

## il vetro



### **vetro**

**prodotto di fusione inorganico, soluzione solida o fluido solidificato poiché il materiale, attraverso una tecnica di raffreddamento controllato passa dallo stato fluido a quello solido senza cristallizzazione**

**le molecole, disposte in modo completamente disordinato, non formano alcun reticolo cristallino, pertanto il materiale risulta trasparente**

#### **composizione e caratteristiche principali:**

**vetrificante (silice,  $\text{SiO}_2$  – 69/74%)**

**fondente (ossido di sodio,  $\text{Na}_2\text{O}$ , 12/16%)**

**stabilizzante (calce,  $\text{CaO}$  5/12%)**

**altri ossidi (allumina, magnesio 3%) per migliorare le proprietà fisiche**

come si è visto, nello studio dei sistemi solari passivi, un ruolo di notevole importanza è giocato in essi dalla forma, dalla struttura, dagli accessori e dalla disposizione delle vetrate nell'edificio

Complesso residenziale, Lenzburg, Svizzera,  
Metron Architekturbüro AG, 1994

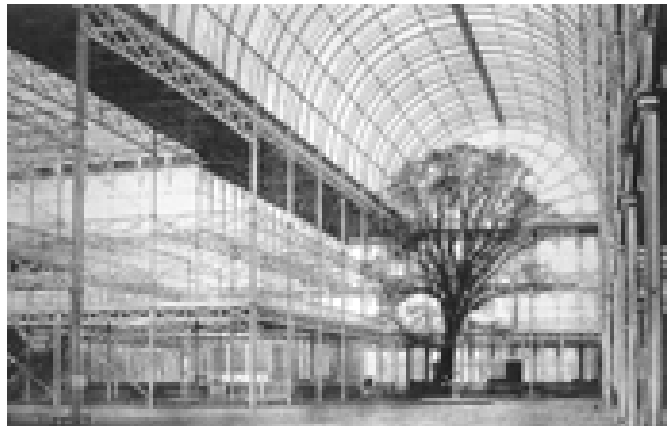


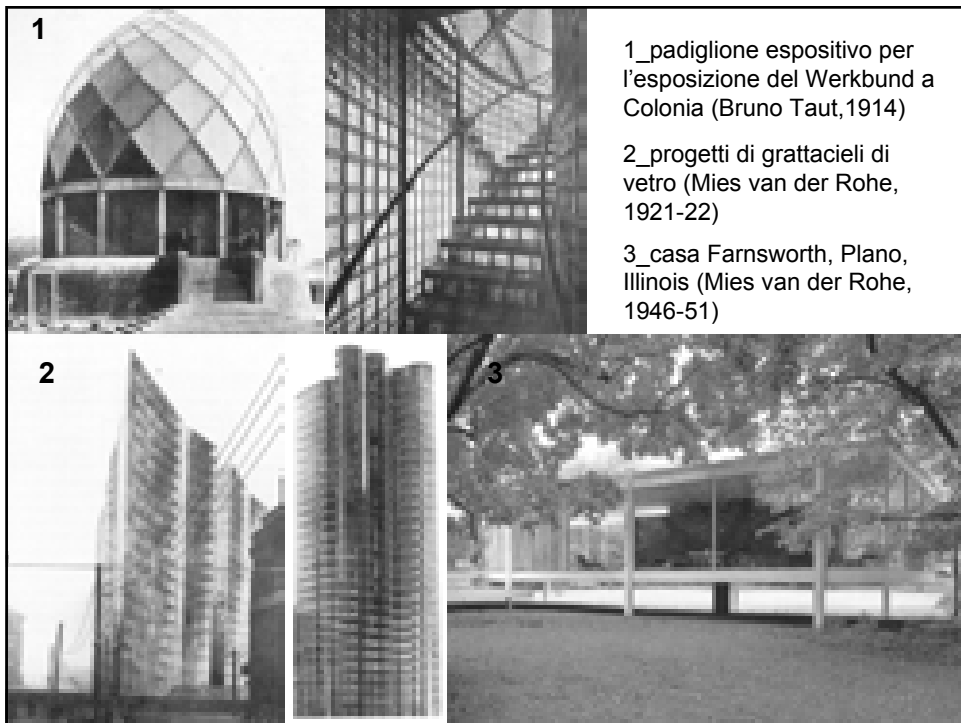
facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

