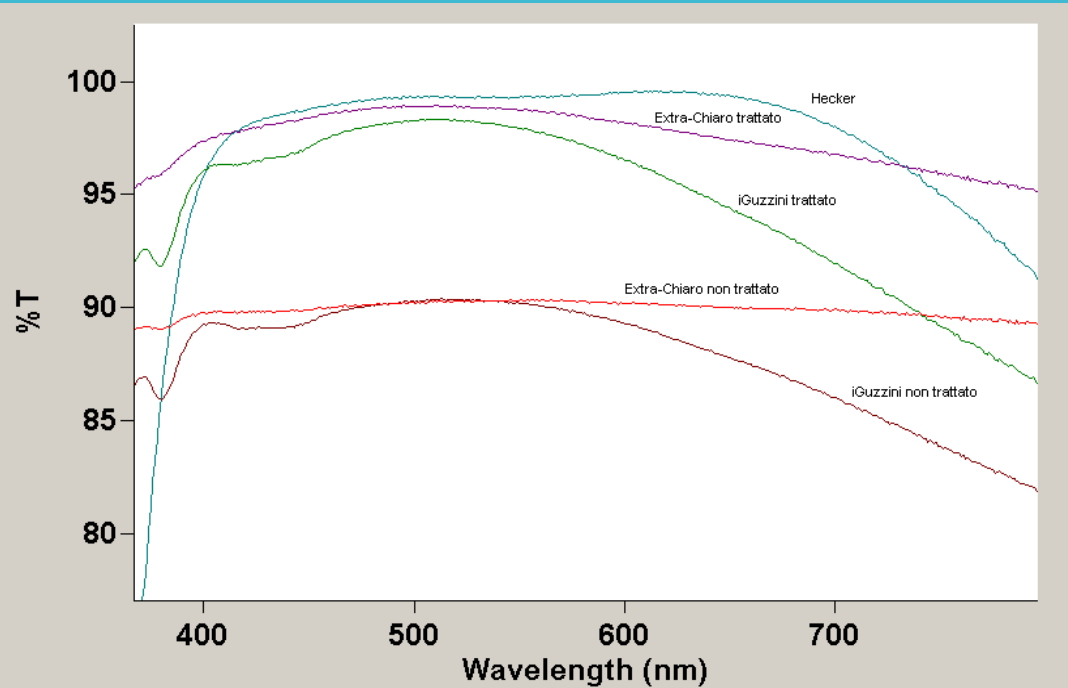


Micro-burles
100 nm Ø



«Moth-eye effect»

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

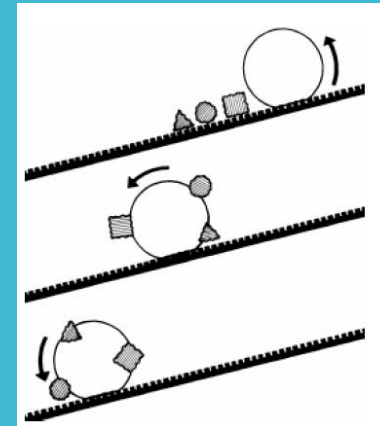
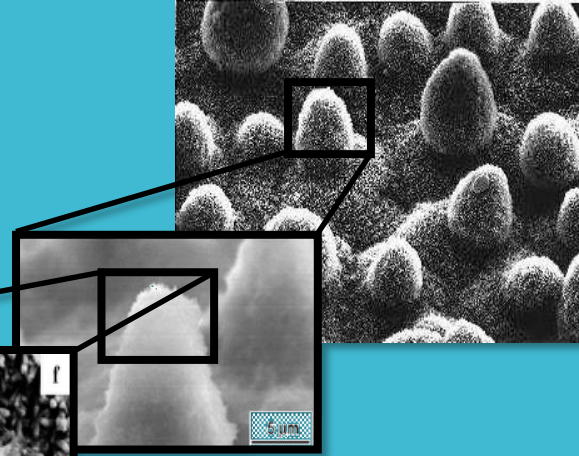
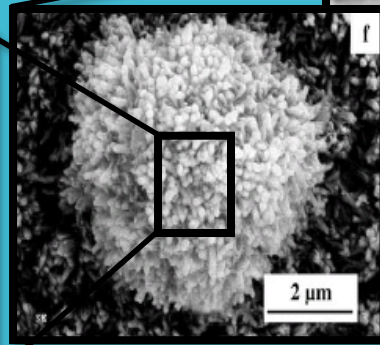
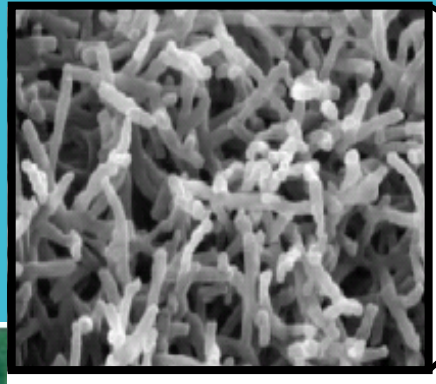
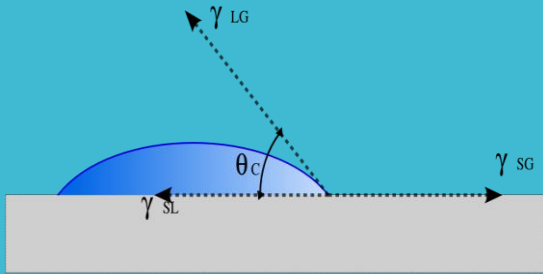


Sol-gel con catalisi basica:

- Precursore metallorganico (TEOS)
- Etanolo
- Idrossido d'ammonio (Catalizzatore)
- Acqua

-Un pH tra 8.5 e 9 consente di ottenere aggregati di 20-30 nm di silica che, in fase di gelificazione, si legano saldamente al vetro creando un materiale ad esso affine, dando una morfologia superficiale nanostrutturata a occhio di falena.

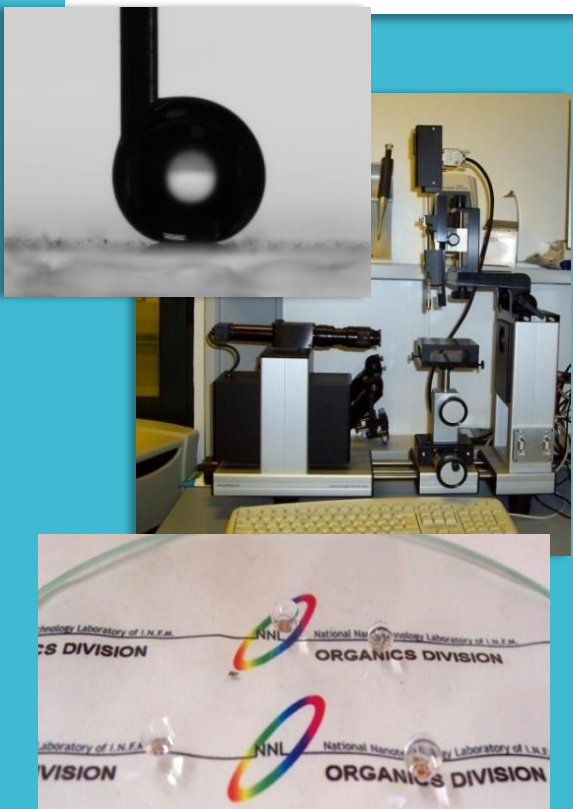
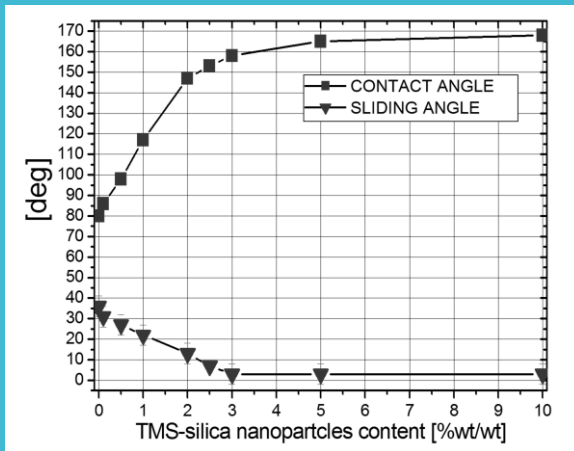
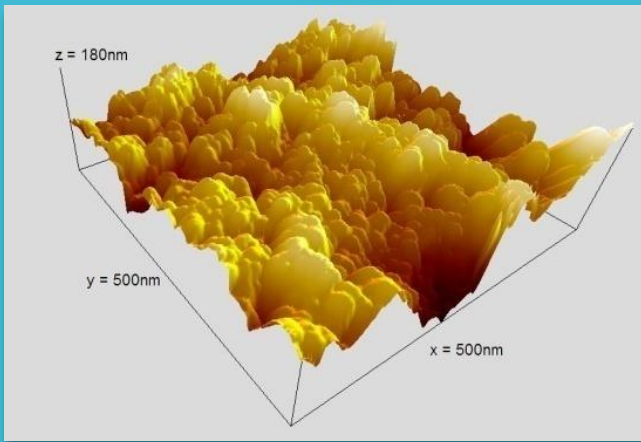
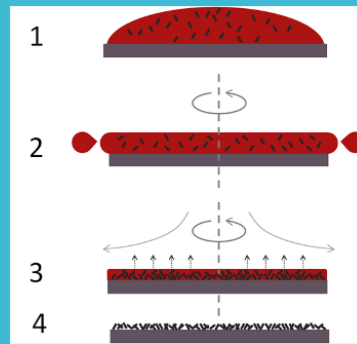
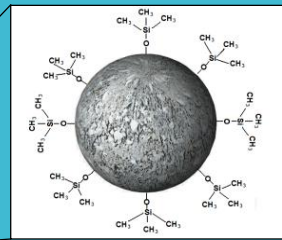
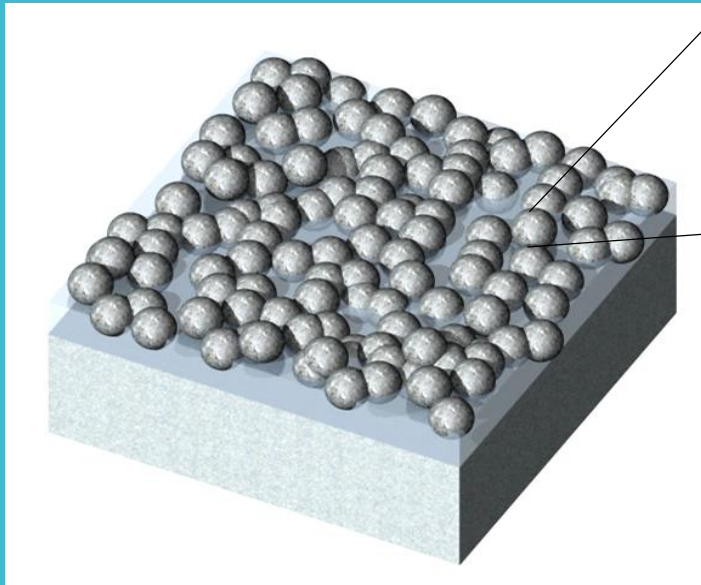
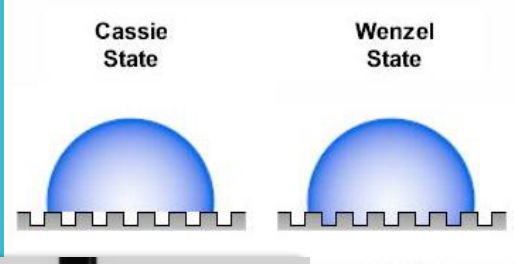
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



a.r.t.i.
 Agenzia regionale
 per la tecnologia
 e l'innovazione



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro

2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza

3. Dispositivi cromogenici per smart windows

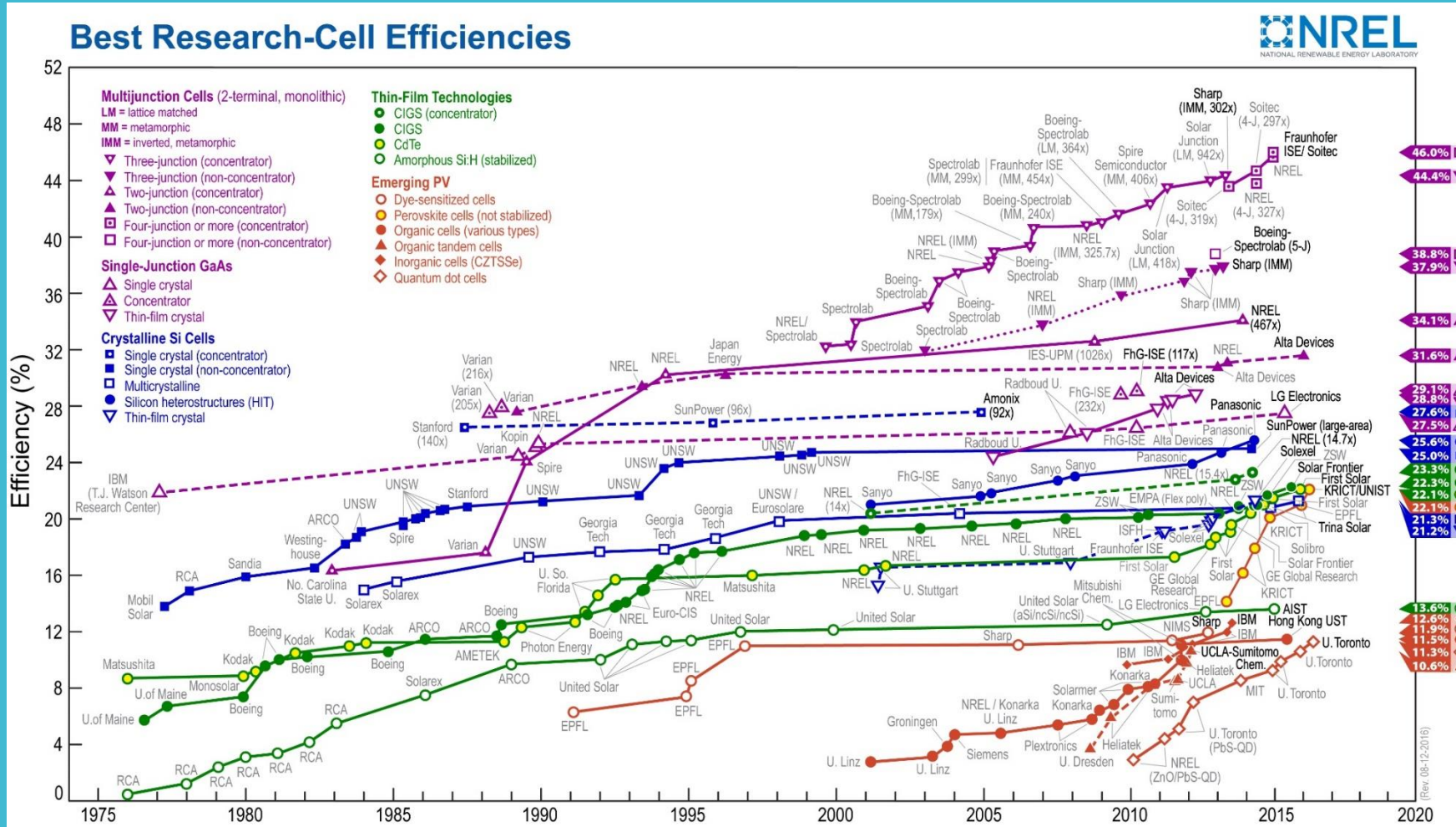
4. Building integration di dispositivi innovativi



Riferimenti:

Durable super-hydrophobic and antireflective surfaces by trimethylsilylated-silica-nanoparticles-based sol-gel processing” - M. Manca, A. Cannavale, L. De Marco, A.S. Aricò, R. Cingolani and G. Gigli, Langmuir, 2009.

2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

La curva I-V definisce due valori di interesse tecnico:

- la **corrente di corto circuito**, I_{sc} , cioè la corrente massima prodotta dalla cella in assenza di carichi e a tensione nulla;
- la **tensione di circuito aperto**, V_{oc} , cioè la tensione in corrispondenza della quale la cella non produce alcuna corrente.

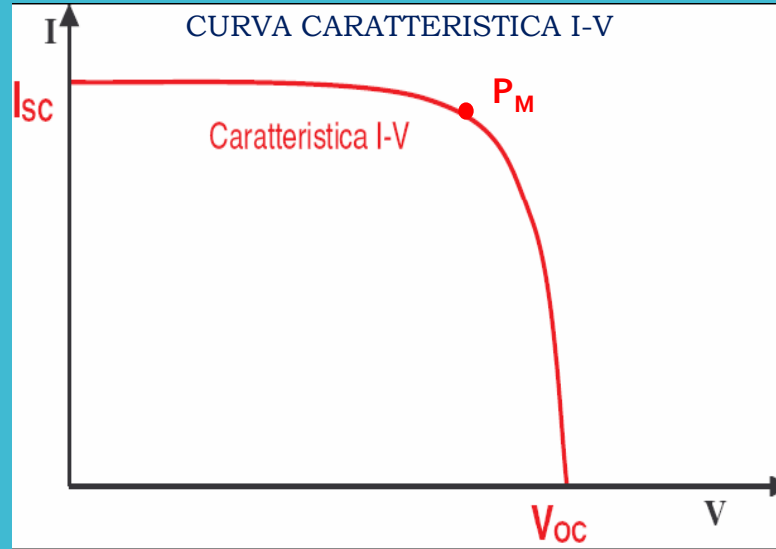
I punti sulla curva definiscono il comportamento della cella al variare del carico applicato, determinando punto per punto il valore della potenza istantanea erogata: $P = IV$.

Un parametro importante per individuare il livello di prestazione della cella è rappresentato dal punto di **massima potenza** elettrica ottenibile $P_M = I_M * V_M$.

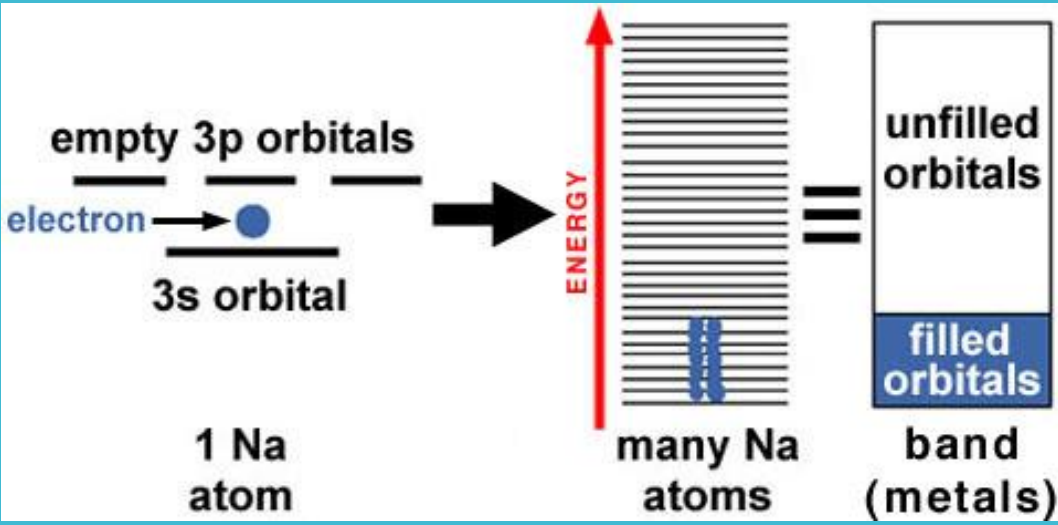
IL RENDIMENTO ENERGETICO (EFFICIENZA) η È IL RAPPORTO TRA LA POTENZA ELETTRICA EROGATA DALLA CELLA E LA POTENZA DELL'IRRADIAZIONE E VIENE CALCOLATA NEL SEGUENTE MODO:

In cui A rappresenta la superficie attiva della cella solare e I l'irraggiamento, assunto pari a **1 sun**, ossia **1000 W/m²**. Le misure di efficienza fotovoltaica vengono infatti eseguite in **Standard Test Conditions**.
Temperatura (25°C), Air Mass 1,5 (densità atmosferica).

$$AM = \frac{L}{L_0} \approx \frac{1}{\cos z}$$



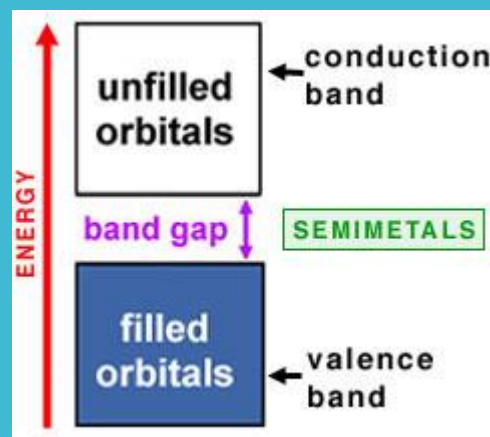
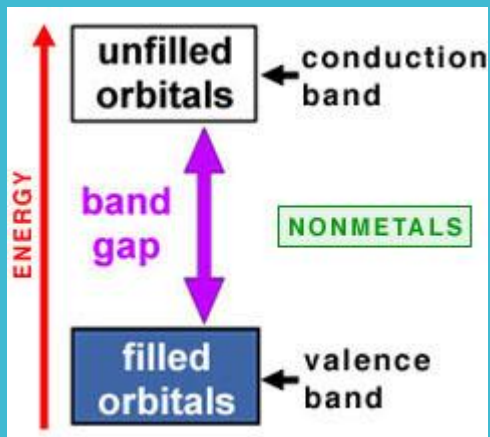
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



In un conduttore, molti elettroni sono privi di legami col nucleo. Applicando un campo elettrico essi si spostano da atomo ad atomo dando luogo a una corrente elettrica.

Nei **metalli** la banda di conduzione e quella di valenza sono parzialmente sovrapposte.

