

# **SMART & SOLAR WINDOW: NUOVE TECNOLOGIE PER UN FUTURO SOSTENIBILE**

Luca Scotton

# Consumi

Negli Stati Uniti gli edifici generano il 40% della CO<sub>2</sub> prodotta ogni anno.

Le finestre sono la parte meno efficiente dal punto di vista energetico dell'involucro edilizio.  
(ca. 30% di perdite)

→ solar & smart windows per migliorare l'efficienza energetica.

# Solar Window

Le finestre solari sono finestre con pannelli solari integrati. Come sono nate?

*1977-* celle solari negli otturatori

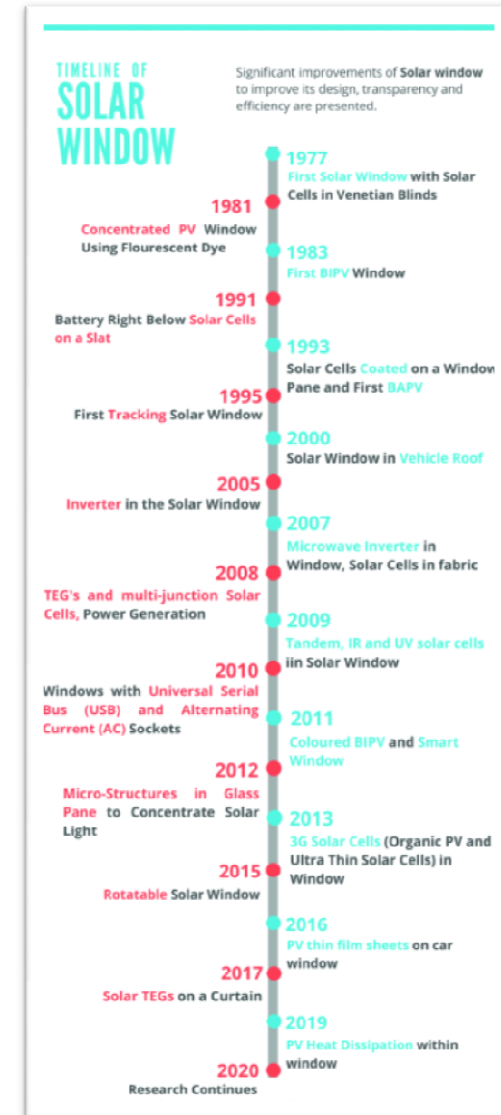
*1983-* celle solari sui vetri e inizio BIPV