2

**l'architettura, da tempo, deve confrontarsi con le caratteristiche del vetro e ancor più dopo lo sviluppo delle facciate a "curtain wall" che non nascono per lo sfruttamento dell'energia solare ma conoscono ben presto gli inconvenienti di un eccessivo surriscaldamento e di una troppo grande dispersione del calore**

Crystal  
Palace  
(J. Paxton,  
1851)





1

1\_ padiglione espositivo per l'esposizione del Werkbund a Colonia (Bruno Taut, 1914)

2\_ progetti di grattacieli di vetro (Mies van der Rohe, 1921-22)

3\_ casa Farnsworth, Plano, Illinois (Mies van der Rohe, 1946-51)

2

3

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
 corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

3



Hotel Industriel Berliet a Parigi (D. Perrault)

Museo delle Scienze e dell'Industria, Parco della Villette a Parigi (Studio RFR, 1983-86)

Piramide del Grand Louvre a Parigi (I. Pei & Partners)

Sede della Willis Faber & Dumas a Ipswich (Foster Associates)

**proprio nell'ambito dello studio sulle facciate continue si sviluppano soluzioni come quelle dei doppi vetri, delle vetrate ventilate (costituite da due strati separati da un' intercapedine con bocchette di ventilazione), o ancora come quelle legate all'utilizzo di vetri di tipo speciale**



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**4**

## **vetri speciali**

**se per il riscaldamento passivo invernale l'effetto serra è essenziale come elemento positivo, durante la stagione estiva le vetrate presentano ovvi problemi legati proprio a tale effetto**

**il vetro poi è interessato anche dagli scambi di calore per conduzione, convezione e irraggiamento, dovuti alla differenza di temperatura tra aria interna ed esterna**

**tali differenze sono piuttosto elevate dato l'esile spessore delle lastre e possono eliminare i vantaggi del calore accumulato di giorno, durante le fredde notti invernali**

**per questi motivi occorre intervenire con sistemi di schermatura, siano essi utili per una protezione dal sole o per un opportuno isolamento, i quali rappresentano le soluzioni più “tradizionali” nell’ambito dell’architettura solare passiva ma possono comportare problemi di vario genere (impossibilità di sfruttare la luce naturale, difficoltà di messa in opera, ecc...)**

**oggi l’innovazione tecnologica e la ricerca hanno comportato la produzione di vetri speciali che, con qualche difficoltà, cominciano ad imporsi sul mercato**

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**5**

### **vetri colorati in pasta, vetri riflettenti**

**i vetri colorati sono ottenuti con aggiunte di sostanze coloranti al vetro fuso (ossidi metallici, principalmente ferro, cobalto, cromo vanadio e rame, anche oro e argento), i vetri riflettenti sono ottenuti con ossidi metallici depositati in strati molecolari sulla loro superficie**

**hanno un’importanza sia legata al controllo della luce (evitare abbagliamento) che a quello dell’energia termica**

**sia i vetri colorati che quelli riflettenti vengono impiegati allo scopo di intercettare buona parte dell’irraggiamento solare onde ridurre gli apporti energetici quando essi siano eccessivi**

**la riduzione degli apporti energetici è piuttosto rilevante, nei vetri colorati e valori ancora più spinti si possono ottenere con lastre riflettenti**

**il rapporto tra energia totale che passa per un certo vetro e energia che passa attraverso la finestra aperta è compreso tra il 50 e il 70% per i vetri colorati in pasta**

**gli stessi prodotti stratificati o posti in vetrocamera e opportunamente combinati tra loro possono dar luogo ad un'elevata gamma di tipologie con varie risposte energetiche alla radiazione solare**



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**6**

## **vetri basso-emissivi**

**quella solare non è l'unica radiazione che interessa il materiale vetro**

**esiste anche una "radiazione puramente termica" legata al fenomeno di emissione da parte di tutti i corpi di energia ad onde lunghe più di 3-4 micrometri**