Nei materiali **isolanti** sono invece molto distanti e gli elettroni sono saldamente collocati nei loro orbitali e privi della libertà di migrare nella struttura atomica.

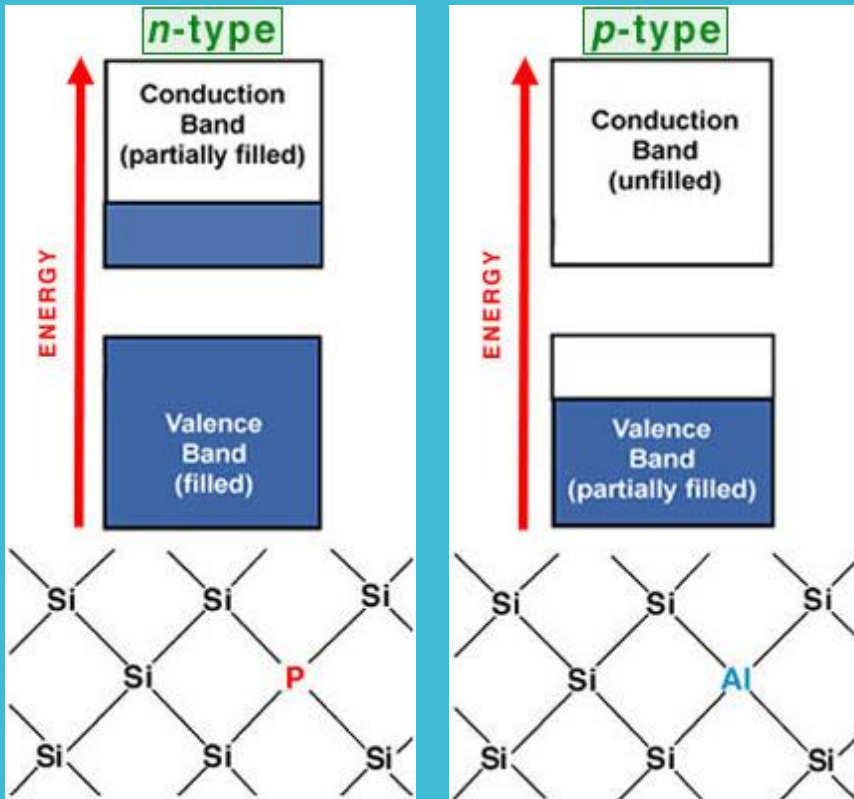


Nei **semiconduttori** come il silicio il legame degli elettroni nella banda di valenza è debole abbastanza da rompersi quando l'atomo sia sollecitato da energia esterna (termica, elettrica o altre radiazioni EM).

Il silicio non drogato ha una banda proibita di circa 1,12 eV a temperatura ambiente.

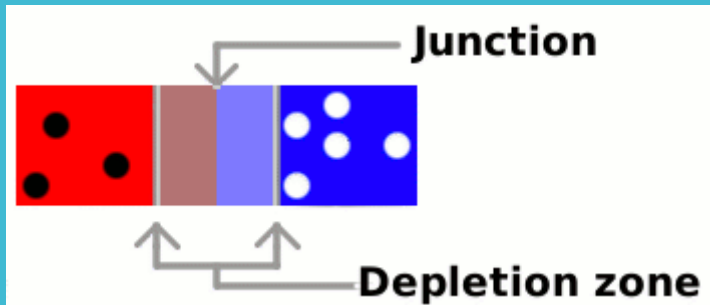
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

I generazione del PV: Silicio mono e policristallino

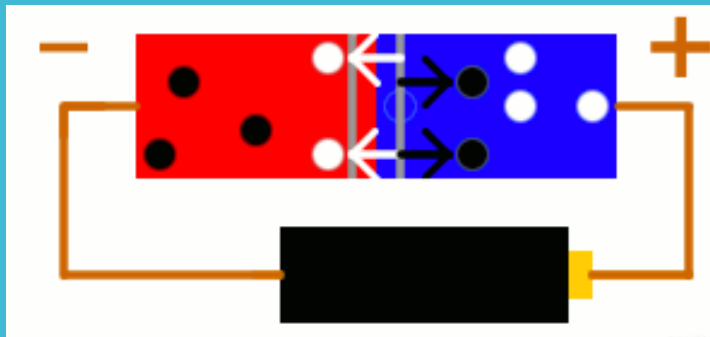


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Il dopante trivalente presenta un elettrone in meno rispetto ai circostanti atomi di silicio e può catturare un elettrone esterno da questi. Questo spostamento crea una «hole» che può muoversi lungo il materiale, attraverso atomi che presentano una banda di valenza incompleta. Analogamente, ma in modo opposto, si mettono in movimento degli elettroni nella zona di silicio dopata con atomi pentavalenti.

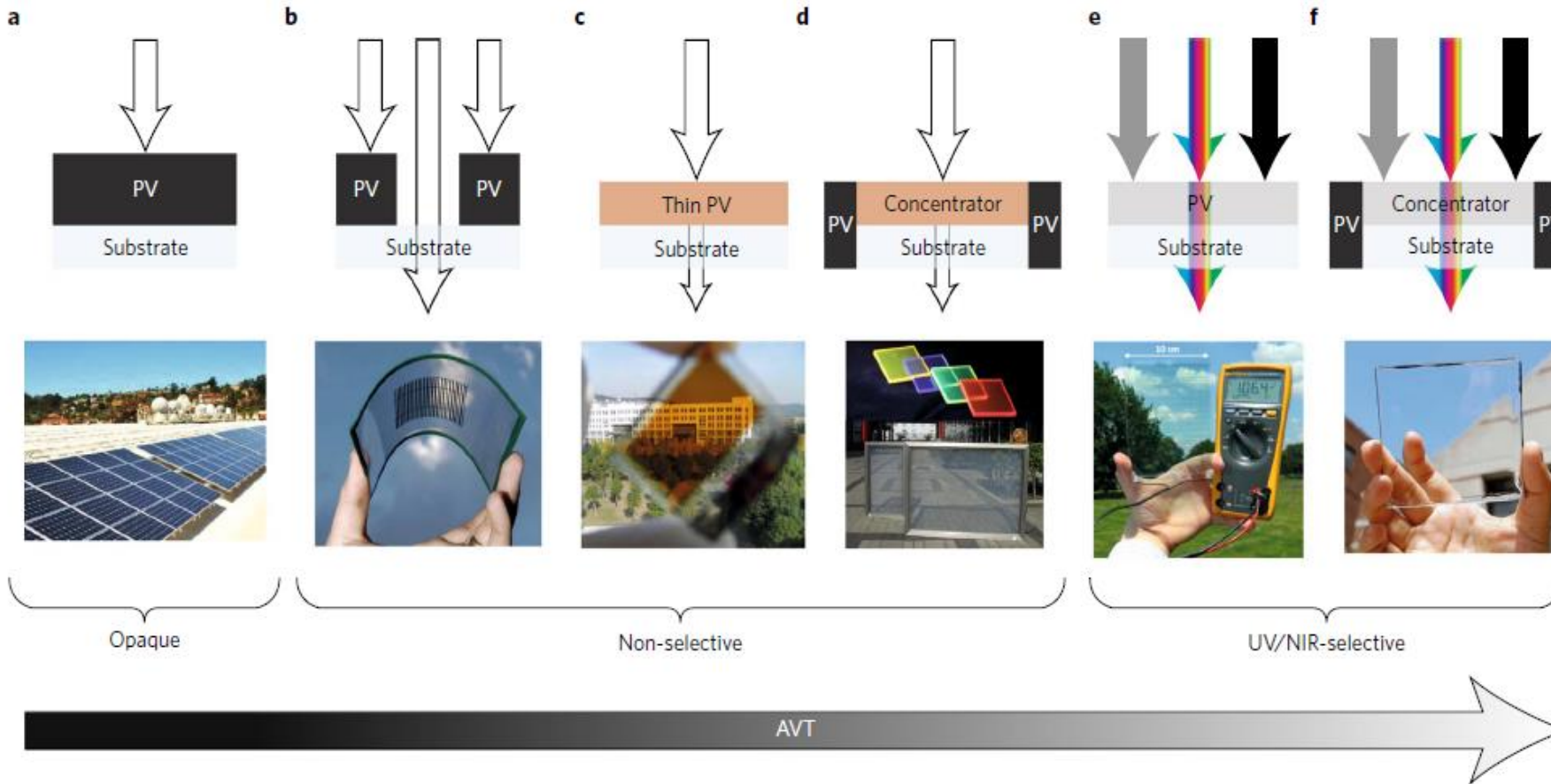


Messi in contatto a dare la giunzione le due porzioni di silicio dopate in modo opposto vedranno una rapida risistemazione di elettroni e buche in modo da creare la «depletion zone», priva di elettroni e buche.



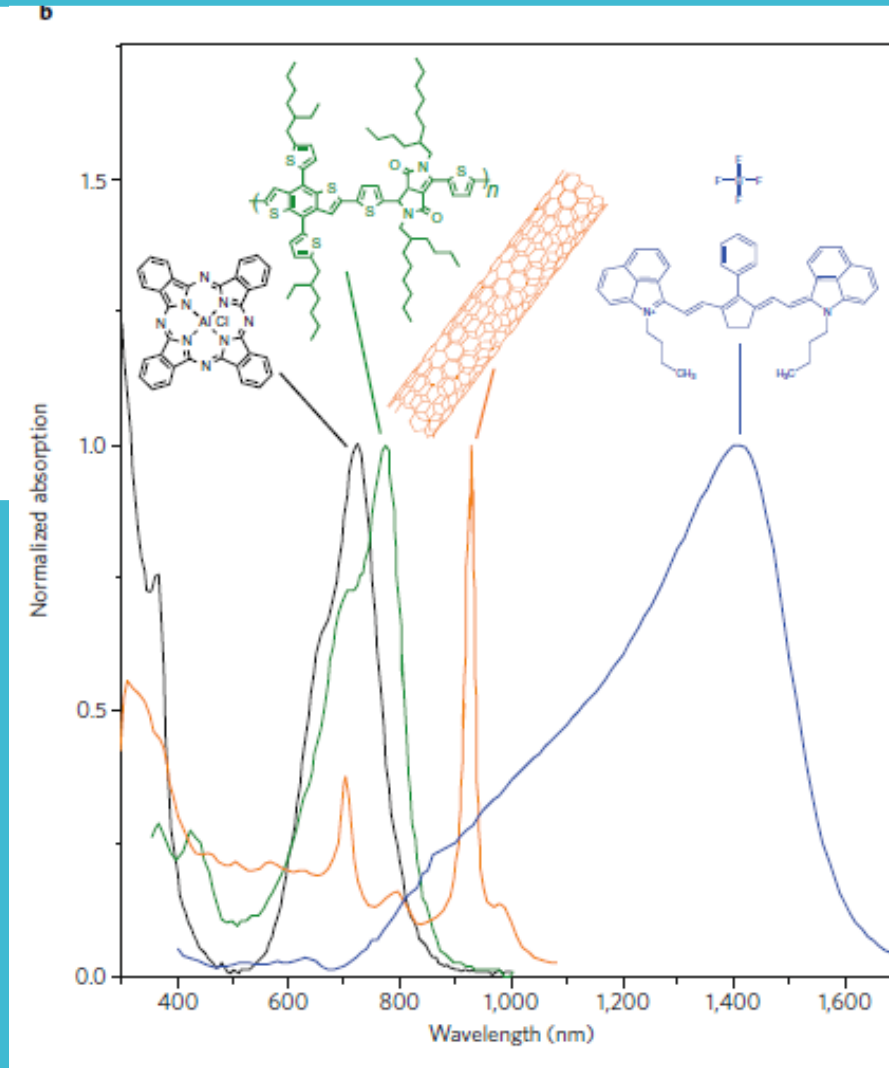
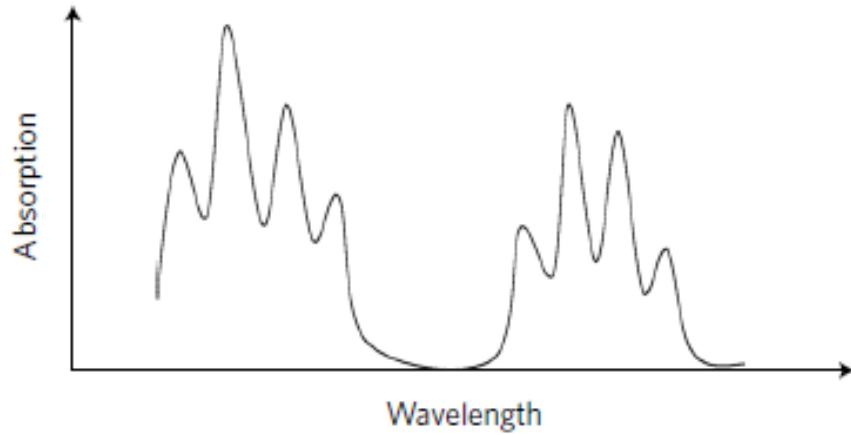
Se colleghiamo una batteria come in figura, la zona di svuotamento si restringe: gli elettroni e le buche iniziano a muoversi attraverso la giunzione in modo opposto. Abbiamo applicato un **forward-bias**.

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



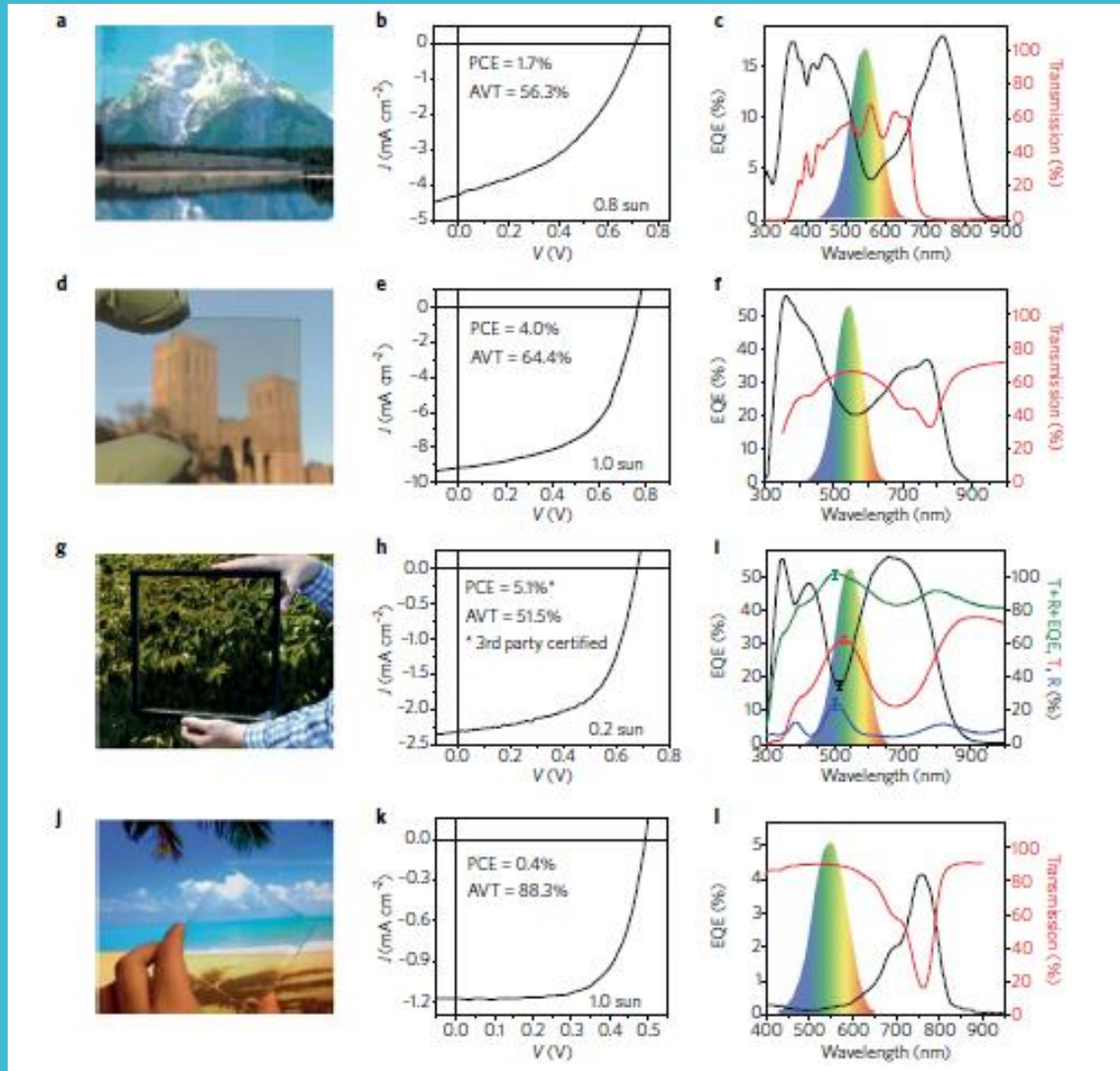
b) spatially-segmented PV;
c) thin enough or large-bandgap (Semitransparent PV);
e) wavelength-selective PV (UV, Vis, NIR)

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



Nero – ftalocianine, coloranti artificiali
Verde – polimero PBDTT-DPP
Arancio – Nanotubo CNT
Blu – Catione di sale organico