*1993-* lastre di vetro munite di celle solari

*1995-* tracciamento dei raggi solari

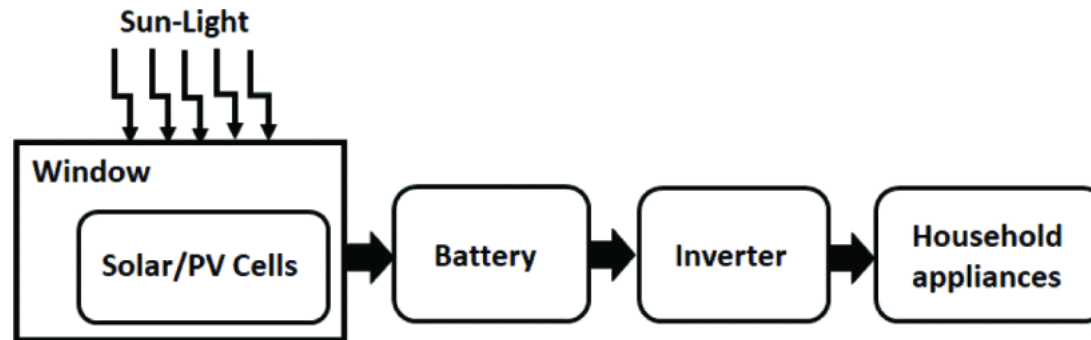
*2008-* celle multi giunzione

*2016-* applicazione nelle automobili

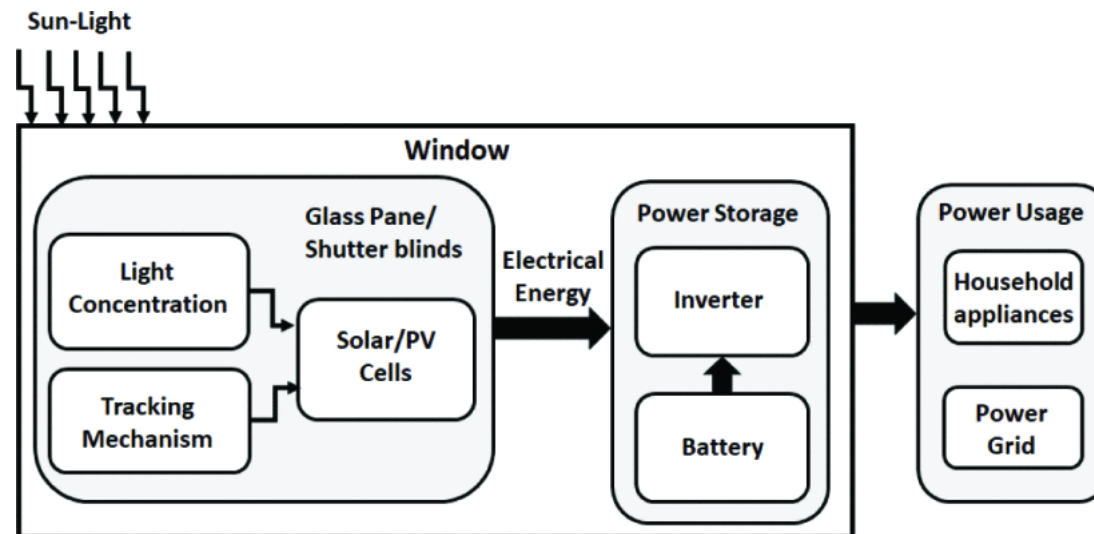


# Come funzionano

Schema delle prime finestre solari



Recenti finestre solari con sistemi di tracciamento e concentrazione della luce



# Trasparenza

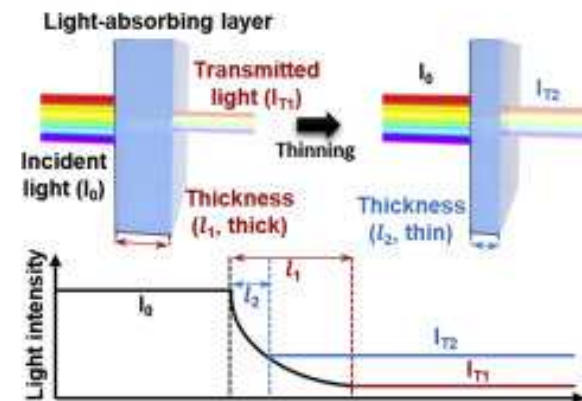
Conciliare passaggio della luce per l'illuminazione e per generare energia

Traslucenza → specchi diecrici e lenti paraboliche

Trasparenza → trasmissione selettiva della luce

La riduzione dello spessore consente la trasmissione della luce visibile: legge di Beer-Lambert

$$I_T = I_0 \times e^{-\beta l}$$

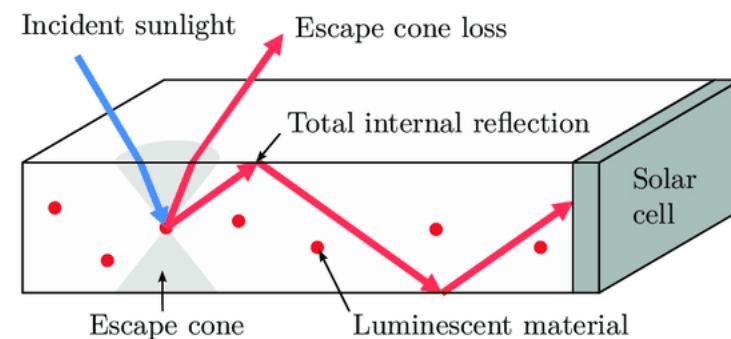


# Tecnologia LSC

Concentratori Solari Luminescenti: 2 pannelli trasparenti al cui interno ci sono pigmenti luminescenti che indirizzano le radiazioni verso le celle solari.