**tale energia è soggetta ad interscambi tra corpi a diversa temperatura al fine di ottenere l'equilibrio termico**

**il vetro singolo proprio in funzione delle sue capacità di assorbimento e di emissione dell'energia puramente termica risulta come un corpo freddo, se confinante con l'esterno nel periodo invernale, ed è dunque un elemento negativo nel bilancio termico di un ambiente**

già da alcuni decenni le industrie forniscono vetrate isolanti composte da due lastre di vetro racchiudenti un'intercapedine di aria disidratata

la lastra più interna delle due ha una temperatura più alta e permette un interscambio radiativo meno sfavorevole

la ricerca scientifica e l'industria sono riuscite a produrre, con complessi processi tecnologici, vetri a bassa emissività con un deposito superficiale in grado di "riflettere" proprio la radiazione puramente termica con vantaggi notevoli e una rilevante riduzione della trasmittanza del vetro

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

7

**alcune specificazioni ...**

**i vetri trasmettono calore per conduzione, convezione o irraggiamento**

**conduzione**

la conducibilità termica dei vetri è

$\lambda=1.0 \text{ W/mK}$

(quella dell'alluminio 210 e dell'aria in quiete 0.026)

la quantità di energia trasferita per conduzione è

$$q = -\lambda \frac{dT(x)}{dx}$$

con dT = differenza di temperatura tra le due facce e  
dx=spessore della lastra

### convezione

i coefficienti di scambio termico  $h_e$  e  $h_i$  esterno e interno dipendono dalla velocità del vento, dalla temperatura e dall'emissività,

valori standard sono:

$$h_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$$



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

8

### irraggiamento

il calore trasferito per irraggiamento tra due corpi a differente temperatura dipende dall'emissività che normalmente nel vetro è pari a 0.89 ma può scendere a 0.1 (vetri a bassa emissività)

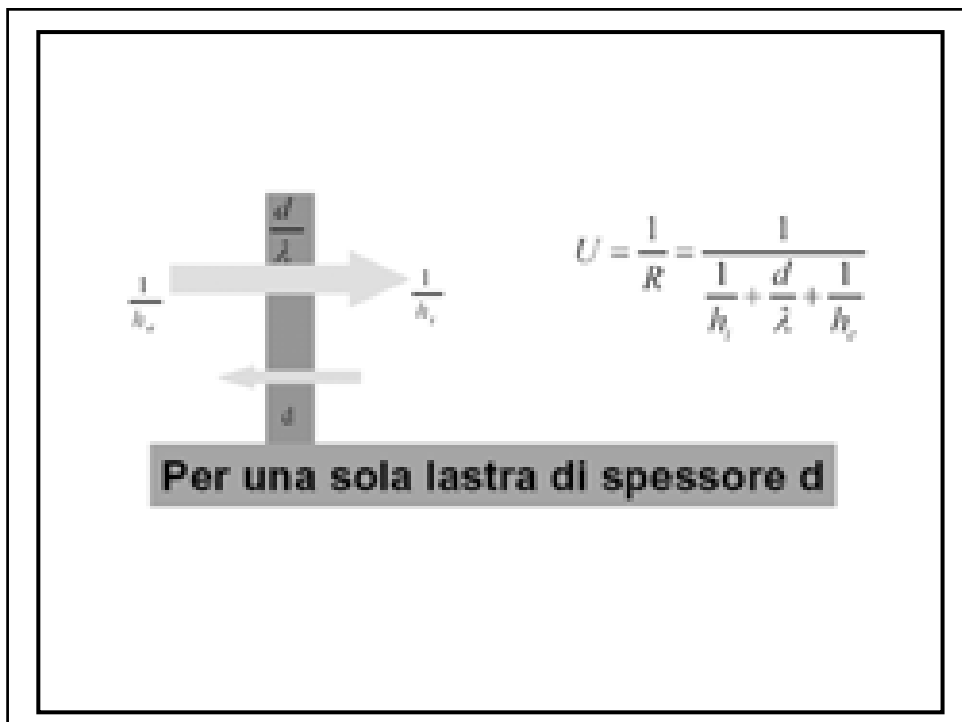
trasmittanza termica rappresenta il flusso di calore che passa attraverso un mq di superficie per ogni grado (K) di differenza tra le due superfici

la quantità di calore scambiata dipende dalla relazione

$$Q = U \Delta T = \frac{1}{R} \Delta T$$

$R$  è nota come resistenza termica



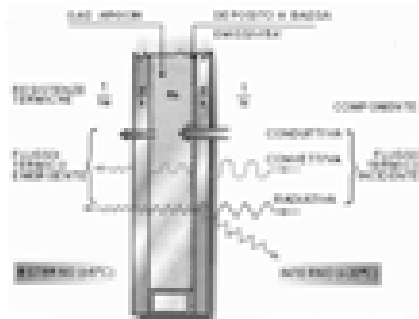


facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
 corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

9

TIPO	SPESSORE	U (W/m <sup>2</sup> K)
Vetro semplice	Lastra: 4 mm	5.9
Vetro semplice	Lastra: 10 mm	5.7
Vetro con intercapedine	2 lastre: 4 mm Intercap.: 6 mm	3.3
Vetro con intercapedine	2 lastre: 4 mm Intercap.: 12 mm	2.9

Per due lastre di spessore  $d_1$  e  $d_2$   
con intercapedine.