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



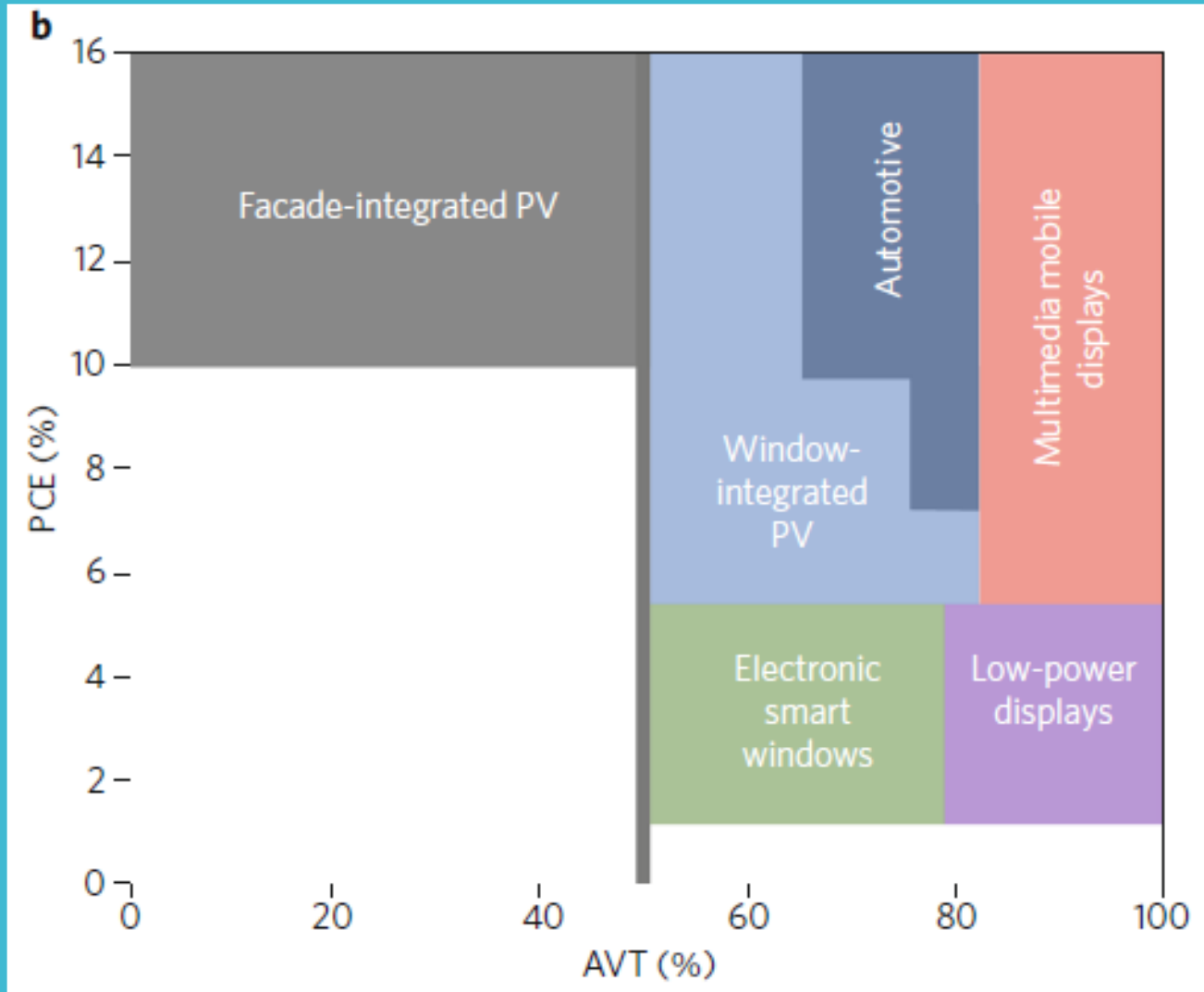
Small-molecules

Polimerica

Polimerica

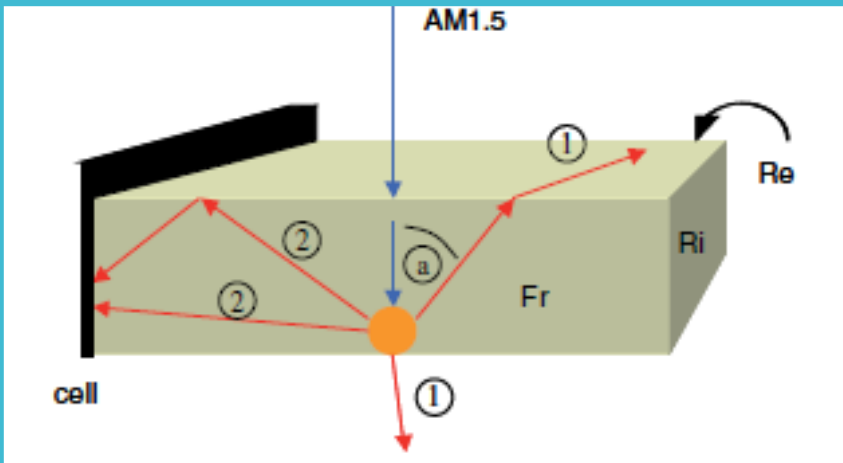
Luminescent Lolar Concentrator

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

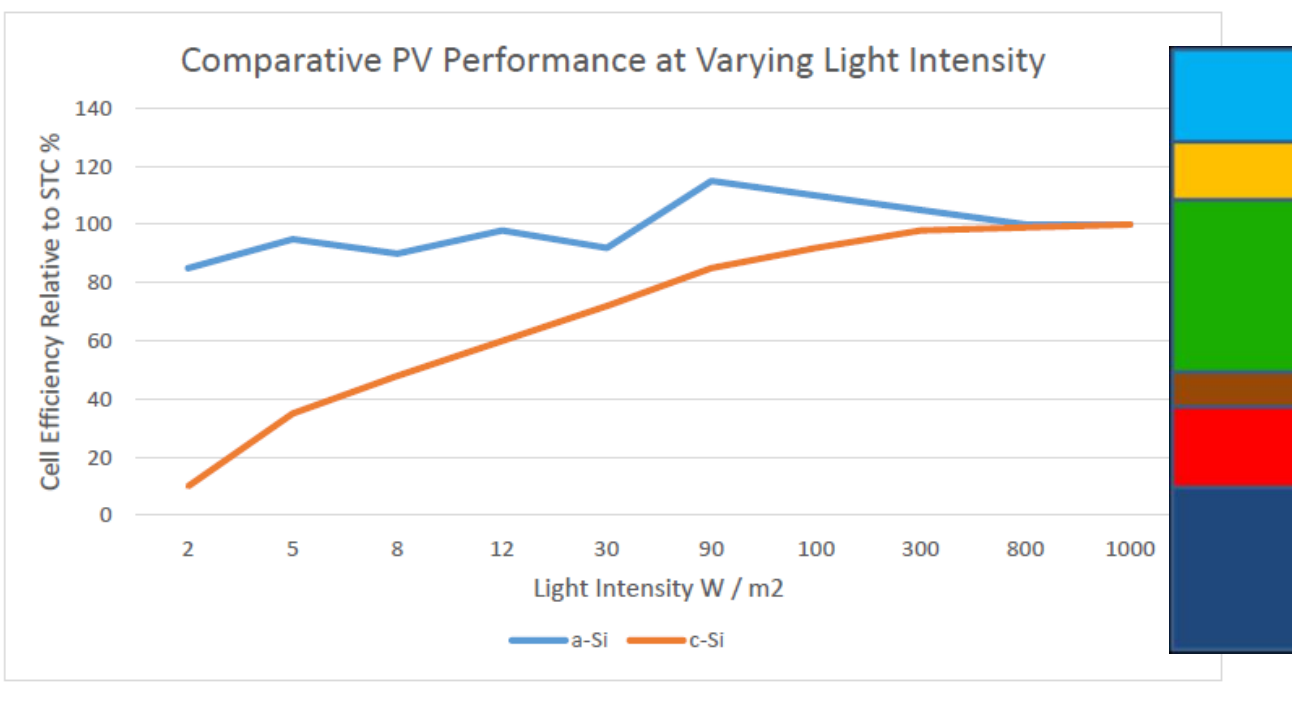
La cella a **concentratore solare luminescente (LSC)** consiste in una piastra polimerica trasparente, contenente particelle luminescenti. Le celle solari sono collegate a uno o più bordi del piano. La luce incidente viene assorbita dalle particelle luminescenti (luminofori fosforescenti) e ri-emessa. Parte della luce emessa dalle particelle luminescenti viene guidata verso le celle solari mediante un meccanismo di TIR riflessione interna totale (se l'angolo di incidenza è minore dell'angolo critico e l'indice di rifrazione sul lato opposto è maggiore) $AVT > 85\%$.



	I_{sc} (mA) calc.	V_{oc} (V) cell	FF cell	η (%) calc.
mc-Si	162	0.6	0.76	2.9
GaAs	158	1.0	0.83	5.2
InGaP	149	1.38	0.84	6.9

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

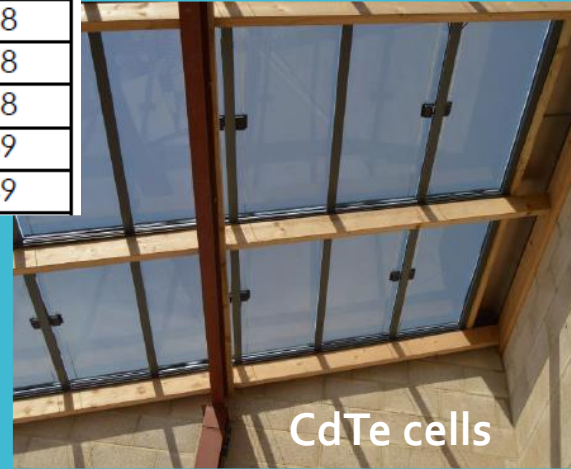
Il generazione del PV: Silicio amorfo e film sottili



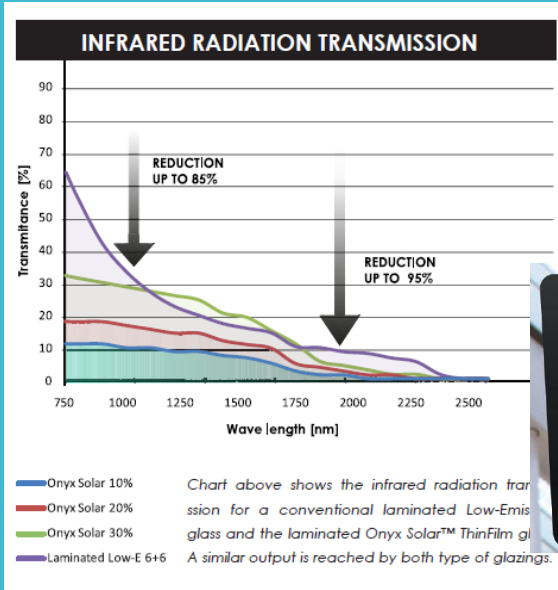
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Electrical Specifications PS-CT Series Transparent

Polysolar Model	Class	Stabilized Performance STC				
		Transparency	V _{mpp} (V)	I _{mpp} (A)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)
		Electrical tolerance +5/-0%				
PS-CT-72	72 W	10%	87.0	0.82	116	0.88
PS-CT-64	64 W	20%	87.0	0.73	116	0.78
PS-CT-56	56 W	30%	87.0	0.64	116	0.68
PS-CT-48	48 W	40%	87.0	0.55	116	0.59
PS-CT-40	40 W	50%	87.0	0.46	116	0.49



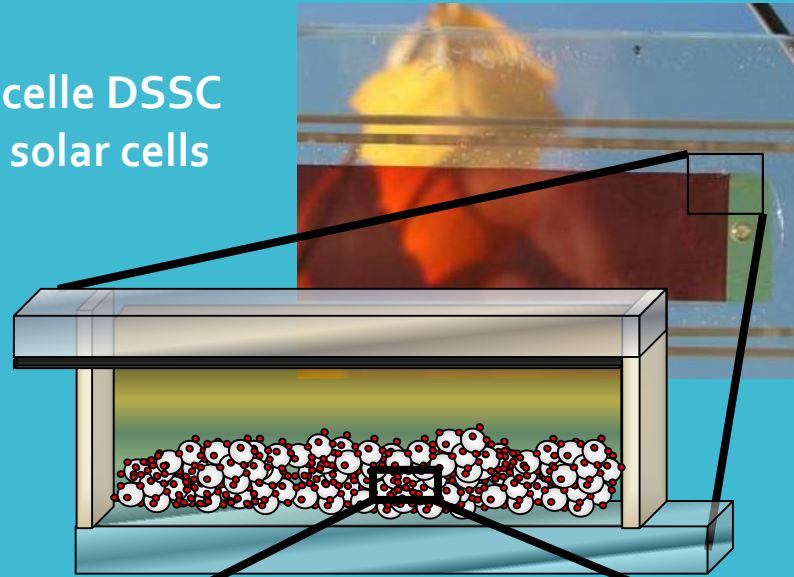
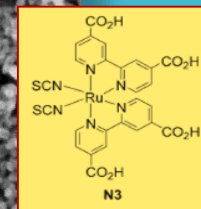
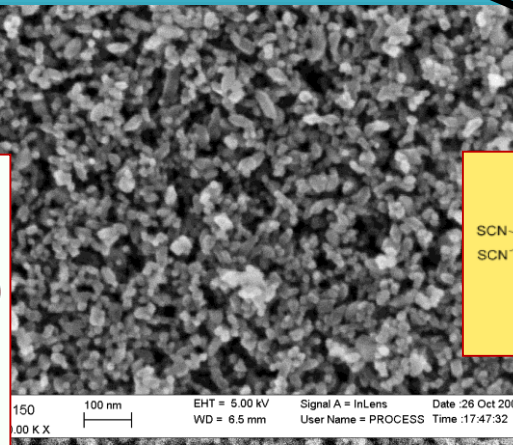
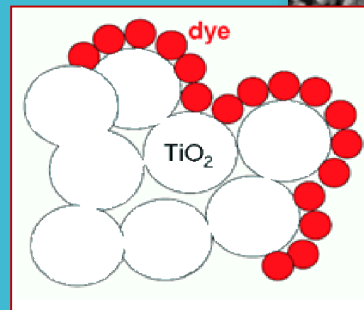
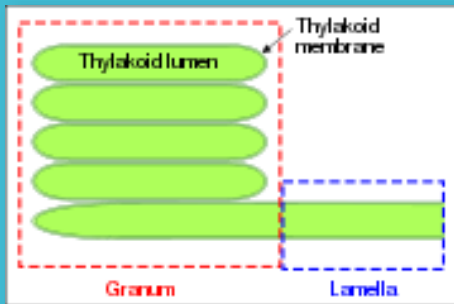
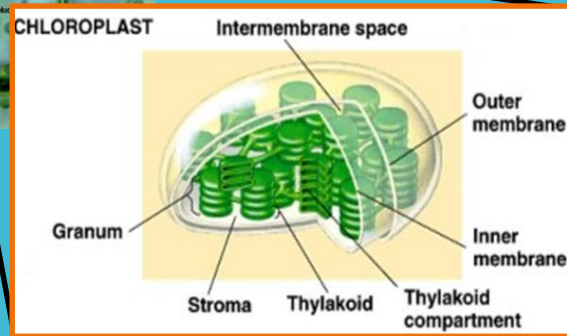
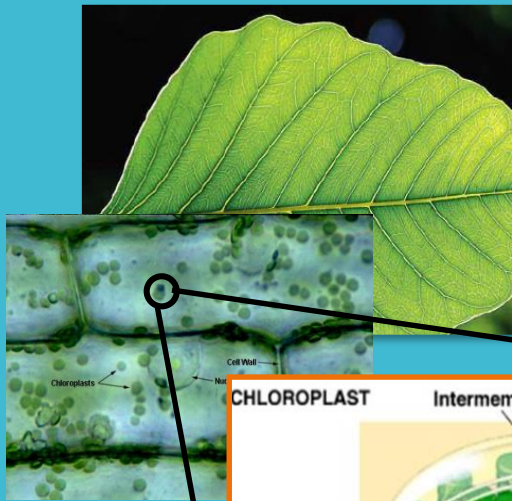
LIGHT TRANSMISSION	TRANSPARENCY DEGREE	PEAK POWER GENERATED
DARK-0%		62 Wp/m ² 5.754 W/ft ²
S CLEAR-10%		44 Wp/m ² 4.067 W/ft ²
M CLEAR-20%		38 Wp/m ² 3.530 W/ft ²
L CLEAR-30%		32 Wp/m ² 2.972 W/ft ²





Vetro a-Si
Bassoemissivo

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Biomimetica e celle DSSC Dye-sensitized solar cells



- 
- 
- ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
 2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
 3. Dispositivi cromogenici per smart windows
 4. Building integration di dispositivi innovativi

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Grätzel

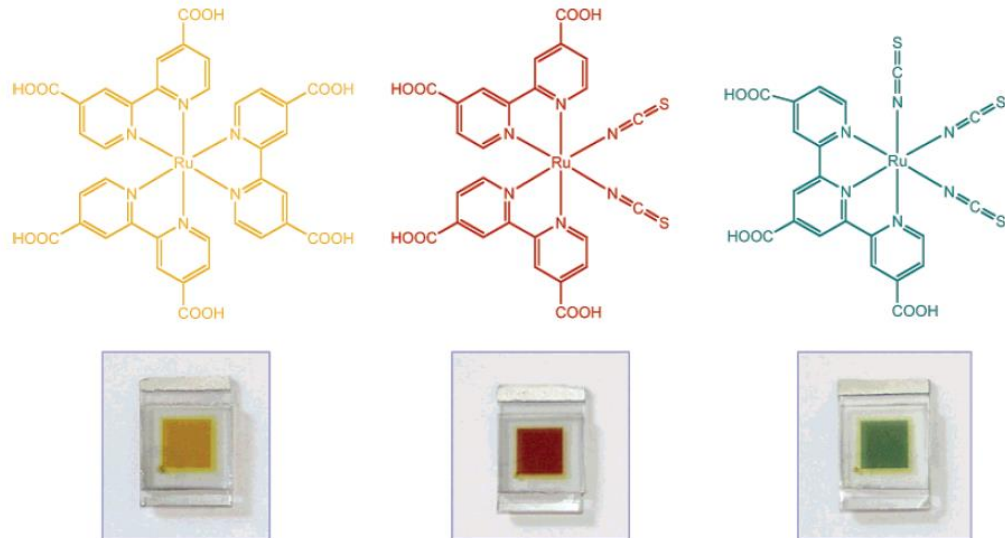
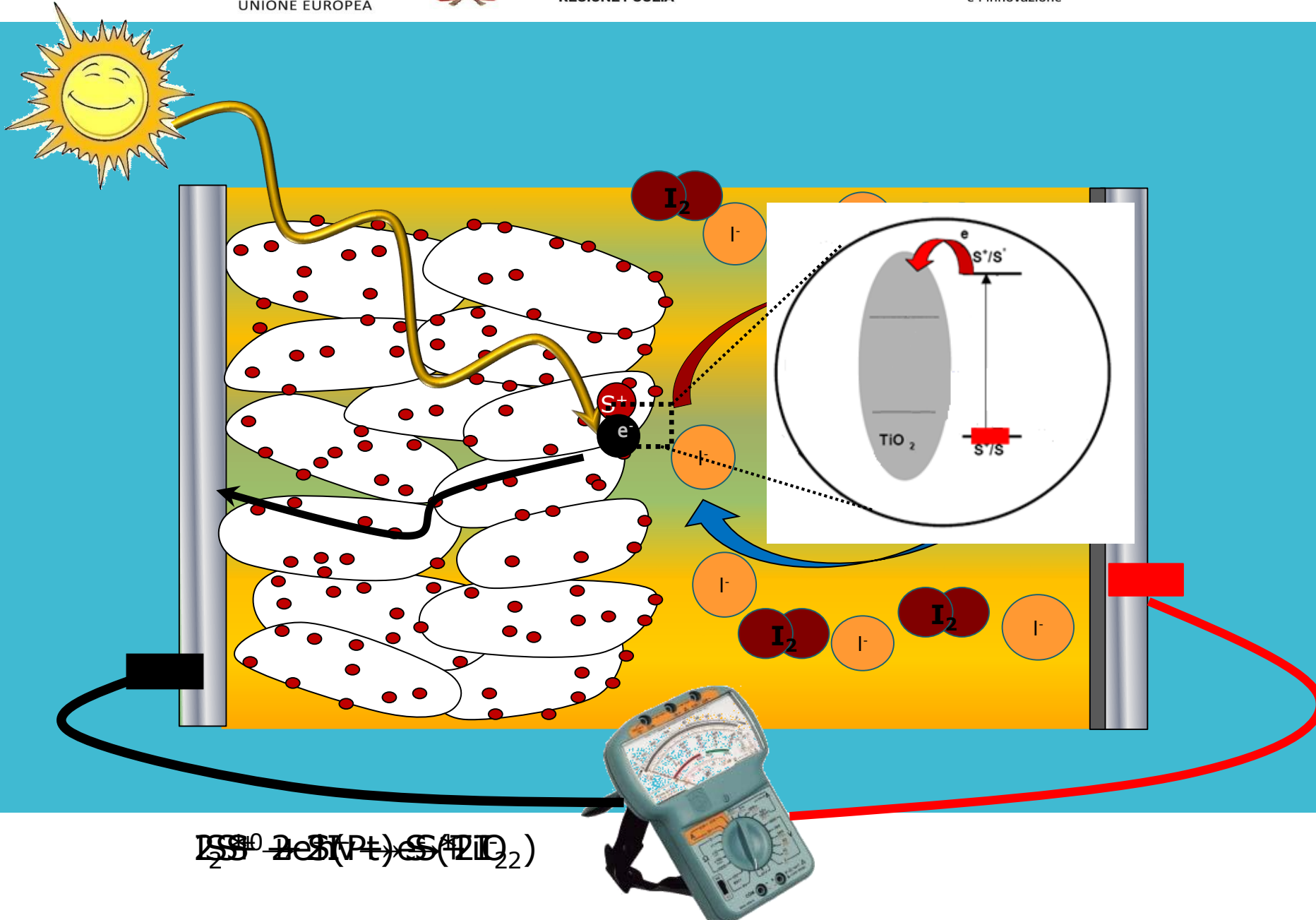


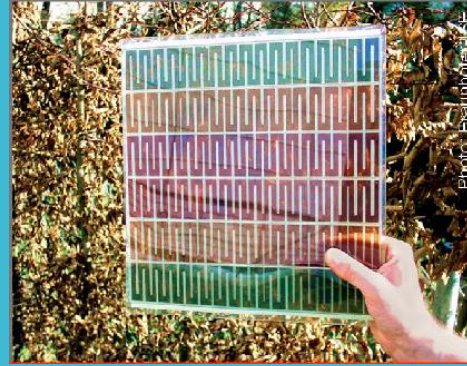
Figure 5. Structure of the ruthenium sensitizers RuL_3 (yellow) $cis-RuL_2(NCS)_2$ (red) and $RuL'(NCS)_3$ (green) where $L = 2,2'$ -bipyridyl-4,4'-dicarboxylic acid and $L' = 2,2',2''$ -terpyridyl-4,4',4''-tricarboxylic acid. The lower part of the picture shows nanocrystalline TiO_2 films loaded with a monolayer of the respective sensitizer. The film thickness is $5 \mu m$.





$2S_2 \rightarrow 2S_2 + 2e^- + 2H^+ \rightarrow 2S_2 + 2H_2O$

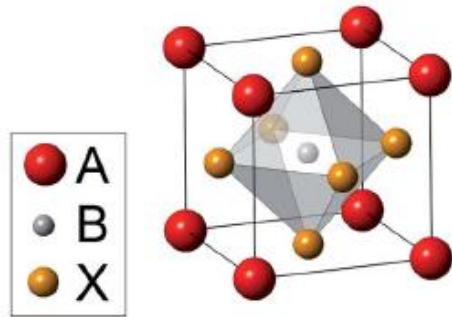
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



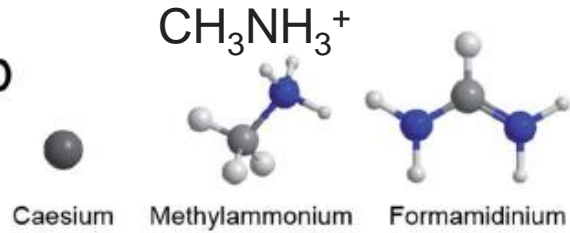
La possibilità di usare diversi tipi di coloranti e diversi tipi di supporti trasparenti (vetro o plastica) rende ancor più interessante l'utilizzo di questo tipo di dispositivi per svariate applicazioni permettendo una migliore integrazione architettonica anche dal punto di vista estetico.