Assorbono ed emettono luce nella regione UV/NIR → AVT molto elevati superiori al 74%

(b) Cross-section of a conventional LSC



# Costi e rendimenti

Poche aziende li stanno producendo, sono lontani dall'essere commercialmente fattibili.

→ bassa efficienza

→ costi molto elevati

- Massima efficienza di conversione : 14,72%
- Trasparenza visibile controllata dal 40% al 75%
- Generazione fino a 30 W/m<sup>2</sup>

# Vantaggi

- Prestazioni ad angoli sfavorevoli
- Efficienza in condizioni di scarsa illuminazione
- Tolleranza al calore superiore
- Pannelli robusti
- Riduzione della temperatura interna
- Blocca le radiazioni ultraviolette
- Maggiore privacy



# Smart Window

L'uso del vetro intelligente aiuta a regolare la quantità di luce e di calore che entra in un edificio.

→ modificano la trasmissione della luce attraverso il cambiamento del materiale

La modulazione della trasmissione della luce può essere ottenuta da 2 tipi di tecnologie diverse: **passive** o **attive**.

# Tecnologie passive

Il cambiamento dello stato risulta da uno stimolo esterno che non può essere influenzato.

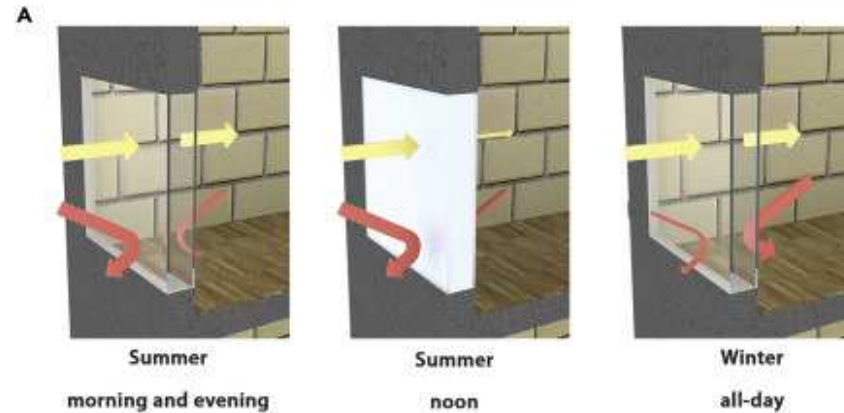
→ No regolazione esterna

I migliori esempi sono il vetro con rivestimenti **fotocromatici** o rivestimenti **termocromatici**.

# Idrogel

Liquido termoreattivo:

particelle di idrogel disperse in acqua tra i due vetri.



**LCST:** temperatura della soluzione critica

$t < LCST \rightarrow$  molecole d'acqua sono all'interno delle macromolecole di idrogel(PNIPAm), che conferiscono un'elevata trasparenza (idrofilo)

$t > LCST \rightarrow$  acqua rilasciata e PNIPAm si restringono causando dispersione (idrofobico)

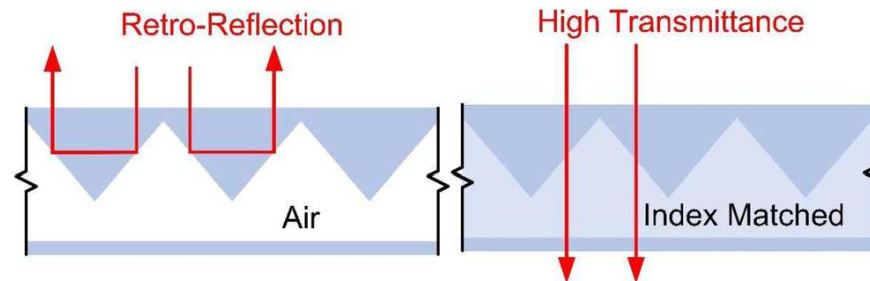
# Tecnologie attive: gas

Le finestre **gasocromiche** possono modificare la loro trasmittanza in presenza di gas, solitamente idrogeno diluito con qualche aggiunta di argon che induce la reazione di riduzione con conseguente colorazione.