$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_2 + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_2}}$$



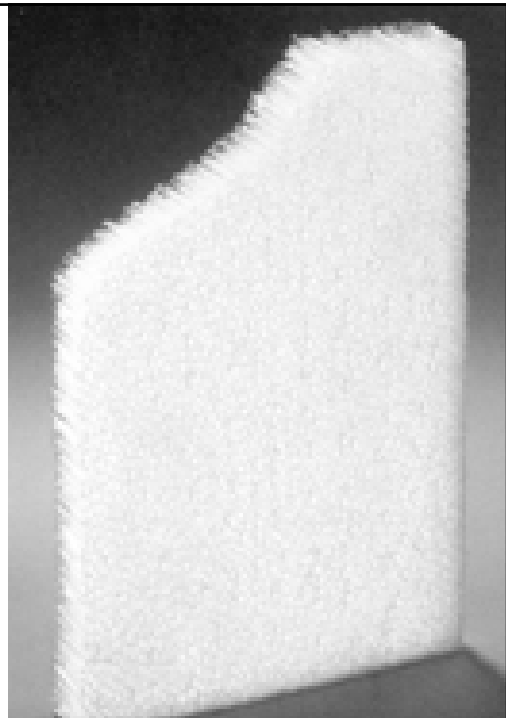
facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

10

## vetri TIM

negli ultimi anni sono stati condotti molti studi su una nuova classe di materiali in grado di combinare proprietà di alta trasmissione della radiazione solare con ottime prestazioni termiche

tali materiali definiti TIM (Transparent Insulation Materials) presentano capacità isolanti pari a quelle delle fibre di vetro e un coefficiente di trasmissione solare paragonabile a quello di una vetrocamera





Okalux  
Kapillarglas GmbH  
TWD-  
Fassadensysteme  
Kapilux, Kapilux

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

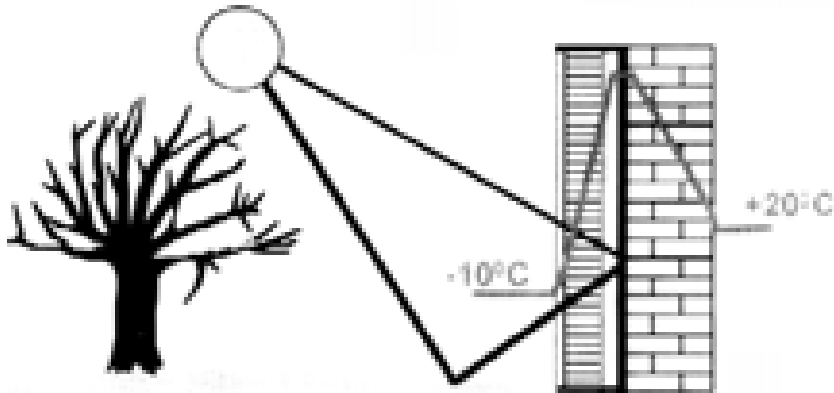
11

si distinguono due categorie di TIM: gli aerogel omogenei o granulari di natura inorganica e i policarbonati o polimetilmetacrilati a struttura a nido d'ape di natura organica

gli aerogel omogenei o granulari sono a struttura porosa ed igroscopici, richiedono quindi opportuni rivestimenti; questi materiali hanno un coefficiente di trasmissione solare superiore all'80% e un coefficiente di trasmissione termica molto basso variabile a seconda del procedimento di preparazione e dello spessore

le strutture a nido d'ape sono realizzate con una serie di fibre in materiale plastico - ma, in recenti sperimentazioni, anche vitreo - ed hanno ottime possibilità di trasmissione della luce (90% per incidenza normale) e di isolamento termico