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

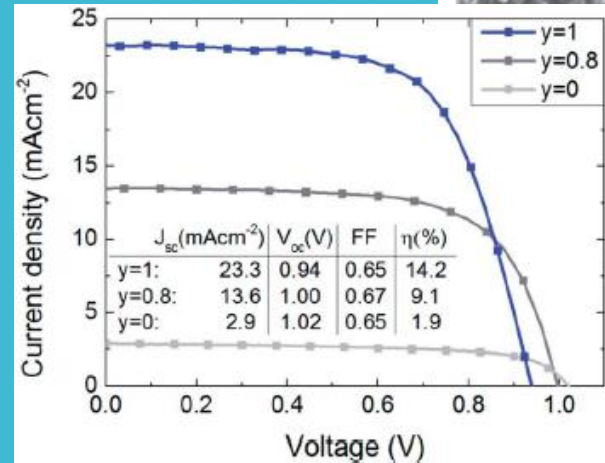
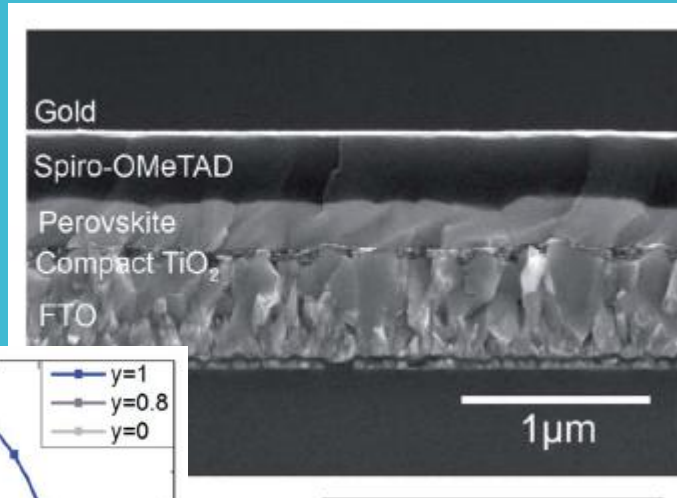
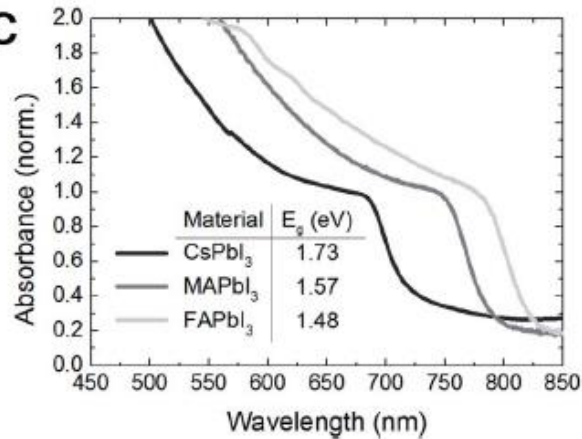
a



b



c

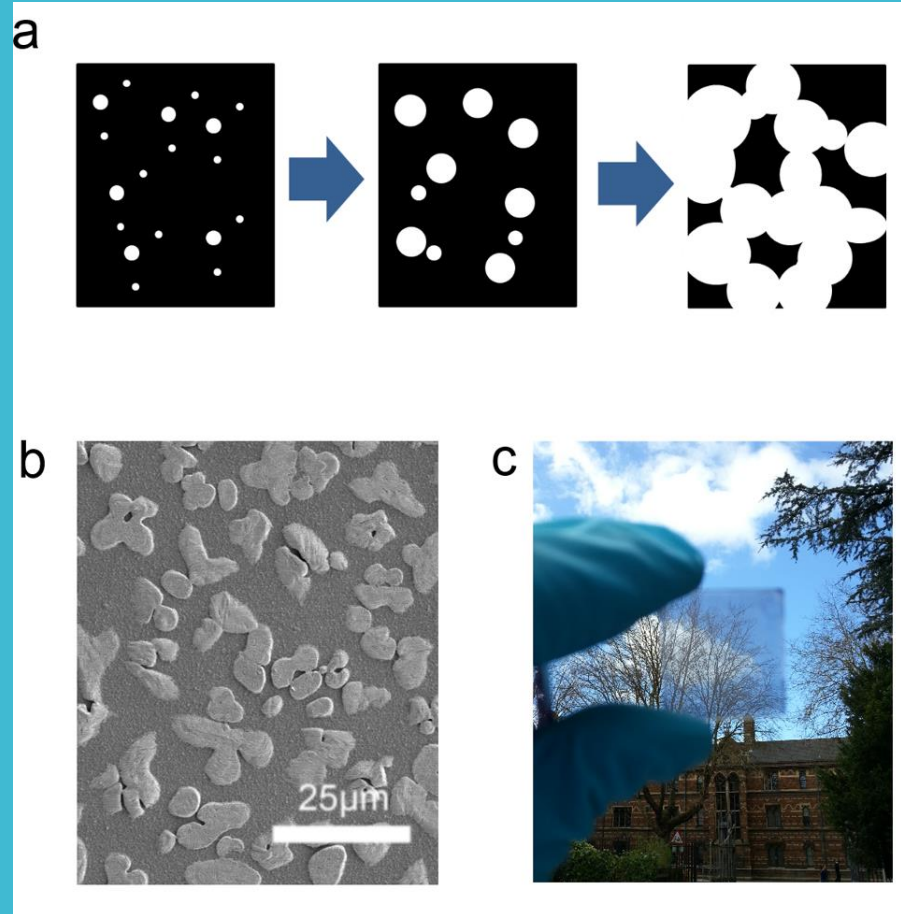


$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ perovskites (X=I, Br and/or Cl)

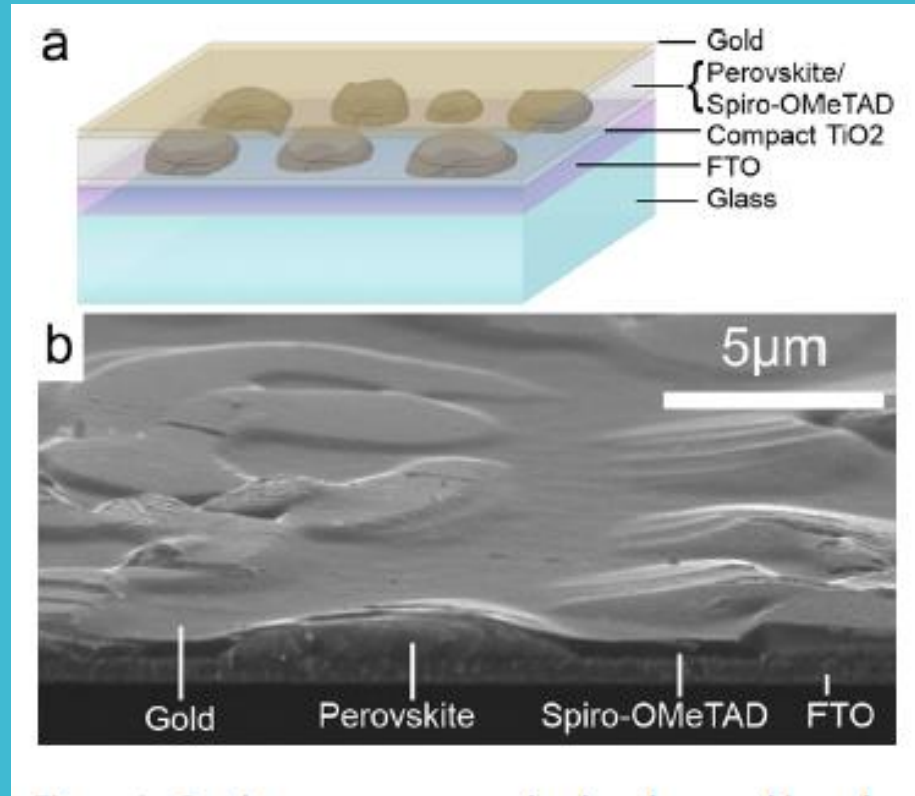


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Dewetting process



Cross-section of the photovoltaic device



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

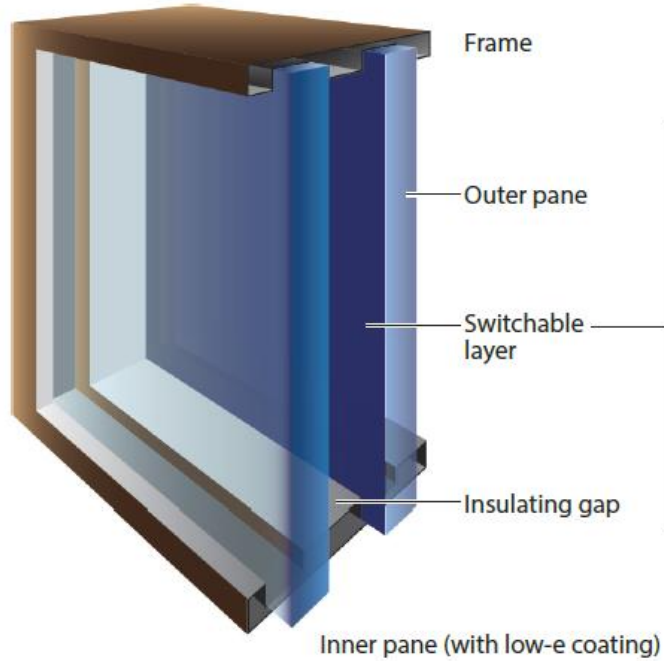
3. Dispositivi cromogenici per smart windows



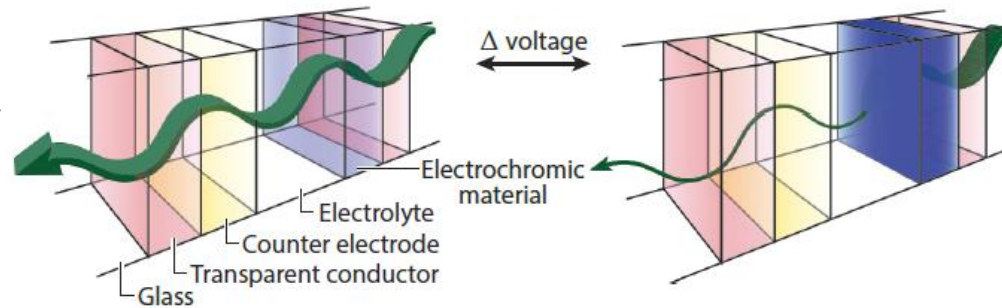
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Smart materials

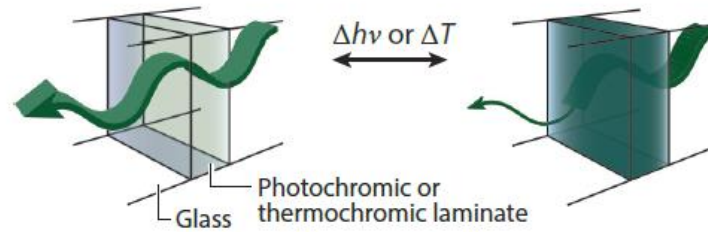
a Double-paned insulated glass unit (IGU)





b Electrochromic



c Photochromic or thermochromic



- 
- 
- OIBA
ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
 2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
 3. Dispositivi cromogenici per smart windows
 4. Building integration di dispositivi innovativi

Functional purpose, sensing, acting...

Vetri Fotocromici per ottica adattiva

Cambiano le proprie caratteristiche ottiche quando sono esposti ai raggi UV, principalmente. **Reversibilità:** Tendono a tornare al proprio stato iniziale quando termina l'esposizione. Il fenomeno è noto dalla fine dell'Ottocento.

Nel 1937 R. Dalton della Corning Glass Works negli USA scoprì che i vetri contenenti **ossidi di rame** erano soggetti a una variazione cromatica tendente al rossastro quando erano esposti alla luce o riscaldati. Dalton scoprì che il fenomeno era principalmente attivato dalle onde corte. Patent del 1943.

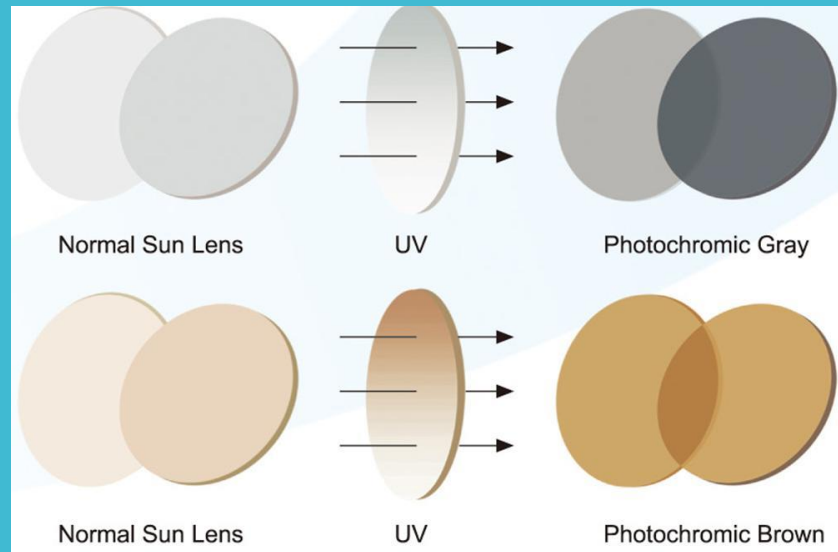


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Alogenuri di argento

Il processo prevede l'aggiunta di Sali di argento (alogenuri di argento) e di composti metallici di fluoro, bromo o cloro nella miscela del vetro (generalmente una lastra di vetro borosilicatico) con fusione fino a 1200 gradi. Il processo prevede trattamento termico, rullaggio trazione e fusione per agevolare la mobilità ionica per effetto del calore, formando i cristalli.

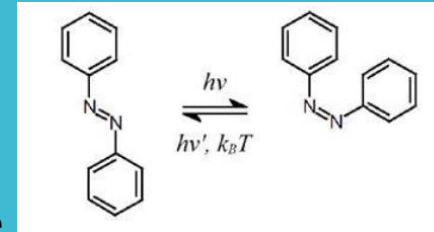
Le **basse forze di legame tra Argento e Cloro** permettono la rottura del cristallo sfruttando l'energia contenuta nelle radiazioni luminose con lunghezza d'onda compresa tra 300 e 400 nm. Questo fenomeno attiva la transizione ottica.



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

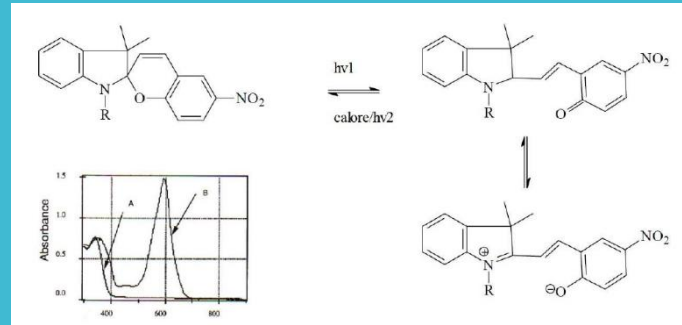
Azobenzeni:

L'azobenzene è una molecola costituita da due atomi di azoto legati tra loro e ciascuno ad un anello benzenico. La forma trans è più stabile, ma può essere convertita nella forma cis tramite irraggiamento o calore generando contrazioni e rilassamenti tipiche dei fotodeformabili, unite a nuove proprietà quali birifrangenza e dicroismo; la reazione è però estremamente sensibile all'ambiente circostante.



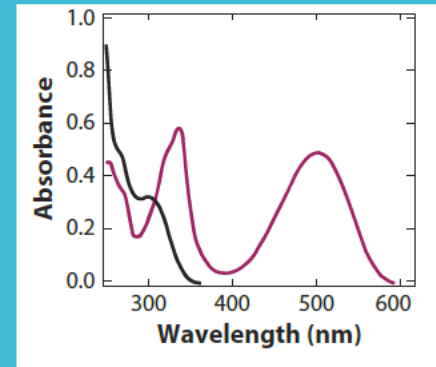
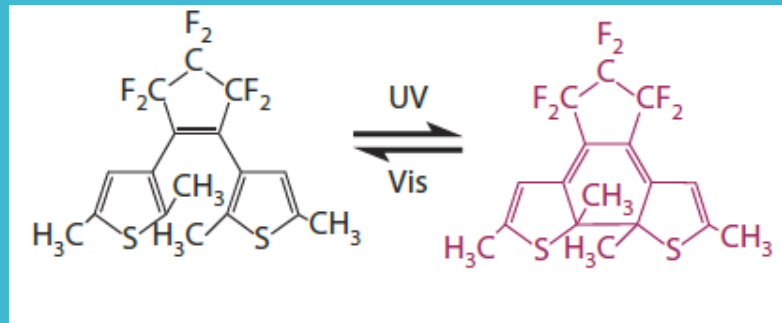
Spiropirani:

Rottura legame attivata
Da UV.



Diariliteni:

Trasformazione fotoindotta
Da radiazione UV.
Due forme isomeriche...



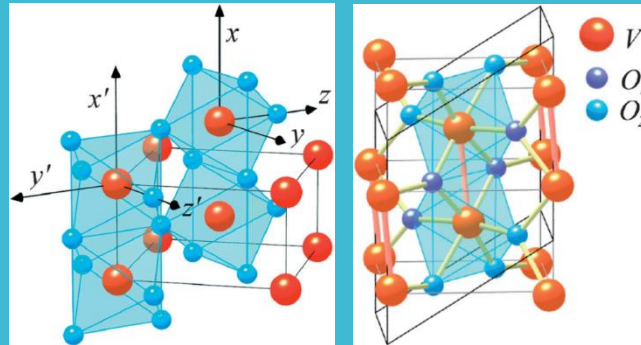
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Materiali termocromici

A seguito di surriscaldamento al di sopra di una temperatura critica sono soggetti a una variazione delle proprietà di trasmissione, principalmente nell'infrarosso. VO_2 . $T_c = 70^\circ\text{C}$.

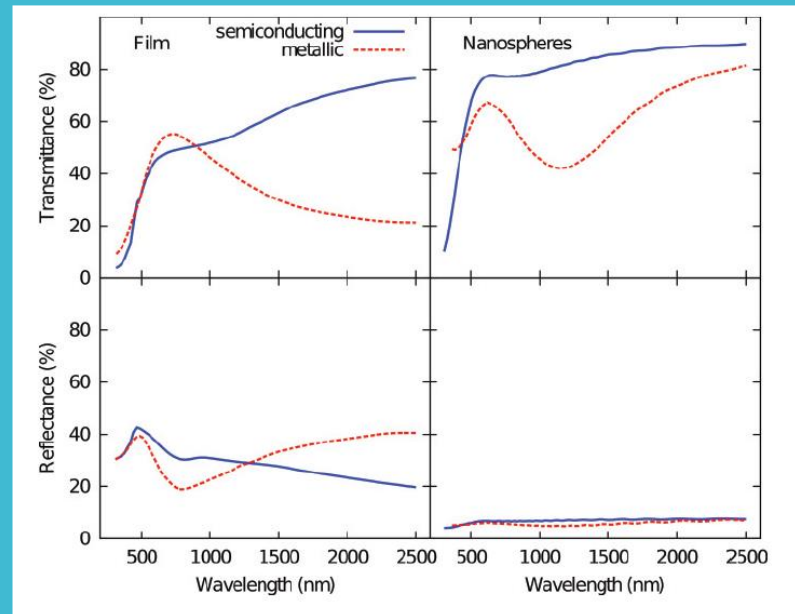
Passa da uno stato semiconduttivo a uno conduttivo, a causa del basso bandgap, vedendo incrementata la propria capacità di riflessione.

È possibile modificare la struttura del materiale per abbassare questa soglia critica con accoppiamenti di ossido di vanadio e ossido di stagno.



$T < T_c$ Rutilo

$T > T_c$ Monoclinico



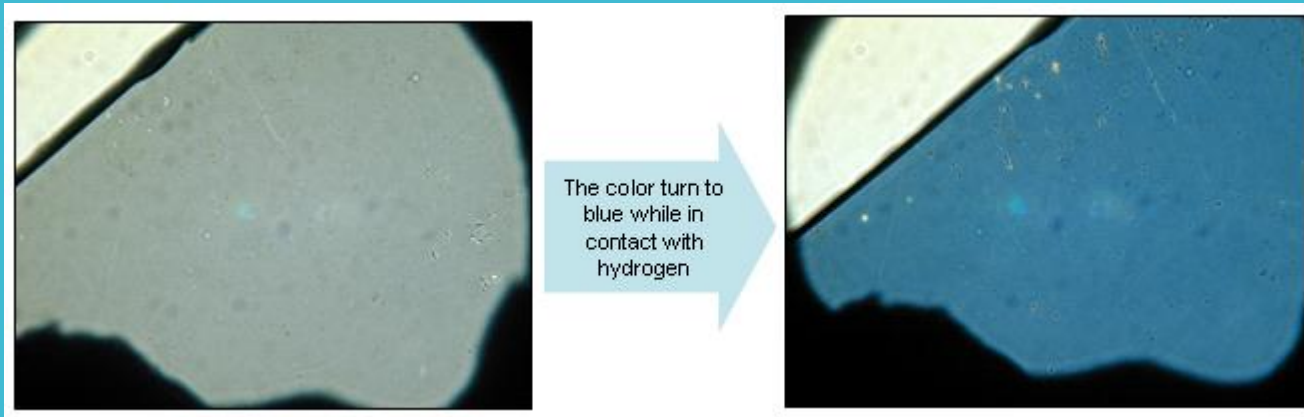
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Vetri Gasocromici

Sono costituiti da tre elementi: una vetrata isolante, una unità di pompaggio del gas e una unità di controllo.

Il componente attivo è il film di **triossido di tungsteno** che viene depositato insieme a un sottile strato **catalizzatore** sulla superficie.

Quando il film viene esposto a una bassa concentrazione di **idrogeno** (sotto il limite di combustione del 2%) disciolto in argon o azoto, si colora di blu con una **modulazione di trasmittanza dal 70% al 15%**. Il fattore di trasmissione solare passa da 60% al 12%. Se il film viene poi esposto a una bassa concentrazione di ossigeno tende a tornare allo stato trasparente originario. La modulazione richiede dai 2 ai 20 minuti. Ossigeno e idrogeno potrebbero essere ottenuti per elettrolisi.



