

Nelle nazioni industrializzate la quota più rilevante di energia primaria viene utilizzata in edilizia per la climatizzazione e l'illuminazione degli edifici. La consapevolezza della necessità, da un punto di vista economico e soprattutto ambientale, di un uso razionale dell'energia e di un maggiore risparmio energetico ha spinto molti Paesi a finanziare programmi di ricerca volti a sviluppare nuovi componenti e sistemi per l'involucro edilizio. L'interesse maggiore si è concentrato, in particolare, sulla componente trasparente dell'involucro, proprio perchè considerata parte debole, spesso incidente in modo sfavorevole sul rendimento energetico globale dell'edificio. Dall'intenso lavoro di ricerca e sperimentazione, condotto a livello nazionale ed internazionale, sono nate nuove tecnologie per le superfici trasparenti, in grado di trasformare il componente finestra da elemento debole a punto di forza, conferendogli caratteristiche prestazionali equivalenti o superiori al componente di involucro opaco. Tali tecnologie innovative possono essere classificate essenzialmente nelle seguenti categorie:



- vetrate contenenti dispositivi cromogenici dalle prestazioni variabili (a cristalli liquidi, elettrocromici, termocromici e fotocromici);
- superfici costituite da materiali trasparenti sintetici ad alta capacità isolante (aerogels granulari ed omogenei, strutture capillari e a nido d'ape).

I materiali trasparenti cromogenici

Il poter disporre di un materiale trasparente in grado di rispondere automaticamente agli stimoli dell'ambiente circostante modificando le sue prestazioni è stato da sempre il sogno dei progettisti.

Le prime ricerche esplorative nel dominio della trasparenza variabile risalgono alla fine dell'anno 1870, ma è solo recentemente che il termine "cromogenics" è stato intro-

dotto dagli studiosi Lampert e Granqvist al fine di designare la scienza che studia i materiali in grado di cambiare le proprie caratteristiche ottiche in risposta ad uno stimolo esterno.

L'adozione di questa tecnologia in campo edilizio consente di creare un involucro trasparente a prestazioni variabili (smart window) in grado di ottimizzare i consumi energetici e di soddisfare al tempo stesso le più sofisticate esigenze

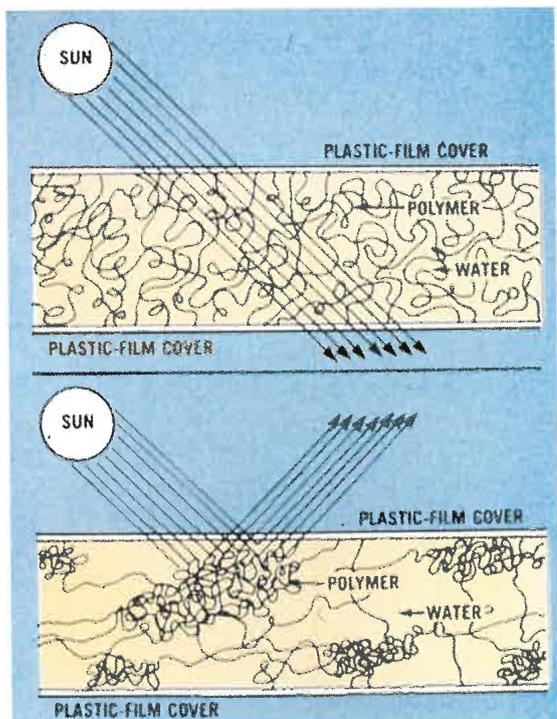
A TRASPARENZA VARIABILE

V. Serra, L. D'Adderio, M. Filippi
Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino

Un impulso elettrico, una variazione di calore o di energia solare incidente e il vetro cambia tipo di trasparenza e calore. Questo è quanto ci promette la ricerca. Volta soprattutto a risolvere i problemi di costo (due, tre milioni al mq) che rendono impossibile, oggi, un diffuso utilizzo in architettura. Le potenzialità sono comunque molto allettanti.