**i TIM possono essere impiegati in soluzioni solari passive di vario tipo: come componenti trasparenti, in sistemi a guadagno diretto, oppure, accoppiati ad elementi opachi di accumulo, in sistemi a guadagno indiretto**



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**12**

**bisogna tuttavia considerare che i TIM possono portare ad un buon comfort luminoso, legato anche al loro comportamento diffondente, ma essi non consentono la visione**

**perché questa sia possibile occorrerà utilizzare vetri normali (o vetrocamere) che potranno essere ridotti in dimensione perché ridotta sarà la loro funzione specifica al solo lasciar vedere**

**l'utilizzo combinato di diverse soluzioni può provocare fenomeni di abbagliamento e contrasti luminosi tra luce diretta e luce diffusa; per evitare questi effetti si stanno sperimentando sistemi di schermatura**



T. Herzog,  
Hostel for Youth  
Educational Institute,  
Windberg, Germania

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**13**

**un progetto interessante nel campo dell'applicazione dei materiali isolanti trasparenti ad edifici preesistenti è rappresentato dalla ristrutturazione di una serie di case a schiera a due piani a Sonnenackerweg-Friburgo del dicembre 1989**



**le case risalenti al 1958-59 sono composte da 8 unità abitative di 50 metri quadrati ciascuna**

**le operazioni di risanamento hanno comportato l'applicazione di 10 centimetri di spessore di materiale isolante trasparente (policarbonato con struttura a nido d'ape) sulle facciate Sud-Est e Sud-Ovest**

**i vetri chiari singoli della precedente struttura sono stati sostituiti con vetrate isolate con incorporate persiane avvolgibili azionate da celle fotovoltaiche**

**le facciate Nord-Ovest e Nord-Est sono state isolate con materiale opaco**

**il risultato, per quanto riguarda la captazione di energia solare e di luce naturale, è stato ottimo e le prestazioni, legate anche solo all'isolamento termico, paragonabili con quelle ottenute con sistemi tradizionali opachi in edifici simili (realizzati nella stessa località) che non hanno ottenuto però giovamento dall'apporto solare**

**il fabbisogno energetico annuo è stato ridotto dell'80% circa rispetto alle condizioni iniziali**

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**14**

## **vetri a trasparenza variabile**

**accanto a quelle fin qui viste e a quelle di cui si è già parlato in altre lezioni vi è un'altra classe di materiali trasparenti**

**che hanno la proprietà di subire cambiamenti in funzione delle condizioni esterne**

**sono i vetri cromogenici che attraverso vari sistemi, possono rispondere ai cambiamenti della radiazione solare con sorprendenti risultati dal punto di vista termico e della luminosità interna degli ambienti nei quali vengono applicati**

**i sistemi a trasparenza variabile sono tuttora in fase di perfezionamento ed hanno costi ancora troppo elevati per una loro larga diffusione in architettura**

**tuttavia essi si collocano in un ambito della ricerca molto promettente**

**i materiali cromogenici si possono suddividere in due categorie**

**-quella dei dispositivi attivati elettronicamente, nella quale troviamo i dispositivi a cristalli liquidi e i dispositivi elettrocromici**

**-quella dei dispositivi non attivati elettronicamente, nella quale sono compresi i materiali termocromici e fotocromici**