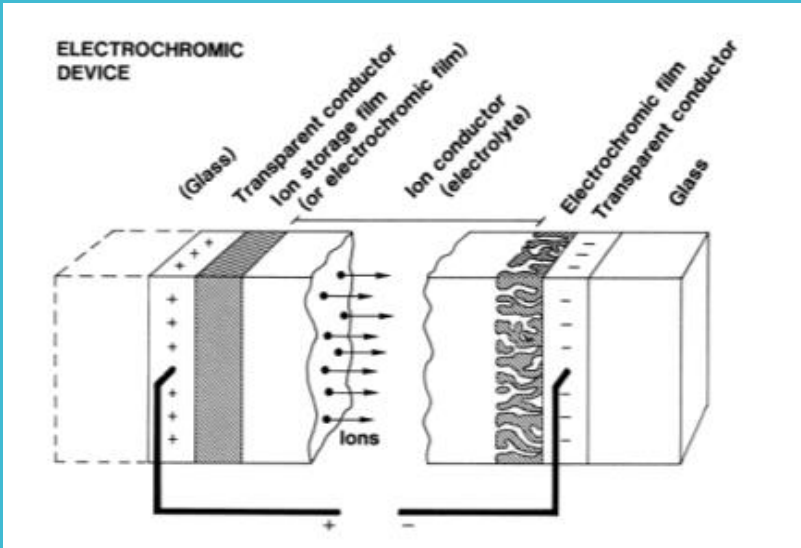
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Vetri Elettrocromici

ELECTROCHROMIC OXIDES:

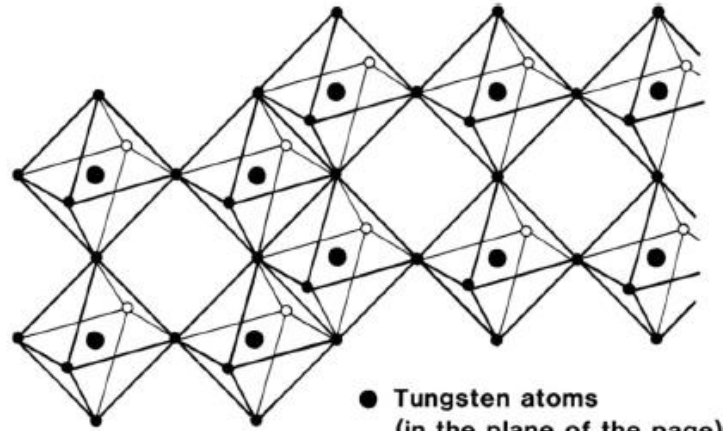
										Cathodic coloration																						
										Anodic coloration																						
H																	He															
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne									
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar									
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr															
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe															
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn															
Fr	Ra	Ac																														

MATERIALI ELETTROCROMICI INORGANICI		MATERIALI ELETTROCROMICI ORGANICI	
a) Catodici (colorazione per riduzione; reazione tipo: $WO_3 + xH^+ + xe^- \leftrightarrow H_xWO_3$)		Tipo	Colore acquisito
Materiale	Colore acquisito	Viologeni	Trasparente \leftrightarrow Blu, viola, rosso
Ossido di tungsteno (WO_3)	Trasparente \leftrightarrow Blu	Polimeri: polianilina	Trasparente \leftrightarrow Verde, blu, porpora
Ossido di molibdeno (MoO_3)	Giallo \leftrightarrow Grigio - Porpora	Polimeri: polipirrolo	Giallo \leftrightarrow Marrone
Ossido di titanio (TiO_2)	Trasparente \leftrightarrow Blu	Polimeri: politiofene	Rosso \leftrightarrow Blu
Ossido di niobio (Nb_2O_5)	Trasparente \leftrightarrow Bronzo	Polimeri: poliisotianofene	Nero \leftrightarrow Trasparente
Ossido di vanadio (V_2O_5)	Giallo \leftrightarrow Blu, verde nero	Atraquinoni	Rosso \leftrightarrow Blu, verde
b) Anodici (colorazione per ossidazione; reazione tipo: $Ni(OH)_2 \leftrightarrow NiOOH + H^+ + e^-$)		Difalocianine	Verde \leftrightarrow Rosso, viola, blu, giallo
Ossido di nickel (NiO)	Trasparente \leftrightarrow Bronzo	Tetrafulvatene	Giallo \leftrightarrow Verde, porpora
Ossido di iridio (IrO_3)	Trasparente \leftrightarrow Nero	Pirazolina	Giallo \leftrightarrow Giallo, blu verde
Ossido di rodio (Rh_2O_3)	Giallo \leftrightarrow Verde, marrone, porpora		
Ossido di cobalto (CoO_x)	Rosso \leftrightarrow Porpora, grigio, nero		

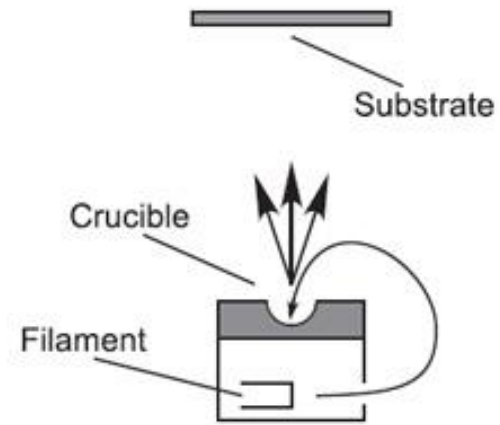
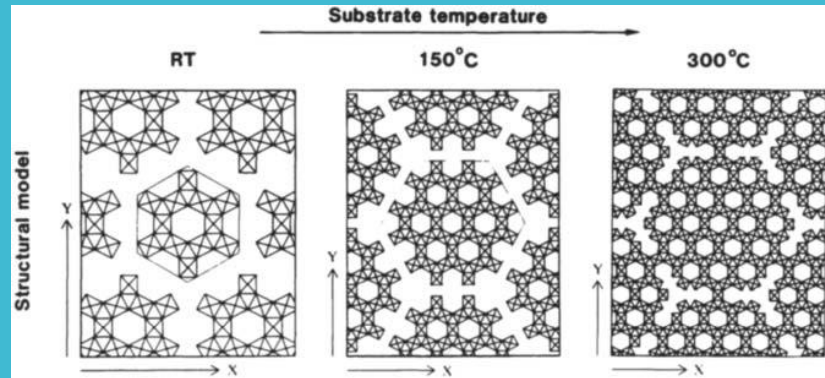


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

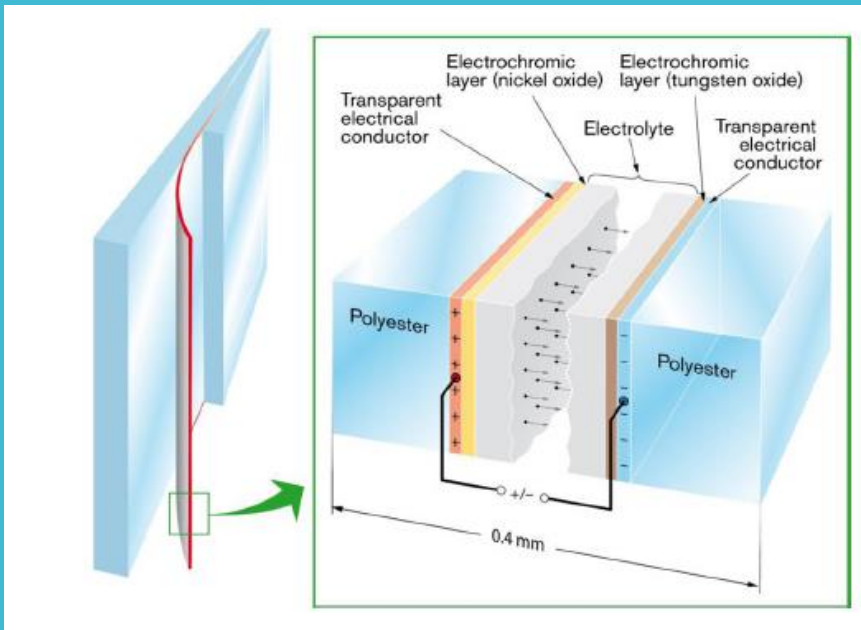
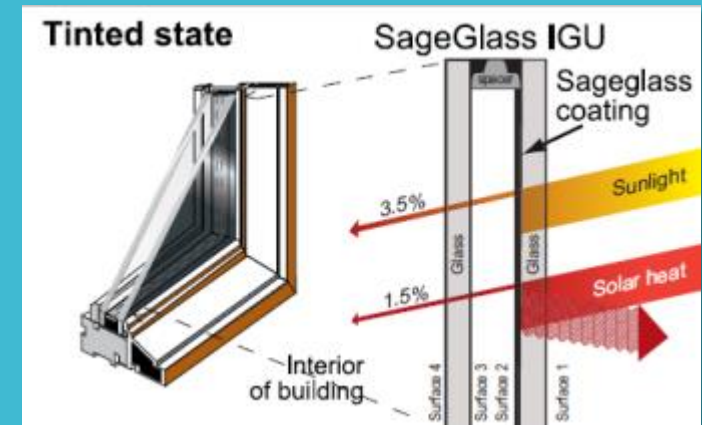
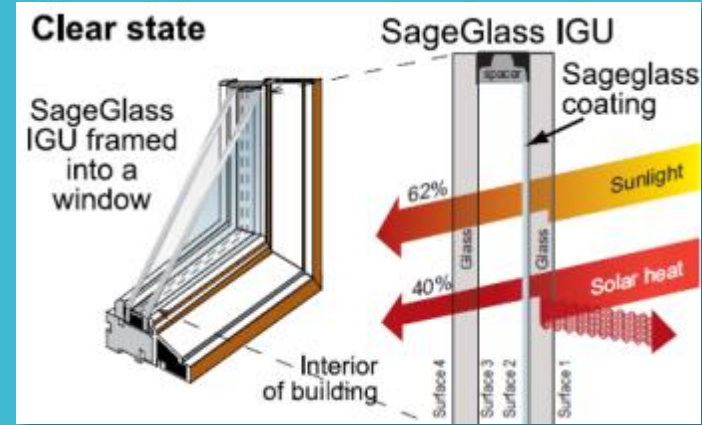
Il triossido di tungsteno



● Tungsten atoms
(in the plane of the page)
● Oxygen atoms



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



UNIONE EUROPEA



REGIONE PUGLIA

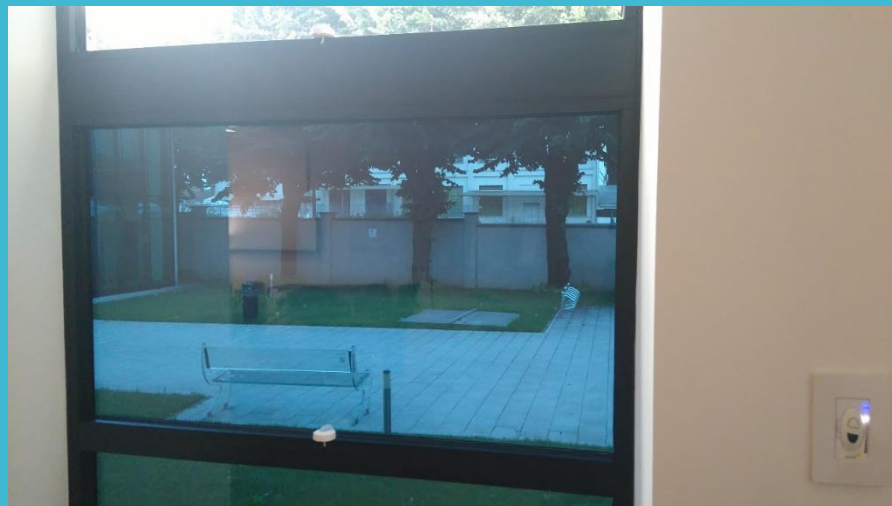


SMARTPUGLIA
INTELLIGENT DAL FUTURO

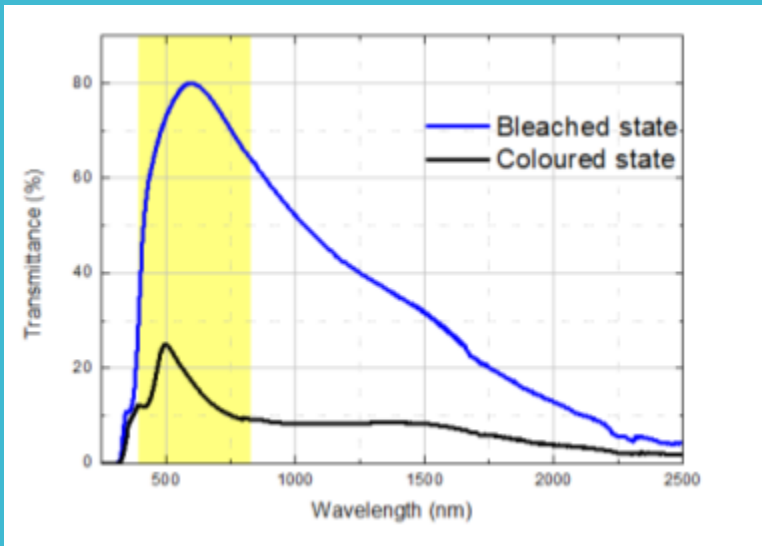
a.r.t.i.

Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione

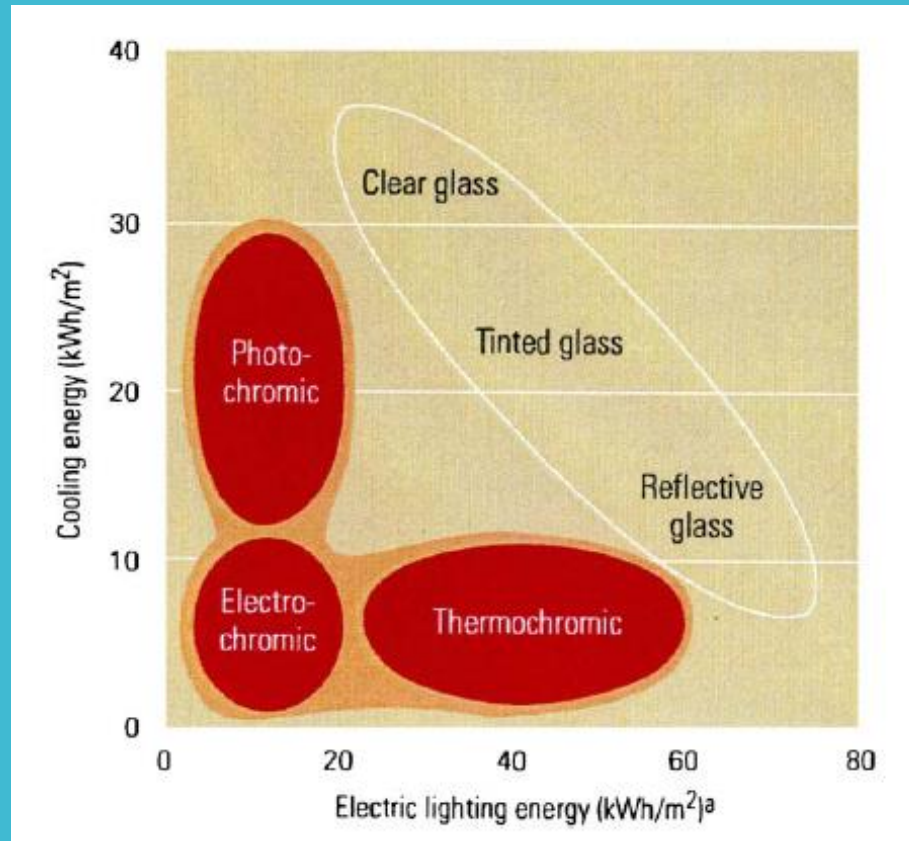
Sede Saint-Gobain Gyproc - Milano





1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



La radiazione solare trasmessa è ridotta al 16% nello stato colorato (regione visibile) e al 7,5% in riferimento all'intero spettro solare.



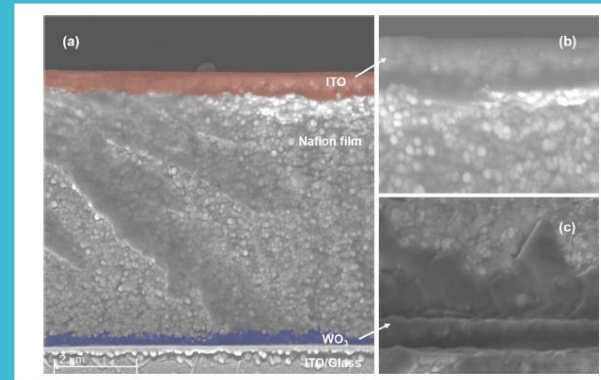
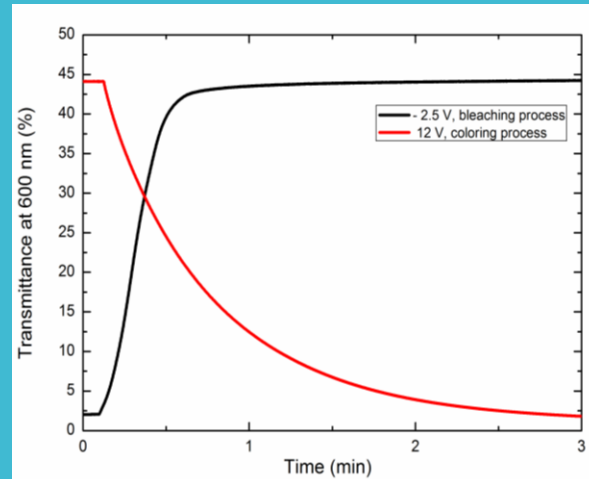
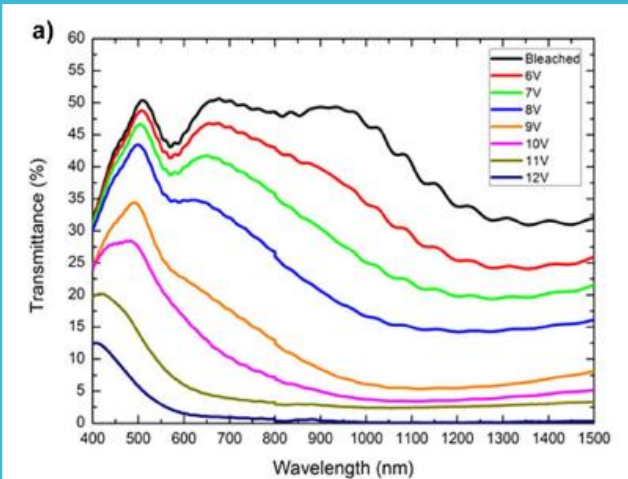
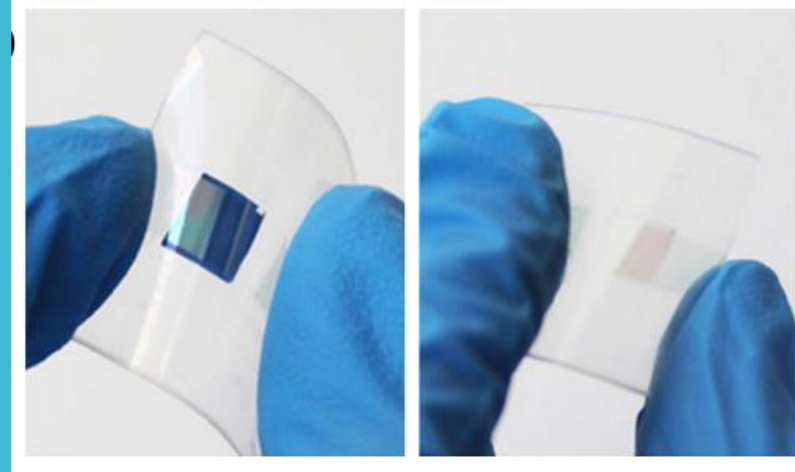
- 
- 
- OIBA
ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
 2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
 3. Dispositivi cromogenici per smart windows
 4. Building integration di dispositivi innovativi

Efficienza di colorazione: $139 \text{ cm}^2/\text{C}$

Contrasto ottico: 49% (a 650 nm)

Tempo di risposta: 30s

Assorbimento energetico trascurabile



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

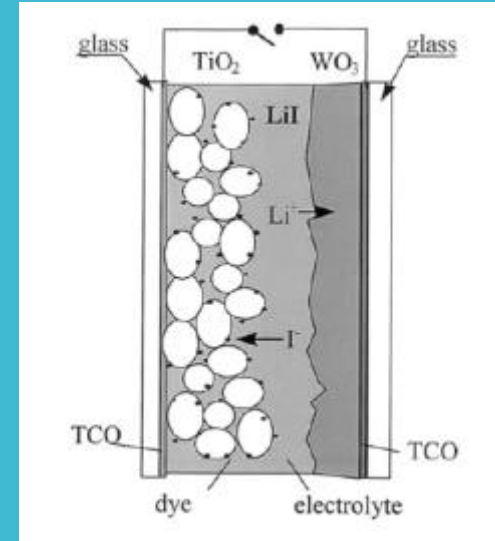
Celle fotoelettrocromiche – Principio

Una cella fotoelettrocromica, progettata per la prima volta dal Bechinger negli anni '90, consiste in una cella solare che produce energia per attivare una transizione cromatica in un layer di materiale elettrocromico.

In condizioni di circuito aperto, il processo di sensibilizzazione del colorante esposto alla luce, produce un valore di tensione di circuito aperto (V_{oc}), che dipende dalla livellistica energetica dei materiali impiegati nel dispositivo.

Qualora si chiudesse il circuito, la V_{oc} fungerebbe da driving force per portare elettroni, attraverso il circuito esterno, verso il controelettrodo, dove saranno iniettati nell'ossido elettrocromico. A questo punto, i cationi litio presenti nell'elettrolita, verranno iniettati nell'ossido elettrocromico, attivando la reazione redox di colorazione.

“At sea level about 53% of the spectral power lies within the visible range, 5% lies in the ultraviolet (UV) and 42% lie in the infrared (IR)”. Smith, 2010.