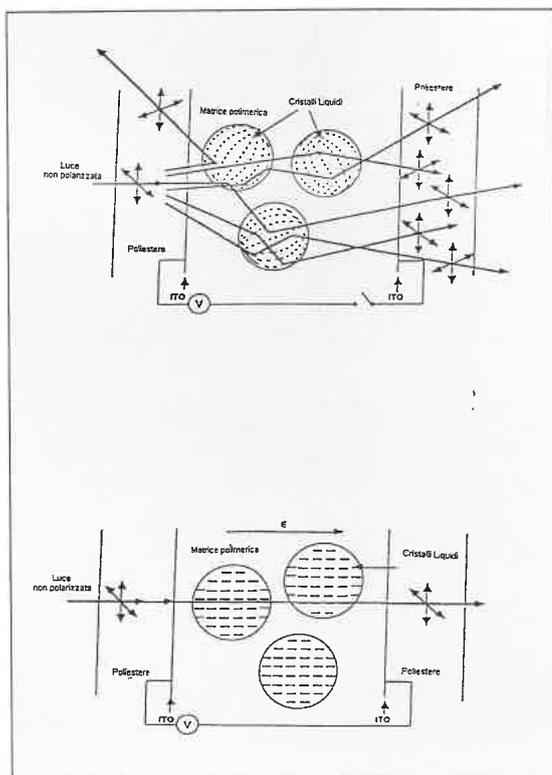


Cristalli termocromici, si noti la reazione del "cloud Gel" alla variazione di temperatura.



Principio di funzionamento dei termocromici.

Schema di funzionamento di un dispositivo a cristalli liquidi nello stato disattivato (sopra) e attivato (sotto).



di comfort richieste dall'utenza; tramite un controllo continuo e programmato dei flussi di luce e di energia solare è possibile, infatti, diminuire in maniera rilevante i costi per l'illuminazione artificiale e il condizionamento.

Affinchè sia facilitata la diffusione di questi materiali è tuttavia necessario compiere alcuni passi fondamentali in direzione sia del perfezionamento delle prestazioni dei materiali, in termini di miglioramento delle caratteristiche ottiche e termiche, delle caratteristiche elettriche, del comportamento fotometrico e della durabilità, sia del

perfezionamento dei sistemi tecnologici, al fine di consentire un ottimale inserimento delle nuove tecnologie all'interno dell'involucro edilizio, rispettandone i canoni di fruibilità ed accettabilità estetica.

A queste difficoltà di ordine tecnico e applicativo si aggiungono problemi di ordine economico dato l'elevato costo dei materiali (non inferiore ai due o tre milioni/m²).

Dal punto di vista fisico-chimico un materiale trasparente cromogenico è caratterizzato dalla capacità di variare in modo consistente le proprietà ottiche in relazione alla variazione di un campo elettrico o di un carico elettrico o della temperatura o dell'intensità e distribuzione spettrale della luce.

Tale cambiamento nelle proprietà ottiche può essere rappresentato da una trasformazione nello stato del materiale da altamente trasmissiva a parzialmente riflettente o assorbente su tutto lo spettro o solo nel campo del solare o del visibile.

I materiali cromogenici possono essere suddivisi in due categorie: dispositivi elettricamente e non elettricamente attivati.

Nella categoria dei dispositivi attivati elettricamente troviamo i dispositivi a cristalli liquidi e i dispositivi elettrocromici; nella categoria dei dispositivi non attivati elettricamente sono compresi i

materiali termocromici e fotocromici. La prima categoria di materiali consente la regolazione da parte dell'utenza, mentre la seconda è auto-regolante.

I dispositivi a cristalli liquidi

Configurazione stratigrafica e principio di funzionamento

Un dispositivo a cristalli liquidi polimerici dispersi (PDLC) è composto da particelle di cristalli liquidi (la cui dimensione è nell'ordine del micrometro) incapsulate in una matrice polimerica. Uno strato di questo materiale viene inserito tra due elettrodi trasparenti di poliestere rivestito con coating di ossido di indio (ITO).

Il meccanismo di base consiste nell'applicazione di un campo elettrico tra i due elettrodi trasparenti.

Nello stato non attivato le molecole di cristalli liquidi sono casualmente orientate per cui la luce incidente risulta diffusa, a causa del mancato allineamento tra le particelle ed il mezzo circostante. Il materiale assume di conseguenza una colorazione latte.