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

**15**

### **i dispositivi a cristalli liquidi**

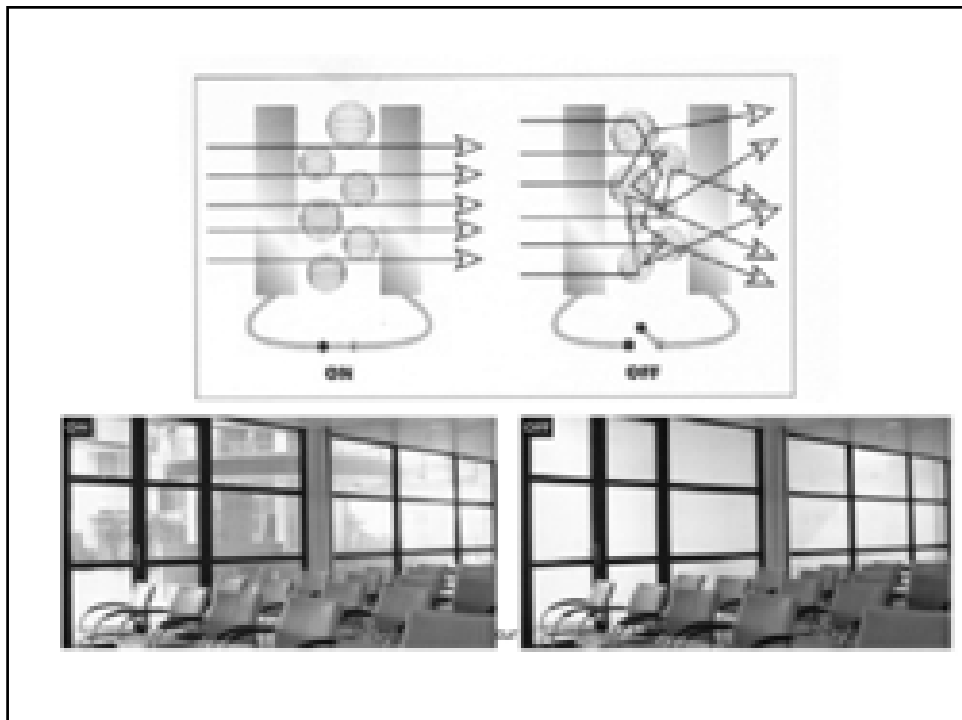
**sono composti da particelle di cristalli liquidi incapsulate in una matrice polimerica**

**uno strato di materiale così fatto viene inserito tra due elettrodi trasparenti**

**quando viene applicato tramite essi un voltaggio sufficientemente alto le molecole di cristalli liquidi assumono un determinato orientamento e il materiale è trasparente**

**nello stato non attivato le molecole sono casualmente disposte, la luce incidente è diffusa e il materiale risulta di colorazione lattea**

**test sulla durabilità degli effetti dei dispositivi a cristalli liquidi hanno mostrato l'insorgere di fenomeni legati al rilassamento delle molecole per cui sono necessari ulteriori studi e verifiche**



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
 corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

16

### gli elettrocromici

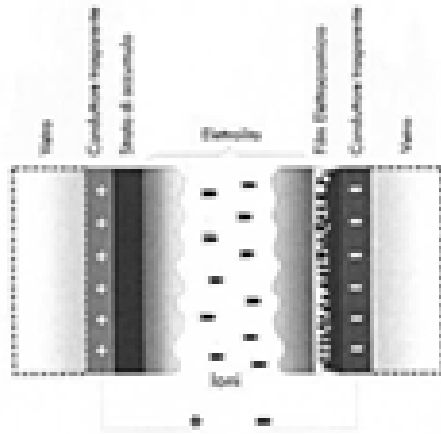
**sono dispositivi dove il cambiamento delle proprietà è da attribuirsi all'inserimento e all'estrazione di ioni mobili: quando si attiva un campo elettrico gli ioni introdotti generano composti colorati che modificano la colorazione del materiale**

**tali sistemi sono composti da cinque strati di cui il centrale è un conduttore di ioni ed è compreso tra un film elettrochimico e uno strato di accumulo di elettroni; i due strati esterni sono conduttori trasparenti; l'accumulo di elettroni ed il conduttore possono essere incorporati in un unico strato**



quando si applica una differenza di potenziale elettrico tra i conduttori trasparenti gli ioni, estratti dallo strato di accumulo, passano attraverso il conduttore e sono inseriti nello strato elettrochimico modificandone le proprietà ottiche

la modifica dello strato elettrochimico avviene in funzione dell'input elettronico impresso dunque si possono ottenere diverse colorazioni e diverse trasparenze e capacità di trasmissione luminosa e solare



facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

17

i materiali termocromici modificano le proprietà ottiche in funzione di una differenza di temperatura che altera il loro equilibrio molecolare e li può far diventare opachi