La reazione inversa si ottiene con l'uso di  $O_2$ , che sbianca il film allo stato originale trasparente.

# Tecnologie attive: fluido

Il vetro **optofluidico** si basa sul principio della corrispondenza dell'indice di rifrazione.



- superficie ruvida fa sì che i raggi luminosi si riflettano e si diffondano, riducendo la trasmissione della luce.
- quando viene introdotto il fluido la trasmissività aumenta.

Modulazione trasmissività: 8-85%

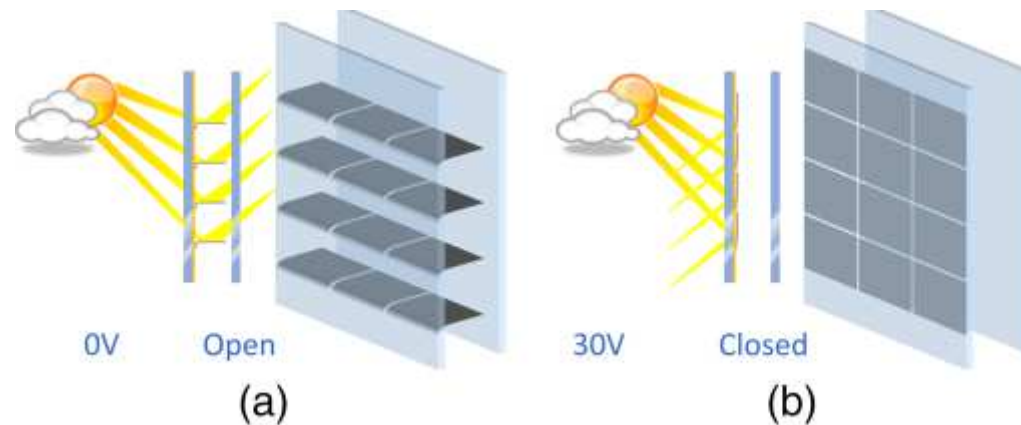


Esempio di vetro optofluidico: inizia opaco ma diventa trasparente quando viene riempito con fluido corrispondente all'indice.

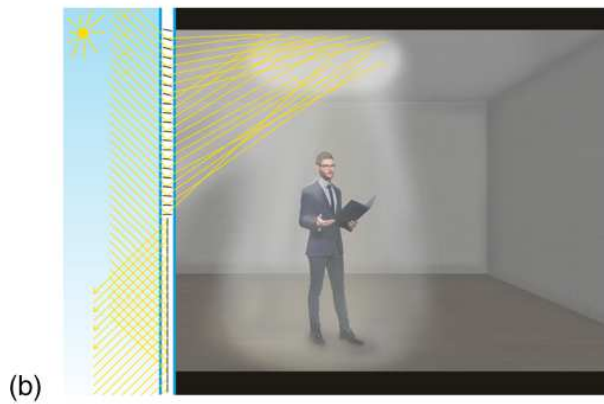
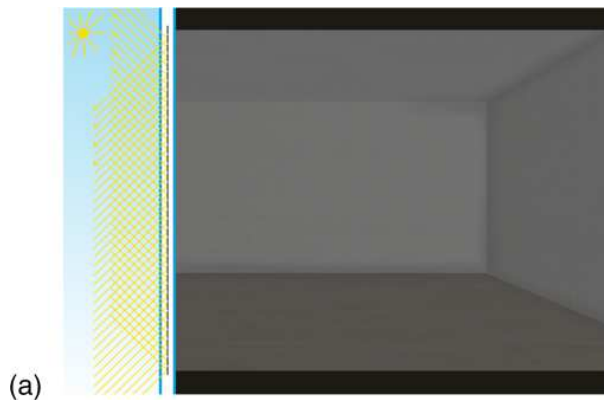
# Tecnologie attive: corrente elettrica (1)