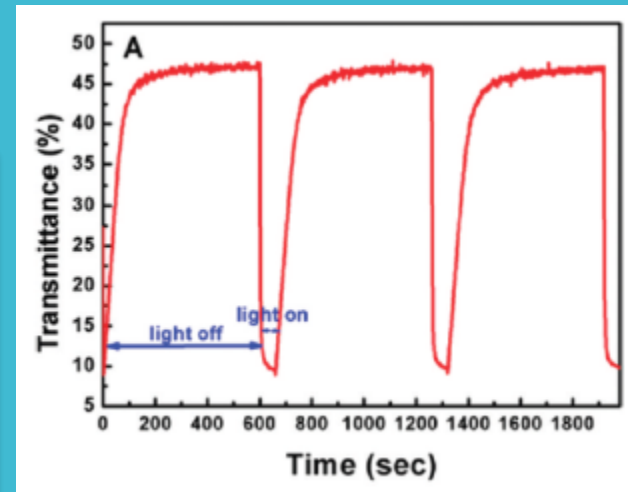
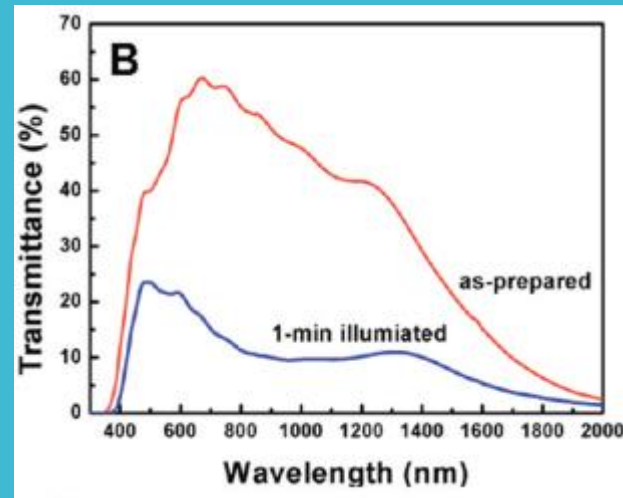
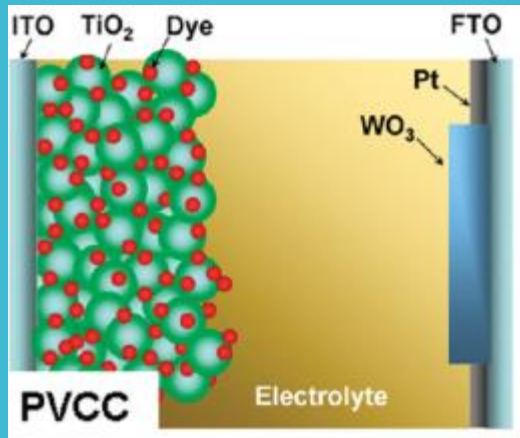
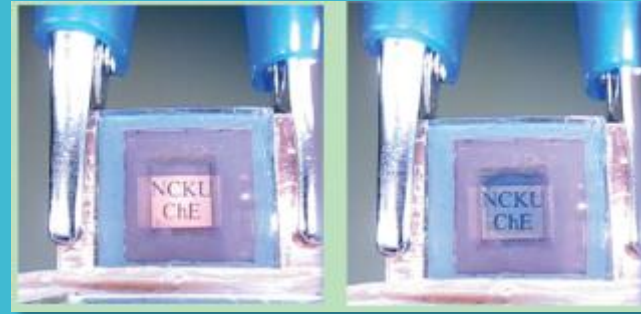


1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

TABLE 1. Photovoltaic Properties of DSSC, PECC, and PVCC under AM 1.5 Illumination at 100 mW/cm^{2a}

cell	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	F.F.	η (%)
DSSC	2.38	0.58	0.34	0.46
PECC	0.67	0.06	0.21	0.01
PVCC	2.23	0.57	0.40	0.50

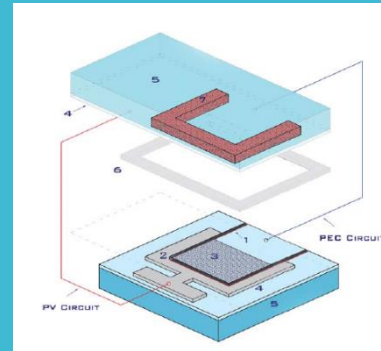
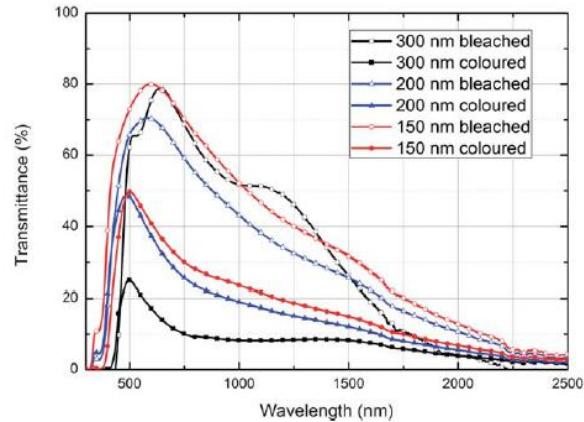
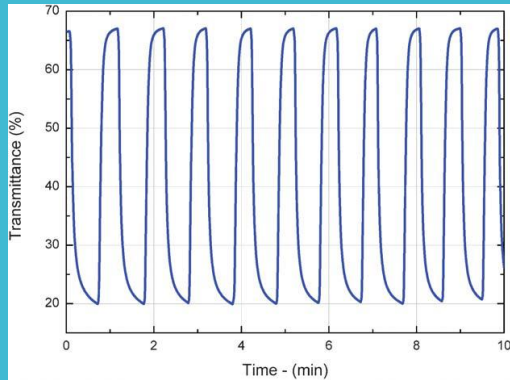
^a J_{sc} , V_{oc} , F.F., η are the short-circuit current density, open-circuit voltage, fill factor, and efficiency of the cells, respectively.



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

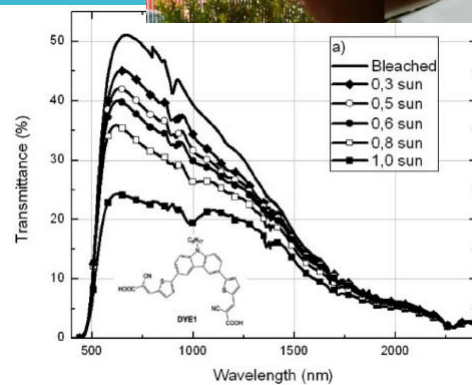
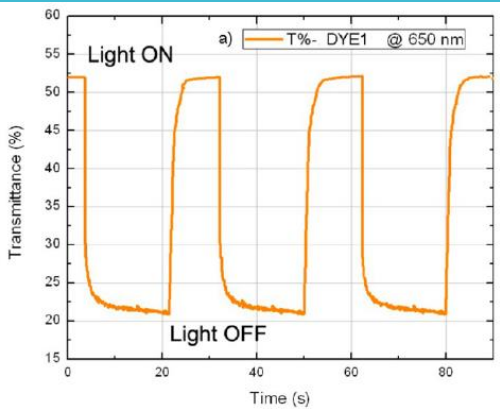
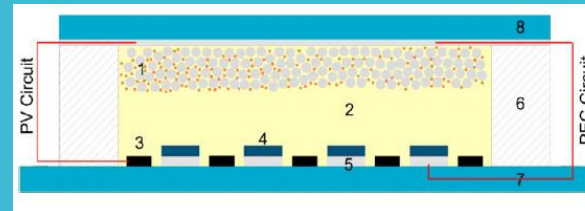
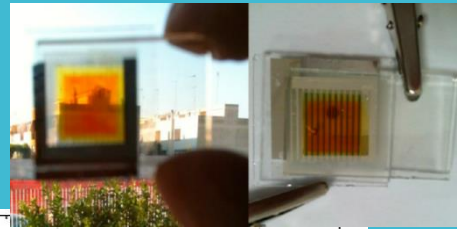
Energy & Environmental Science

Cite this: *Energy Environ. Sci.*, 2011, **4**, 2567



Maximum photoconversion efficiency: 6.55%

Optical modulation > 50% at 600 nm



irradiance	FF	Voc [V]	Jsc [mA cm ⁻²]	PCE[%] @1sun
1.0 sun	0.45	0.68	6.02	1.84
0.8 sun	0.43	0.68	5.85	2.13
0.6 sun	0.42	0.66	5.24	2.42
0.5 sun	0.48	0.65	3.81	2.38
0.3 sun	0.52	0.62	1.93	2.06

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



UNIONE EUROPEA



a.r.t.i.

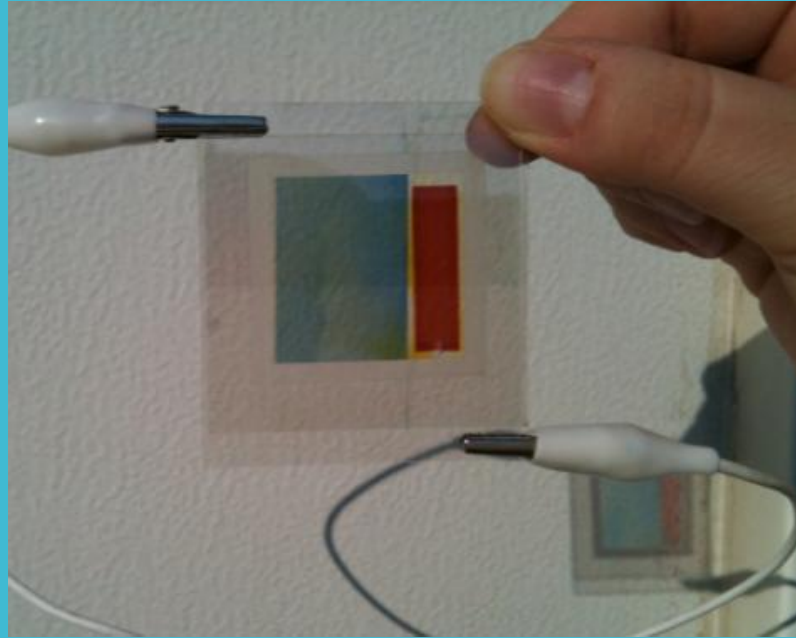
Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione



Stato chiaro



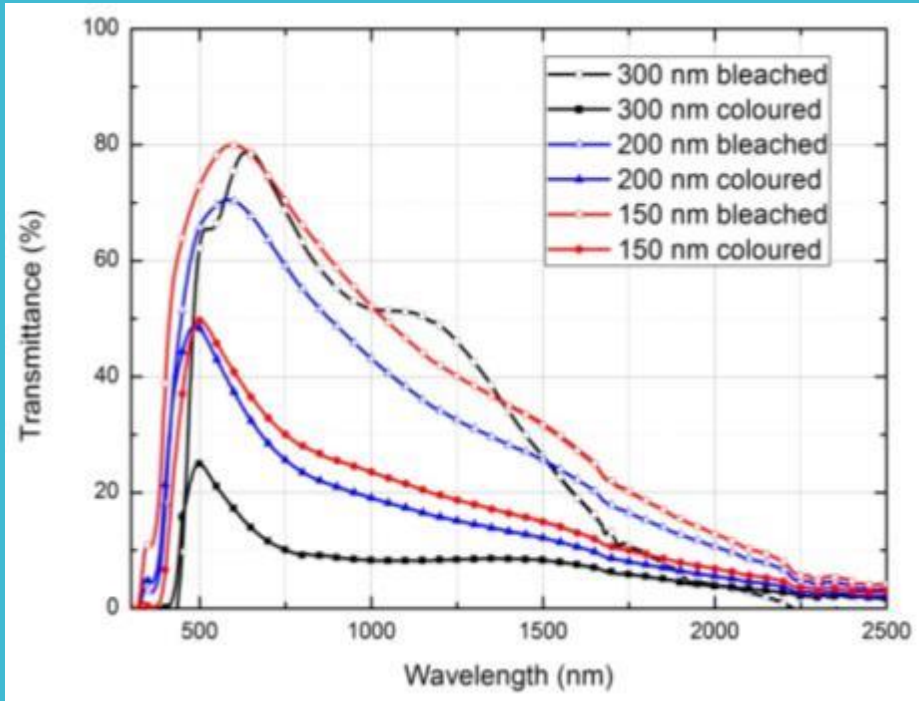
Stato colorato



Cannavale A., Manca M., Malara F., De Marco L., Cingolani R. and Gigli G.
Highly efficient smart photovoltachromic cells with tailored electrolyte formulation.
Energy & Environmental Science, 2011



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

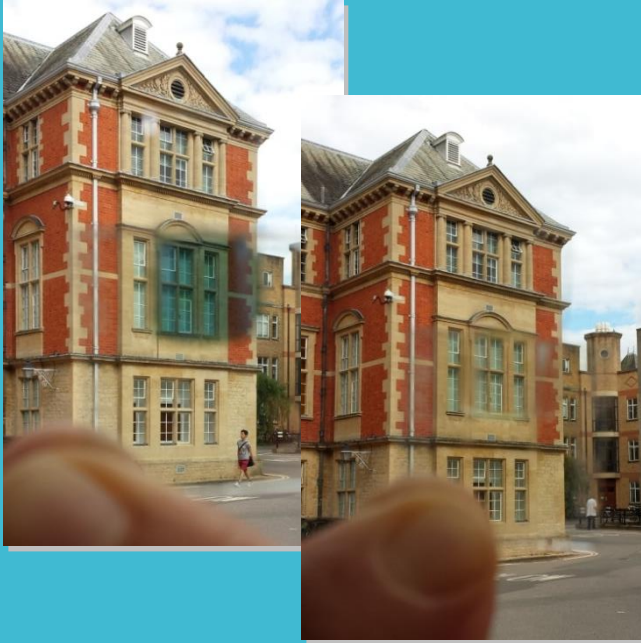


Spettri di trasmissione di differenti dispositivi con spessori di WO₃ diversi.

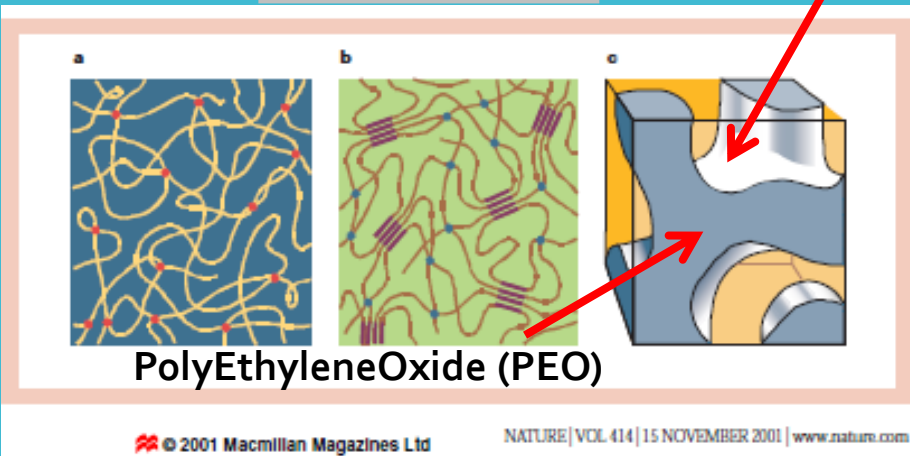
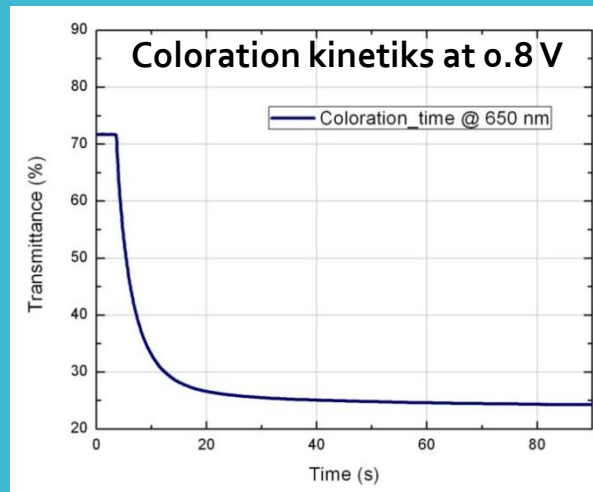
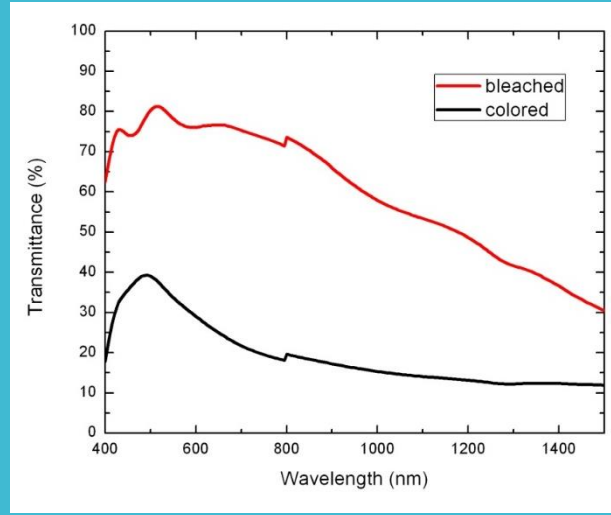
$$\Delta T_{\text{VIS}} > 50\%$$

$$\Delta T_{\text{SOL}} \gg 50\%$$

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

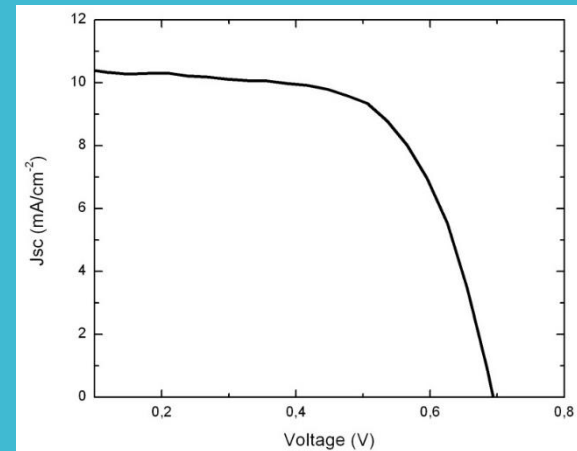
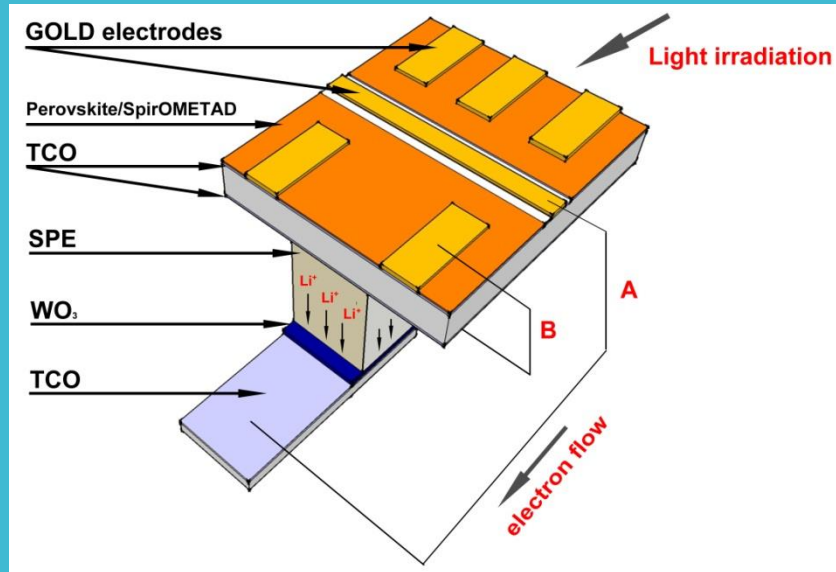
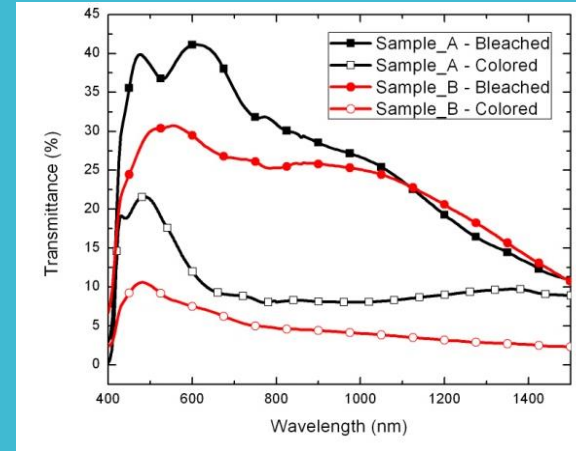
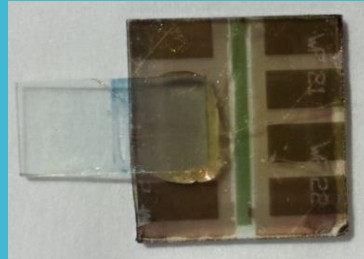
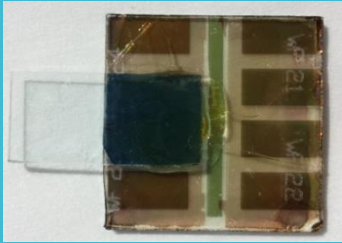


PolyEthyleneGlicole (PEG)



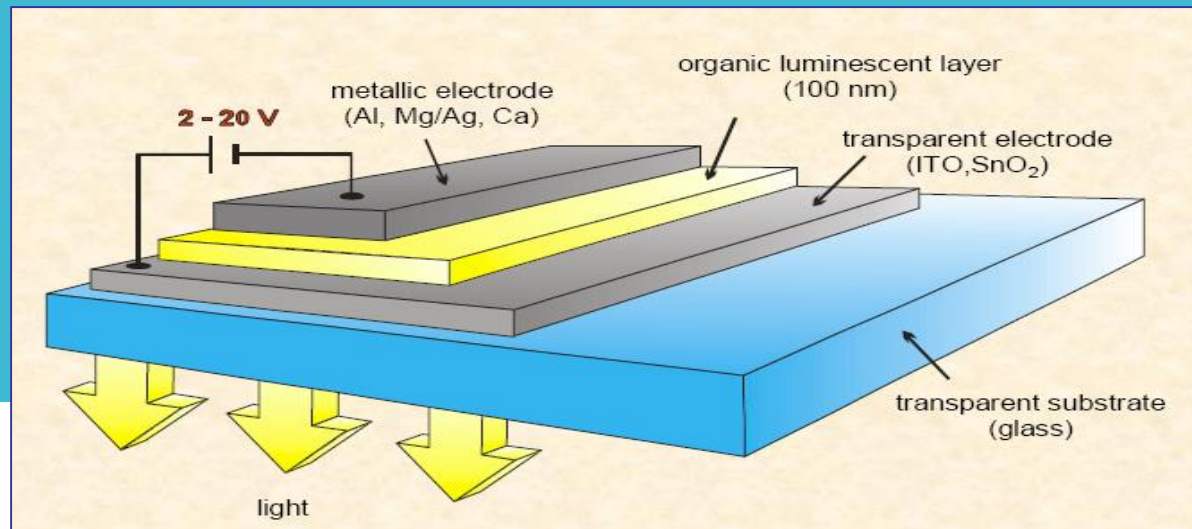
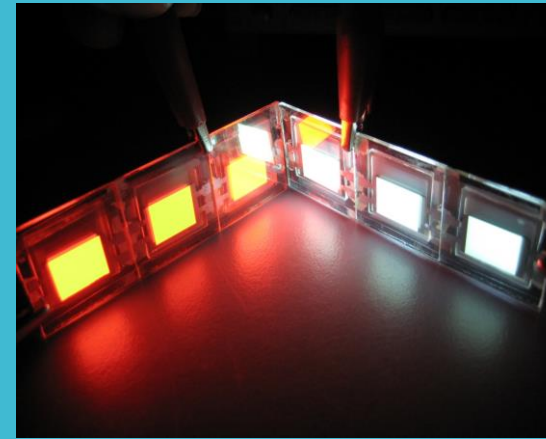
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

	PCE	Voc	Jsc	FF
Janus	5.62	0.70	12.54	0.64



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Gli Organic Light Emitting Diodes (OLED) sono dispositivi basati sul principio della elettroluminescenza. Il dispositivo si ottiene per sovrapposizione di coating che tipicamente, non superano, nel totale, uno spessore di un micron. Gli OLED sono realizzati depositando uno strato attivo (decine o centinaia di nanometri) tra due elettrodi planari. A seconda delle particolari caratteristiche delle molecole e/o polimeri usati come strato attivo, diversi colori possono essere ottenuti, anche fino a coprire l'intero spettro visibile. Le attività di ricerca sono partite dalla fabbricazione di dispositivi monocromatici per applicazioni automobilistiche e biologiche, fino ai recenti OLED bianchi per applicazioni di illuminazione.