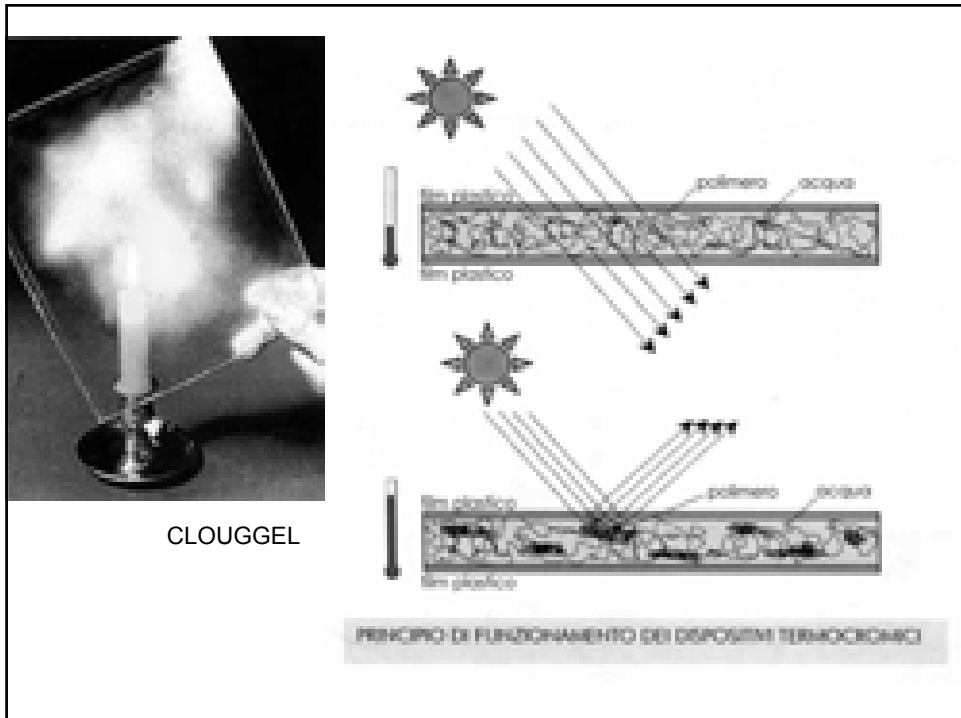
ne sono di vari tipi ciascuno con specifiche modalità di trasformazione, tra essi si possono ricordare: l'ossido di vanadio, il TALD, il Cloud Gel, quest'ultimo già inventato nel 1970

per alcuni di essi si può variare la temperatura di inizio reazione attraverso particolari additivi

questi prodotti sono particolarmente adatti per tutte quelle applicazioni in cui sia richiesta la schermatura dalla radiazione solare e la prevenzione del surriscaldamento

anche allo stato opaco permettono comunque una discreta illuminazione ma presentano il problema di non fornire mai - neanche allo stato chiaro - una visione nitida

si può pensare ad una loro applicazione nei sistemi solari passivi



CLOUGGEL

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEI DISPOSITIVI TERMOCROMICI

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
 corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

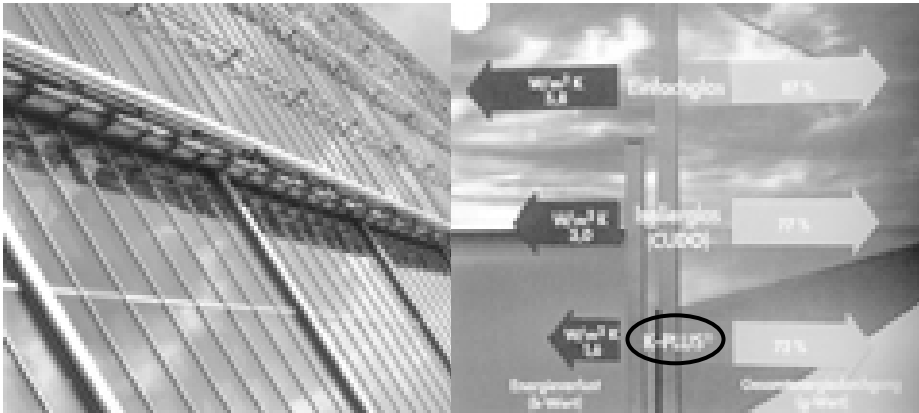
18

simili ai termocromici sono i **materiali fotocromici** i quali variano però in funzione dell'intensità luminosa dell'energia incidente

un inconveniente che ne limita in generale l'applicazione e praticamente la esclude nei sistemi solari passivi è il fatto che essi diventano assorbenti anziché riflettenti quando aumenta l'apporto di radiazione incidente