- **MEMS**

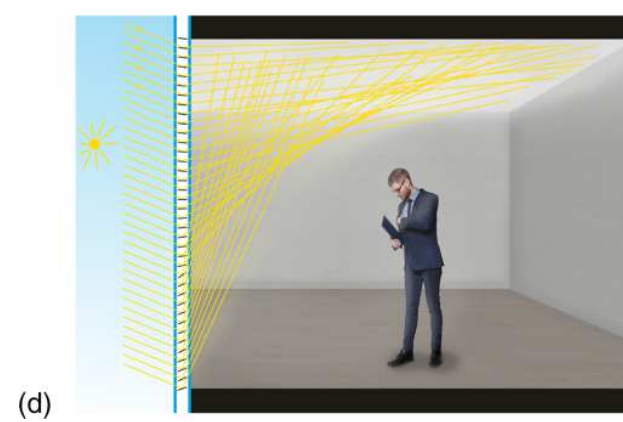
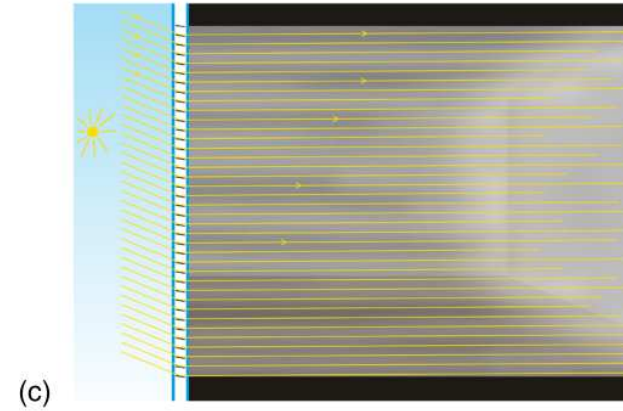
specchi micro-opto-elettromeccanici: dispositivi meccanici microscopici controllati elettronicamente per reindirizzare la luce.



# Scenari applicativi dei MEMS



estate



inverno



# Tecnologie attive: corrente elettrica (2)

- **Pellicole nanometriche rugose**

pellicola sottile nanometrica  $\text{TiO}_2$ , inserita tra polimeri conduttivi trasparenti, con rugosità superficiale regolabile elettricamente. (trasmissione: 3-93%)