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

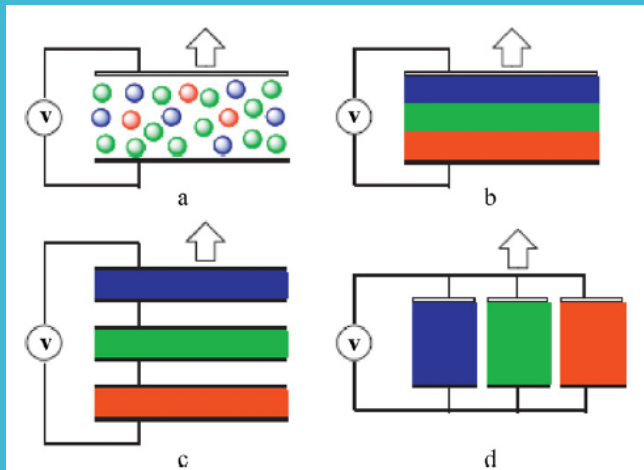
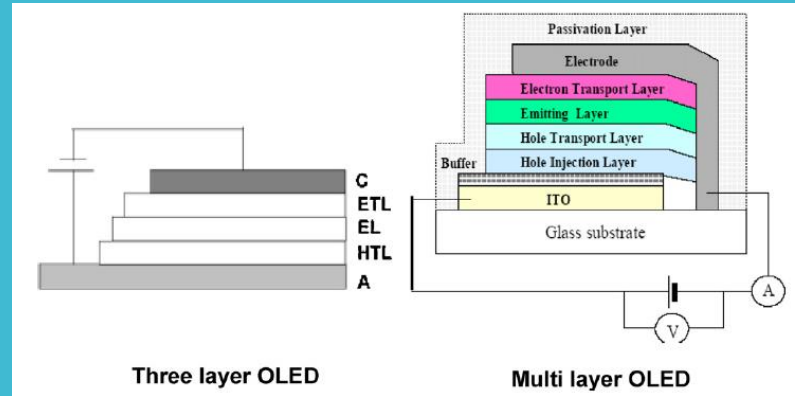
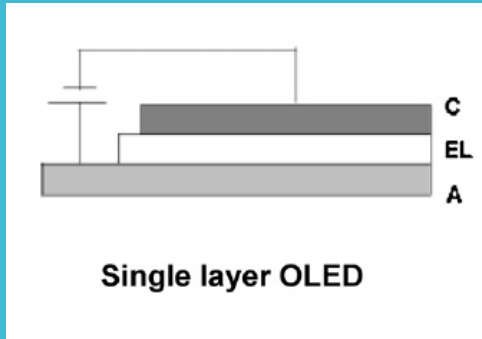
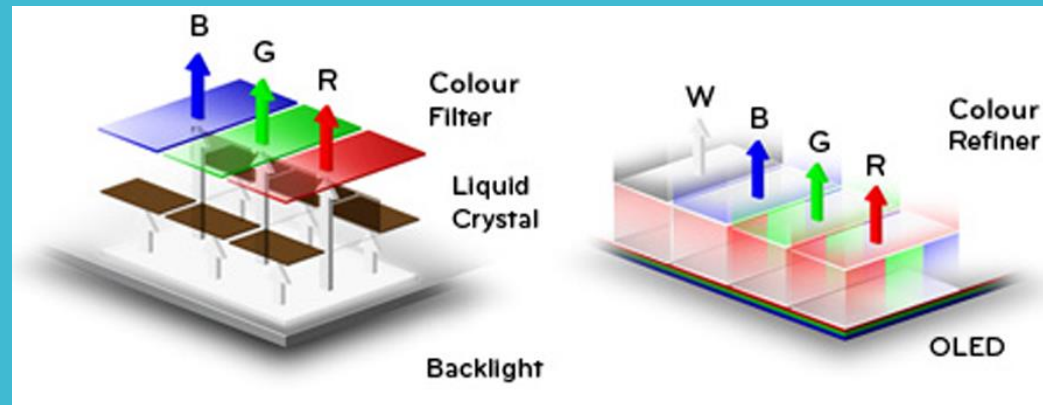


Fig. 9. General approaches to generate white light from OLEDs using multiple emitters. (a) Single-EML structure, (b) multilayer EML structure, (c) stacking and tandem structure and (d) striped structure.

Reproduced from Zhou et al., Recent progress and current challenges in phosphorescent white organic light-emitting diodes (WOLEDs), *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* (2011), doi:10.1016/j.jphotochemrev.2011.01.001.



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

La fabbricazione di White OLED è una sfida importante per le applicazioni nel lighting, consentendo di ridurre la quantità di CO₂ emessa rispetto alle altre sorgenti di illuminazione. Infatti, la maggior parte dell'energia impiegata viene sfruttata per produrre luce e non viene dissipata in calore per effetto Joule.

Problemi WOLED

- l'omogeneità su vasta area,
- l'efficienza
- durata ad alta luminosità.

Per raggiungere una buona qualità illuminazione l'emissione di luce bianca deve rispondere ad alcuni requisiti:

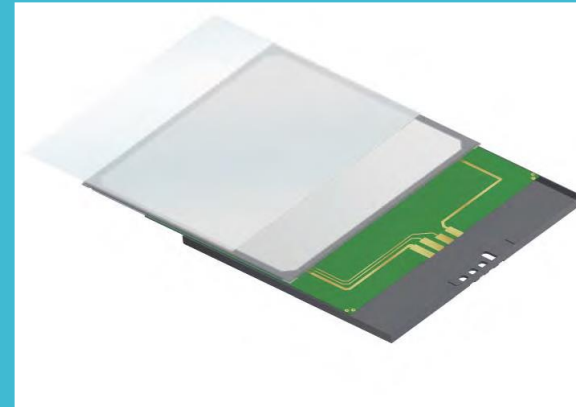
Luminanza: 1000 cd / m²

Efficienza luminosa > 60 lumen / Watt

Indice di resa cromatica > 80

Componenti OLED bianco:

- Alloggiamento,
- Circuito stampato
- Catodo riflettente (Al, Ag)
- Materiale elettroluminescente
- Anodo trasparente (TCO, Transparent Conductive Oxide)
- Vetro di substrato (ma anche PEN, carta...)



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



UNIONE EUROPEA

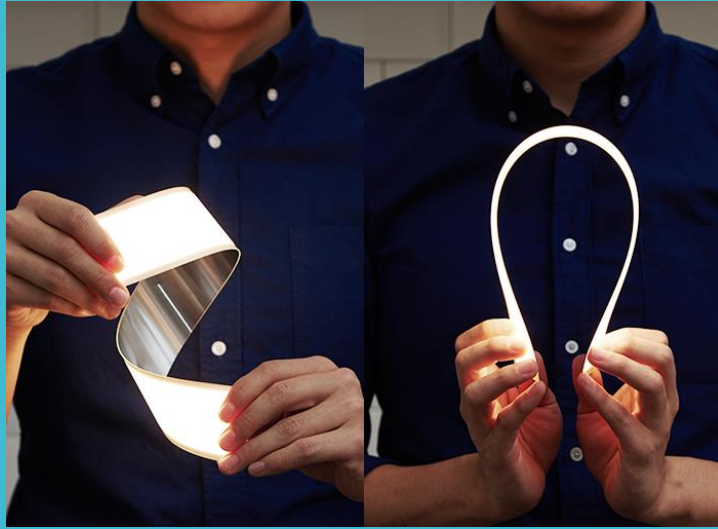


a.r.t.i.

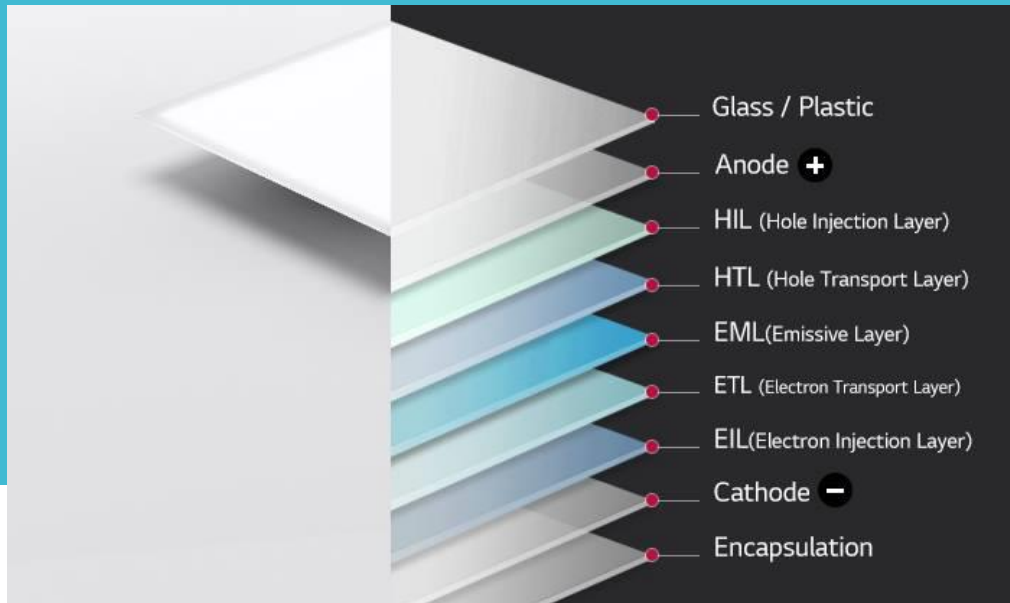
Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione



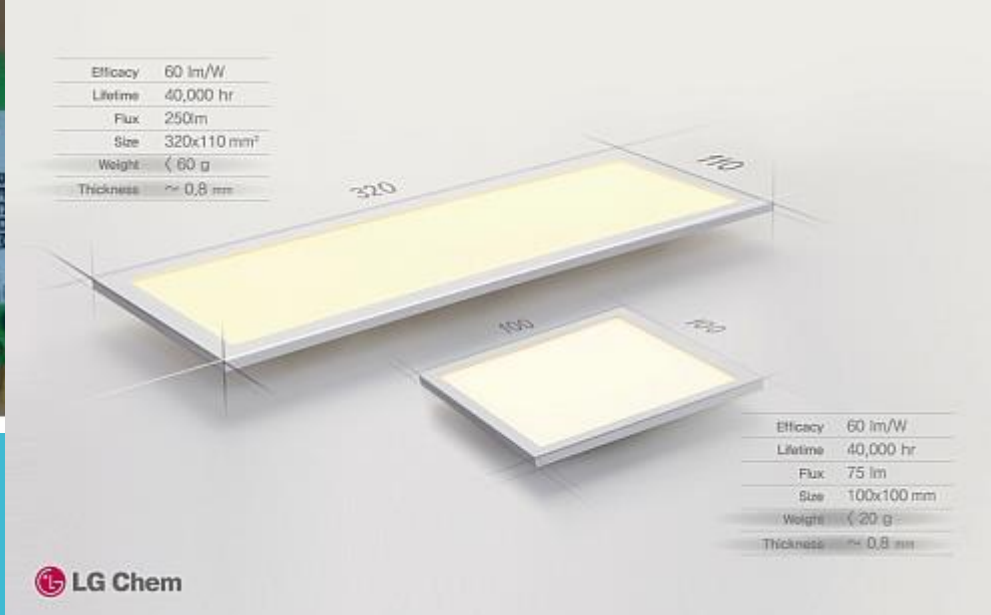
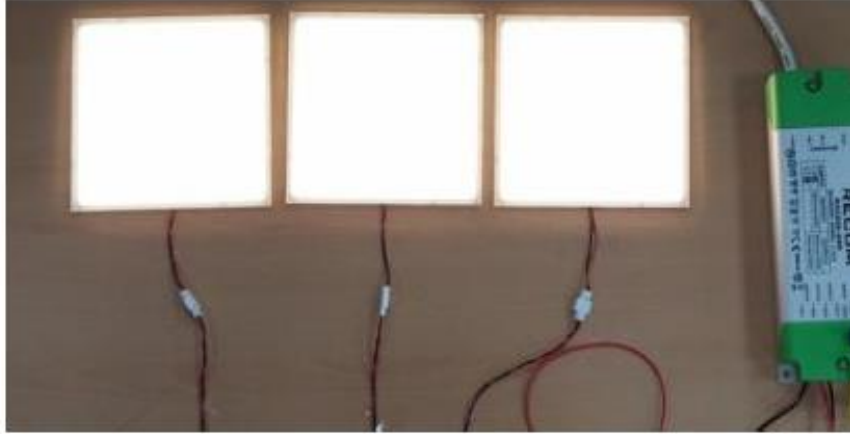
LG DISPLAY OLED LIGHT



LG DISPLAY OLED LIGHT



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Type		Rigid				Bendable	
Model		N6OA40	N6OA30	N6BB40	N6BB30	F6BA40	F6BA30
Ⓐ	Voltage [V]	6.0	8.5	6.0	8.5	6.0	8.6
Ⓑ	Current [mA]	230	150	800	500	230	260
Ⓒ	Power [W]	1.38	1.28	4.8	4.25	1.38	2.24



UNIONE EUROPEA



REGIONE PUGLIA



SMARTPUGLIA
INTELLIGENTI DAL FUTURO

a.r.t.i.

Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



UNIONE EUROPEA



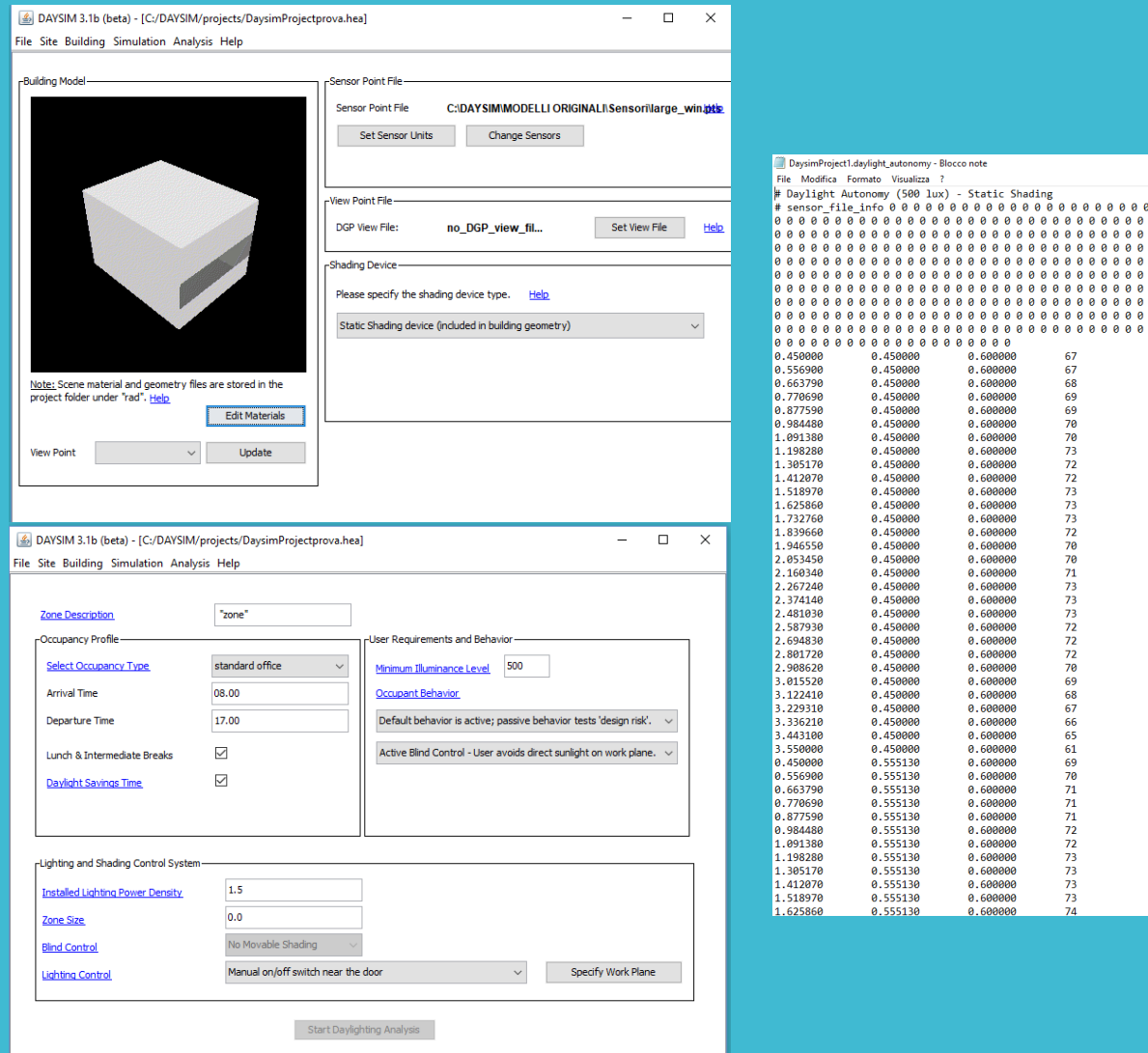
a.r.t.i.
 Agenzia regionale
 per la tecnologia
 e l'innovazione



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

DAYSIM

DAYSIM è un software di analisi di illuminazione diurna basato su RADIANCE, convalidato, che modella la quantità annuale di luce diurna all'interno e intorno agli edifici. DAYSIM consente agli utenti di modellare sistemi di facciate dinamiche che vanno dalle tende alla veneziana standard agli elementi di reindirizzamento della luce allo stato dell'arte, ai vetri commutabili e alle loro combinazioni. Gli utenti possono inoltre specificare complessi sistemi di illuminazione elettrica e controlli, inclusi interruttori della luce manuali, sensori di presenza e oscuramento controllato da fotocellula.



Christoph Reinhart, since 1998, Lawrence Berkeley National Laboratory



In architettura, il fattore di luce diurna (DF) è il rapporto tra il livello di illuminamento all'interno di una struttura e il livello di illuminamento all'esterno della struttura. È definito come:

$$DF = (E_i / E_o) \times 100\%$$

E_i = illuminamento dovuto alla luce diurna in un punto del piano di lavoro interno,

E_o = illuminamento esterno simultaneo su un piano orizzontale da un emisfero non ostruito di cielo coperto.

L'art. 5 del D.M. 5 luglio 1975 n. 190, dispone che "tutti i locali degli alloggi, eccettuati quelli destinati a servizi igienici, disimpegni, corridoi, vani-scala e ripostigli debbono fruire di illuminazione naturale diretta, adeguata alla destinazione d'uso". Dal punto di vista prettamente quantitativo il Decreto prevede che debba essere garantito un **Fattore di luce diurna non inferiore al 2%** e che in ogni locale sia presente una superficie apribile non inferiore ad 1/8 (12.5%) della superficie del pavimento.