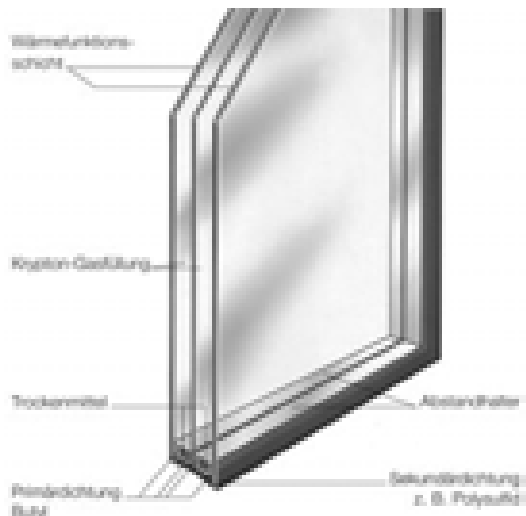
fatta eccezione per questi ultimi dispositivi - ai quali si è fatto cenno solo per completare l'excursus sui materiali a trasparenza variabile - tutte le altre soluzioni viste, per i materiali trasparenti, offrono un quadro delle innovazioni tecnologiche che possono riguardare il campo dell'architettura bioclimatica

tra i vetri in più strati (2,3) e con filtri speciali, che permettono un buon isolamento e contemporaneamente una buona permeabilità dell'energia solare, si possono ricordare il K-Plus della Flachglas Ag, o i prodotti Vegla come il Climaplust, il Climaplust 5 o il Climatop, che fanno anche uso di sottili rivestimenti metallici

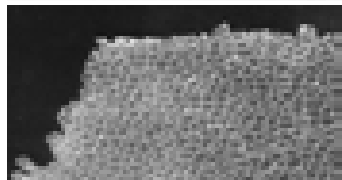
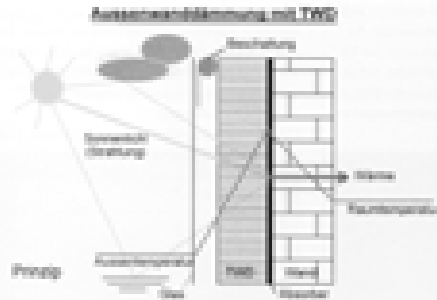


facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
 corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

sempre in più strati è il vetro “supercaldo” Implus 3CS della Interpane il quale combina l'uso di 3 lastre (separate da intercapedini con gas ecocompatibile) con quello di rivestimenti a bassa emissività



tra i sistemi traslucidi, tipo TIM, utilizzabili anche accoppiati ad elementi murari per la realizzazione di muri solari, vi sono ad esempio i prodotti della Okalux Kapillarglas GmbH o quelli della Ernst Schweizer Ag



Ernst  
Schweizer  
Ag

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**

tra i vetri a trasparenza variabile si possono ricordare quelli elettrocromici e termocromici della Fraunhofer il cui funzionamento, basato su più strati di materiali sovrapposti, è in linea di massima quello precedentemente descritto per queste due categorie di materiali trasparenti

altre ditte che hanno un'interessante produzione sono la PPG Industries, che produce vetri colorati e basso emissivi, e la Cricursa Cristales Curvados S.A., che produce vetri stratificati che evitano il surriscaldamento degli ambienti

ancora: Pilkington, Saint-Gobain

chiaramente questi non sono che alcuni esempi di prodotti e ditte presenti in un mercato che in questi ultimi anni sta conoscendo uno sviluppo notevole e nel quale si può sperare che una maggiore domanda riduca i costi generalmente ancora piuttosto alti date le spese di ricerca e la complessità dei processi di realizzazione

... alcuni riferimenti bibliografici:

***Glass Construction Manual*. Birkhäuser. Edition Detail.**

**Rondoni Adriano. “Controllare luce e calore”.  
*Vetrospazio*. n. 28 (1993).**

**Swanson John. “Vetrate come punti di forza”.  
*Vetrospazio*. n. 30 (1993).**

**Atti Quarta Conferenza Europea. *Solar Energy in  
Architecture and Urban Planning*, 26-29 marzo 1996,  
Haus der Kulturen der Welt, Berlino**

***Vetri ed energia solare*. Lezione a cura di Daniela Diso,  
11.05.2004**

**AA.VV. (a cura di Thomas Herzog). *Solar Energy in  
Architecture and Urban Planning*. Munich, Prestel, 1996.**

**Saint Gobain. *Manuale tecnico del vetro***

facoltà di architettura di genova\_docente\_andrea giachetta  
corso di progettazione bioclimatica - **modulo: tecnologie bioclimatiche**