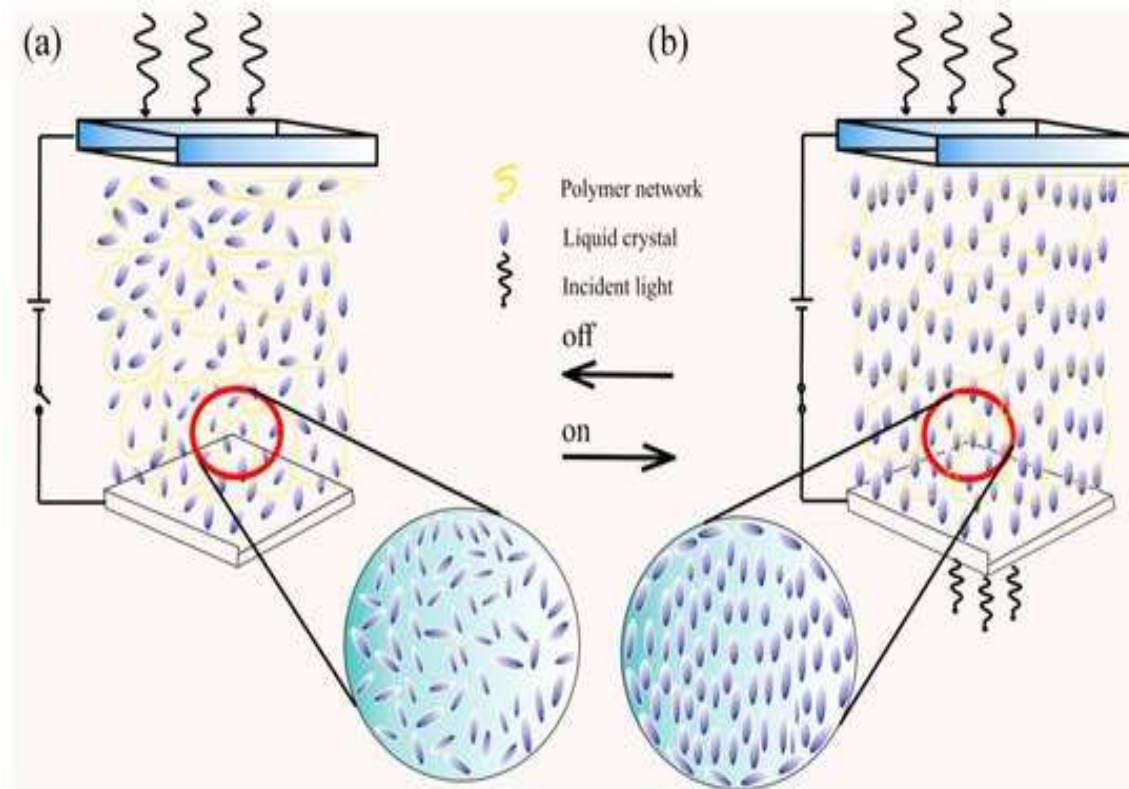
- **PDLC**

cristalli liquidi dispersi di polimeri inseriti tra due elettrodi conduttivi trasparenti

→ OFF: diffondono la luce perché i cristalli liquidi delle molecole sono disposti casualmente

→ ON: trasparenza quando viene applicata la tensione e i cristalli sono ordinati

# Esempio PDLC



# Tecnologie attive: corrente elettrica (3)

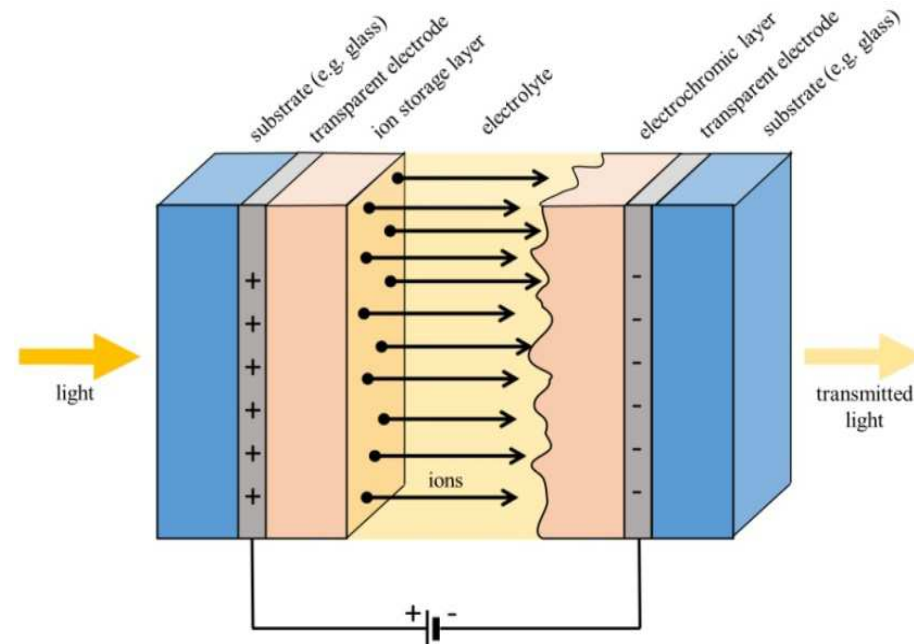
- **SPD**

dispositivi a particelle sospese funzionano secondo un principio simile al PDLC, ma invece dei cristalli liquidi utilizzano una sospensione di particelle fini e fortemente assorbenti. (0.5-80%)

- **ECD**

dispositivo elettrocromico funziona secondo il principio dell'intercalazione elettrochimica reversibile di ioni positivi.

# Esempio ECD



Quando viene applicata la corrente elettrica, gli ioni immagazzinati nel controelettrodo (stato sbiancato) migrano attraverso l'elettrolita all'elettrodo elettrocromico, determinando la colorazione (stato colorato).

# Vantaggi

- Risparmio energetico fino al 30% per tecnologie passive e fino al 60% per tecnologie attive
- Occupano lo stesso spazio delle normali finestre
- Non è più necessario l'uso di schermature solari
- Miglioramento isolamento termico della struttura
- Protegge da raggi UV
- Ciclo di vita è più di 20 anni
- Le tecnologie attive possono essere attivate o disattivate quando si vuole con rapidi tempi di risposta