Limiti del DF

- Indicatore statico: non tiene conto della variabilità delle condizioni esterne del cielo
- Cielo Overcast
- Insensibile all'orientamento



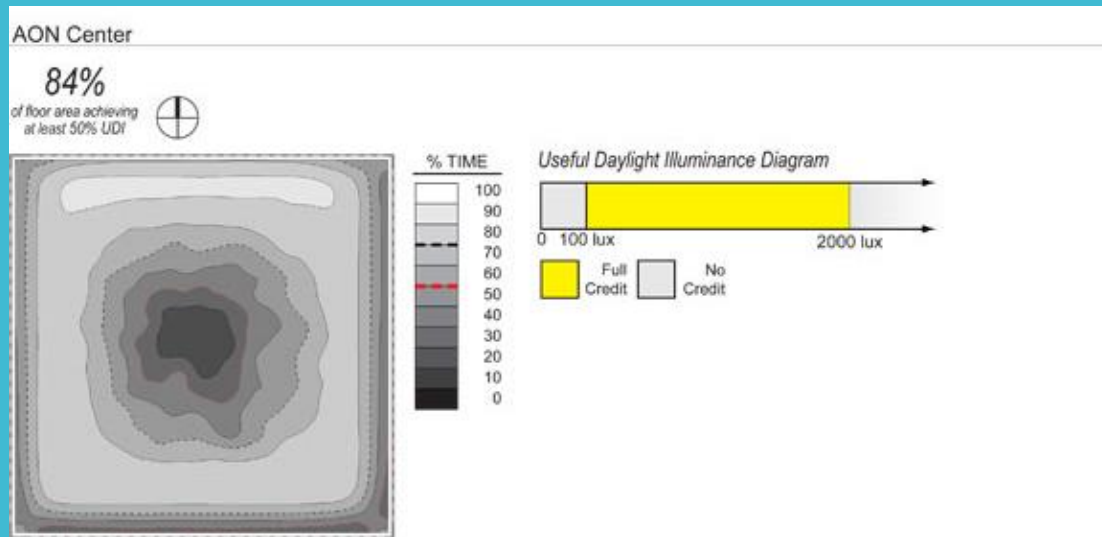
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. **Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza**
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Parameters for visual comfort – UDI and DGP

Il parametro **Useful Daylight Illuminance (UDI)**, sviluppato da Nabil et al., è stato concepito per interpretare analisi di livelli di illuminamento da luce naturale, calcolati ora per ora su base annua basandosi su dati meteo.

Gli illuminamenti considerati UDI sono quelli che ricadono in un intervallo di valori considerati confortevoli dai fruitori. (100-2000, più recentemente 300-3000).

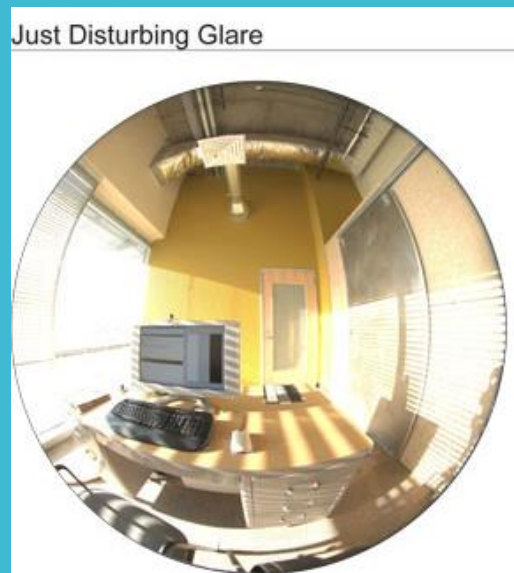
Per ciascun punto del piano della stanza, di conseguenza, UDI è definito come la **percentuale di tempo** in cui l'illuminamento ricade nel range anzidetto, su base annua.



Abbagliamento: "Condizione della visione in cui si ha discomfort o una riduzione nella abilità di vedere dettagli od oggetti, causata da una scorretta distribuzione delle luminanze, o a estremi contrasti.

Misurato in cd/m^2 (Luminance) Discomfort per lettura $> 3000 \text{ cd/m}^2$

La **Daylight Glare Probability (DGP)** sviluppata da Wienold et al. è un parametro di abbagliamento che può anche prevedere il discomfort tenendo in considerazione sia il gradiente di luminanze nel campo visivo sia la componente verticale di illuminamento, su un emisfero di $2\pi \text{ sr}$.



$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} E_v + 9.18 \times 10^{-5} \log_{10} 2 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} P_i^2} \right)$$

L_s luminance of the glare source (cd/m^2)

ω solid angle of the glare source (sr)

P weight factor based on position in a viewing hemisphere, the position index

E_v total vertical eye illuminance (lux)

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

References :

- Wienold, 2009

- A Study of Luminance Distribution Patterns and Occupants' Preferences in Daylit Offices, Passive and Low Energy Architecture, Annual Conference Proceedings, June 2009, Québec City, Canada; Kevin Van Den Wymelenberg, Mehlika Inanici



Energy Plus

EnergyPlus™ è un intero programma di simulazione di energia degli edifici che ingegneri, architetti e ricercatori utilizzano per modellare sia il consumo di energia - per riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, illuminazione e tappi e carichi di processo - e l'utilizzo dell'acqua negli edifici. Alcune delle caratteristiche e delle funzionalità degne di nota di EnergyPlus includono:

Soluzione integrata e simultanea delle condizioni delle zone termiche e risposta del sistema HVAC.

Soluzione a base di equilibrio termico di effetti radianti e convettivi che producono temperature superficiali e calcoli di comfort termico e condensazione.

Intervalli temporali sub-orari, definibili dall'utente per l'interazione tra zone termiche e ambiente;

Modello combinato di calore e trasferimento di massa che tiene conto del movimento dell'aria tra le zone.

Modelli di finestratura avanzati, compresi tapparelle controllabili, vetri trasparenti elettrocromici e bilanci termici strato per strato che calcolano l'energia solare assorbita dai vetri delle finestre.

Calcoli dell'illuminamento e dell'abbagliamento per la segnalazione del comfort visivo e dei controlli dell'illuminazione di guida.

HVAC basato su componenti che supporta sia configurazioni di sistema standard che nuove.

Riepilogo standard e rapporti di output dettagliati nonché rapporti definibili dall'utente con una risoluzione temporale selezionabile da annuale a sub-ora, tutti con moltiplicatori di fonti di energia.



- 1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro**
- 2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza**
- 3. Dispositivi cromogenici per smart windows**
- 4. Building integration di dispositivi innovativi**



UNIONE EUROPEA



a.r.t.i.
Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione

Energy Plus

IDF Editor - [C:\Users\Alex\Dropbox\PCM_Valeria\FRANCESCO\prova.idf]

File Edit View Jump Window Help

New Obj Dup Obj Dup Obj + Chg Del Obj Copy Obj Paste Obj

Class List

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Regular materials described with full set of thermal properties

Field Description: ID, AT
Enter a alphanumeric value
This field is required.

Field	Unit	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj12	C
Name		Steel Frame Res W	IEAD Res Roof Ins	Std Wood 6inch	Wood Siding	1/2IN Gypsum	1IN Stucco	8IN CONCRETE H	Metal Siding	HV CONCRETE	Roof Membrane	Metal Decking	Metal Roofing
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth	Smooth	Smooth	Rough	Smooth	Rough	VegRough	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0.7056455E-02	1.2466345E-01	0.15	0.01	0.0127	0.0253	0.2032	0.0015	0.1016	0.0095	0.0015	0.0015
Conductivity	W/mK	0.043	0.049	0.12	0.11	0.16	0.6918	1.311	44.96	1.311	0.16	45.006	45.006
Density	kg/m3	265	265	540	544.62	784.9	1659	2240	7688.06	2240	1121.29	7680	7680
Specific Heat	J/kgK	836.8	836.8	1210	1210	830	827	836.8	410	836.8	1460	418.4	418.4
Thermal Absorbance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorbance		0.7	0.7	0.7	0.78	0.92	0.92	0.7	0.2	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorbance		0.7	0.7	0.7	0.78	0.92	0.92	0.7	0.2	0.7	0.7	0.7	0.7

Schedules

Surface Construction Elements

00017 Material

0002 Material NoMass

Material Infrared Transparent

Material AirGap

Material RoofVegetation

0001 WindowMaterial:SimpleGlazingSystem

WindowMaterial:Glazing

WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic

WindowMaterial:Glazing:RefractionExtinctionMethod

WindowMaterial:Gas

WindowGap:SupportPillar

WindowGap:DeflectionState

WindowMaterial:GasMixture

WindowMaterial:Gap

WindowMaterial:Shade

IDF Editor - [C:\Users\Alex\Dropbox\PCM_Valeria\FRANCESCO\prova.idf]

File Edit View Jump Window Help

New Obj Dup Obj Dup Obj + Chg Del Obj

Class List

Compliance Objects

Compliance:Building

Location and Climate

0001 Site:Location

Site:VariableLocation

0002 SizingPeriod:DesignDay

SizingPeriod:WeatherFileDays

SizingPeriod:WeatherFileConditionType

0001 RunPeriod

RunPeriod:CustomRange

0010 RunPeriodControl:SpecialDays

0001 RunPeriodControl:DaylightSavingTime

WeatherProperty:SkyTemperature

Site:WeatherStation

Site:HeightVariation

0001 Site:GroundTemperature:BuildingSurface

Site:GroundTemperature:FCfactorMethod

Site:GroundTemperature:Shallow

Site:GroundTemperature:Deep

Site:GroundTemperature:UndisturbedFiniteDifference

Site:GroundTemperature:UndisturbedKusudaAchenbach

Site:GroundTemperature:UndisturbedXing

Site:GroundDomain:Slab

Site:GroundDomain:Basement

Site:GroundReflectance

Site:GroundReflectance:SnowModifier

0001 Site:WaterMainsTemperature

Site:Precipitation

RoofIrrigation

Site:SolarAndVisibleSpectrum

Site:SpectrumData

Schedules

0007 ScheduleTypeLimits

Schedule:Day:Hourly

Schedule:Day:Interval

Schedule:Day:List

Schedule:Week:Daily

Schedule:Week:Compact

Schedule:Year

0037 Schedule:Compact

Schedule:Constant

Schedule:File:Shading

Schedule:File

Surface Construction Elements

00017 Material

0002 Material NoMass

Material Infrared Transparent

Material AirGap

Material RoofVegetation

0001 WindowMaterial:SimpleGlazingSystem

WindowMaterial:Glazing

WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic

WindowMaterial:Glazing:RefractionExtinctionMethod

WindowMaterial:Gas

WindowGap:SupportPillar

WindowGap:DeflectionState

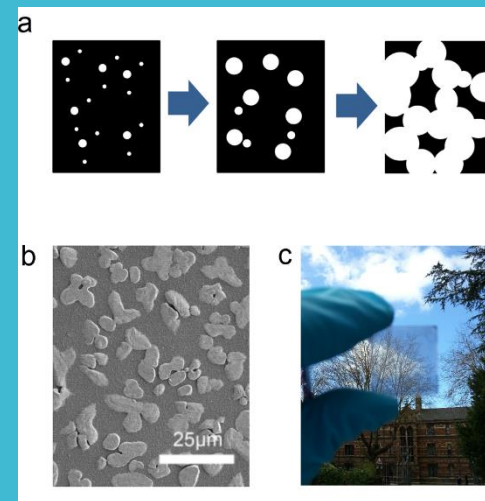
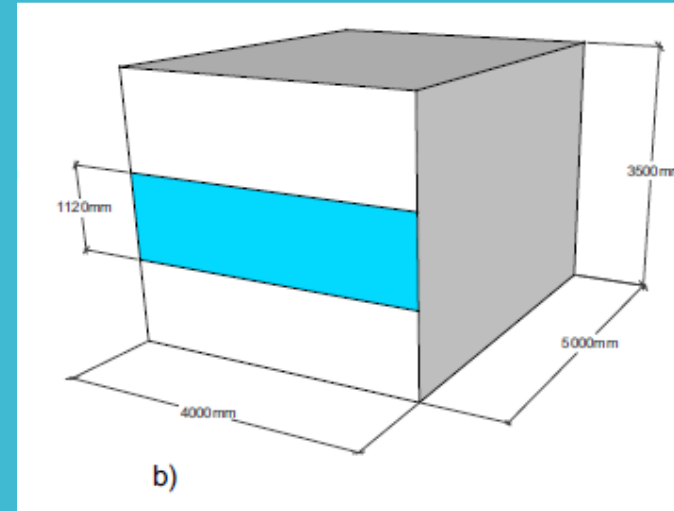
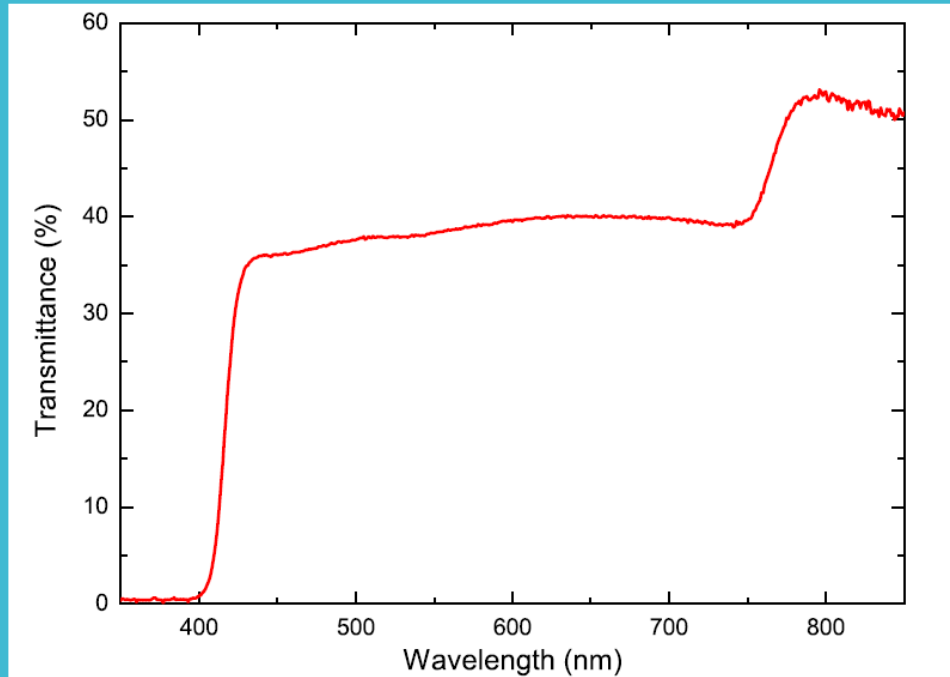
WindowMaterial:GasMixture



WindowMaterial:Gap

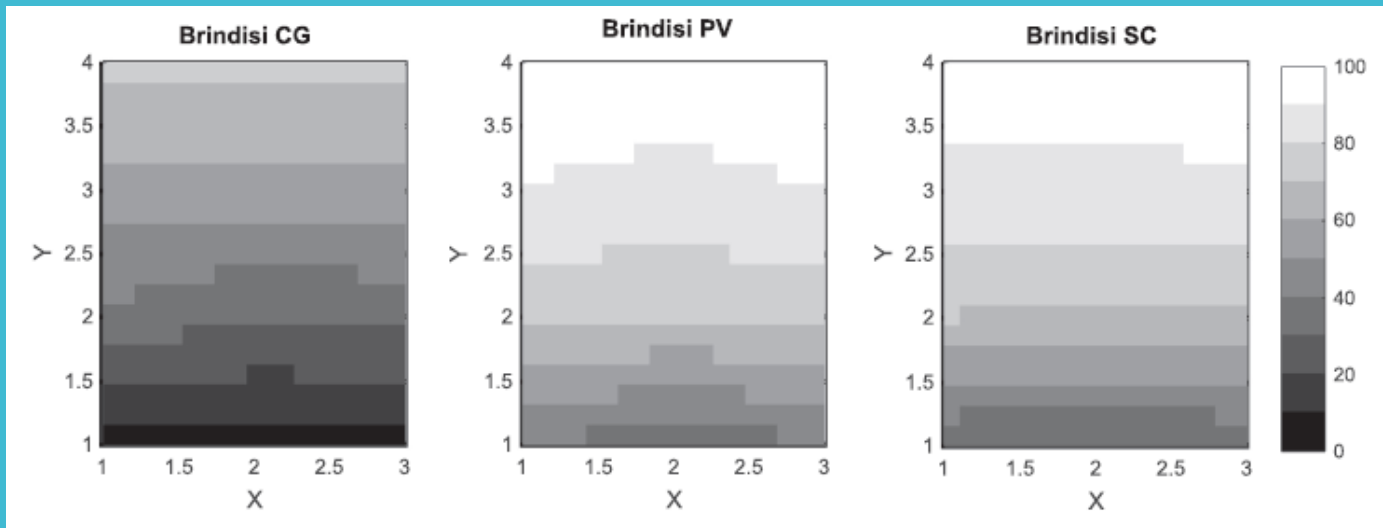
WindowMaterial:Shade



1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi



- 
- 
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
 2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
 3. Dispositivi cromogenici per smart windows
 4. Building integration di dispositivi innovativi



Distribuzione spaziale della percentuale di tempo durante l'anno in cui l'utile illuminazione diurna (UDI) è entro i limiti di comfort per le posizioni selezionate con una tipica finestra dell'ufficio (WWR = 32%). CG = vetro trasparente; PV = fotovoltaico trasparente a base di perovskite; SC = film a controllo solare commerciale.

Table 6

Use of electric lighting for offices having strip windows with a WWR = 32%. Load is meant as the annual electric lighting energy load in the test room; Yield is the Annual Electric energy yield (including temperature effect).

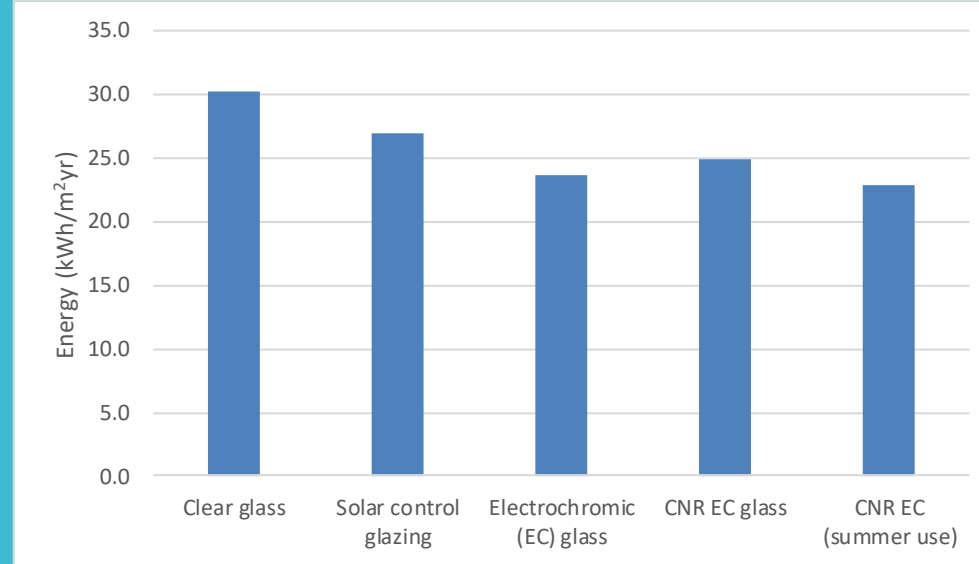
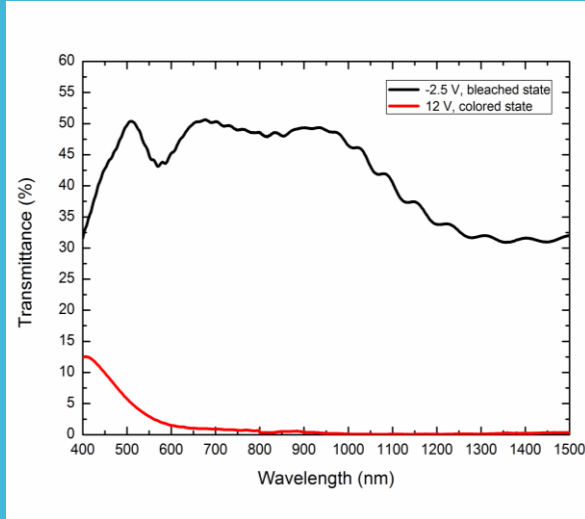
Location	Type of glazing	LOAD [kWh/yr]	YIELD [kWh/yr]	Yield/Load [%]
Brindisi	CG	78	-	-
	SC	108	-	-
	PV	118	129.0	109.3
London	CG	136	-	-
	SC	198	-	-
	PV	200	82.40	41.2
Aswan	CG	52	-	-
	CG	68	-	-
	PV	68	143.40	210.9

References:

Alessandro Cannavale, Maximilian Hörantner, Giles E. Eperon, Henry J. Snaith, Francesco Fiorito, Ubaldo Ayr, Francesco Martellotta, *Applied Energy* 194 (2017) 94–107

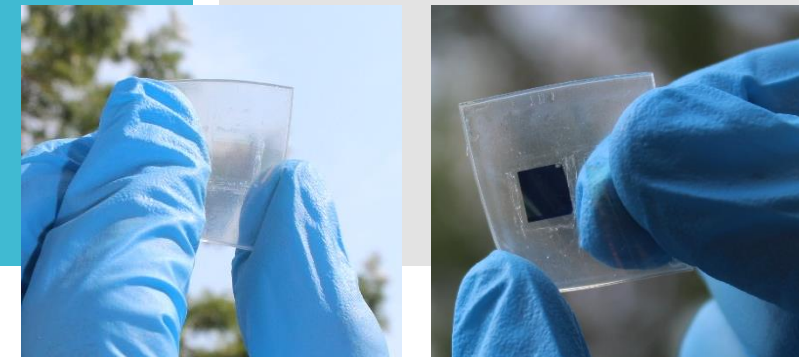
1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi

Risparmio del 38% di energia elettrica per raffrescamento su base annua alla latitudine di Roma.



	UDI _{<300}	UDI ₃₀₀₋₃₀₀₀	UDI _{>3000}	Glare Index < 22
Clear Glass	10.7	42.4	46.8	56.5
Solar control	18.3	79.1	2.6	95.9
Commercial electrochromic	13.7	71.6	14.8	88
CNR-Electrochromic	19.4	80.4	0.1	99.9
CNR-EC (roll. shut.)	13.8	63.1	23.1	79.3
CNR-EC (roll. shut. Extended)	16.8	75.4	7.8	93.6

1. Tecnologie per il controllo delle proprietà del vetro
2. Dispositivi fotovoltaici innovativi ad alta trasparenza
3. Dispositivi cromogenici per smart windows
4. Building integration di dispositivi innovativi





UNIONE EUROPEA



REGIONE PUGLIA



·a·r·t·i·

Agenzia regionale
per la tecnologia
e l'innovazione

Grazie per la cortese attenzione!