Quando viene applicato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole disperse vengono orientate in direzione del campo elettrico inserito per cui la luce incidente in modo normale alla superficie non viene intercettata e rifratta ed il materiale si conserva trasparente.

Le proprietà

Variando l'orientamento delle molecole di cristalli liquidi all'interno del dispositivo è possibile variarne le caratteristiche ottiche.

La somma dei valori di trasmissione e riflessione risulta sempre inferiore al 100% per due motivi:

- nello stato diffuso, ed in modo minore nello stato chiaro, una parte della radiazione incidente rimane totalmente riflessa all'interno del campione e fuoriesce dalle parti estreme di questo per cui non viene registrata né nelle configurazioni di trasmissione né in quelle di riflessione;
- una parte della radiazione trasmessa viene assorbita dal film ITO ed in parte dallo strato contenente i cristalli liquidi.

Test di durabilità effettuati su una serie di campioni di dispositivi a cristalli liquidi hanno evidenziato l'insorgere di un fenomeno legato all'incompleto rilassamento delle molecole di cristalli liquidi all'interno dei pori del materiale sottoposto a numerosi cicli elettrici.

In seguito all'esposizione dei campioni all'azione di un simulatore UV si è inoltre riscontrato una drastica diminuzione della modulazione della trasmissione tra gli stati attivato e disattivato; tale problema può essere corretto tramite l'inserimento di un filtro in grado di bloccare la radiazione con lunghezza d'onda inferiore a 385nm.

I risultati indicano che sono necessari studi ulteriori per migliorare la stabilità del materiale a lungo termine.

Le applicazioni in architettura

L'applicazione dei vetri a cristalli liquidi in architettura riguarda in modo particolare gli spazi interni, in cui il materiale trasparente può svolgere il ruolo di pregiato elemento di arredo e di separazione tra spazi che ospitano attività compatibili, che necessitano tuttavia di essere articolate in differenti aree funzionali.

Un esempio interessante in questa direzione è rappresentato dalla distribuzione spaziale interna degli edifici adibiti al terziario. Negli uffici, in particolare, si assiste alla progressiva sostituzione della tipologia "open space", resa meno desiderabile a causa della mancanza di privacy e dei problemi causati dalla compresenza di numerose attività, con la tipologia ad "isole" ossia a zone separate tra loro tramite diaframmi fissi o mobili.

Se però da un lato la tipologia a zone è efficace a risolvere il problema della privacy, dall'altro, creando degli spazi racchiusi, può ridurre in modo drastico la possibilità di sfruttare la luce naturale, elemento di fondamentale importanza al fine di mantenere un ambiente lavorativo gradevole ed efficiente.

I vetri con dispositivi a cristalli liquidi costituiscono in questo senso una importante innovazione poichè hanno la capacità di essere opachi o trasparenti, consentendo così la privacy e mantenendo allo stesso tempo in entrambi gli stati un'alta trasmissione luminosa. Queste caratteristiche li rendono inoltre adatti ad ulteriori applicazioni, come per aree di self-banking, quali il Bancomat, in cui i cristalli liquidi diventano opachi nel momento in cui viene infilata la carta per il prelievo e digitato il codice segreto, proteggendo l'operatore da sguardi indiscreti, e ritornano completamente trasparenti a transazione avvenuta.

Gli elettrocromici

Configurazione stratigrafica e principio di funzionamento

Un dispositivo elettrocromico è in grado di modificare le sue proprietà ottiche in modo persistente e reversibile in seguito all'applicazione di un impulso elettrico.

In un materiale elettrocromico il cambiamento delle proprietà è da attribuirsi all'inserimento o all'estrazione di ioni mobili: quando il campo elettrico è attivato gli ioni introdotti reagiscono generando dei composti colorati che modificano la colorazione del materiale.

Studi sui cambiamenti nella colorazione associati al fenomeno dell'inserimento ed estrazione di ioni esistono già dal 1951; è necessario tuttavia attendere fino alla fine degli anni '60 perchè sia riconosciuta l'utilità di questo fenomeno dal punto di vista tecnologico.

Numerose sono le classi di materiali organici ed inorganici che manifestano proprietà di tipo elettrocromico; tra questi, gli ossidi metallici e i materiali organici sono quelli che hanno maggiore potenziale applicativo per quanto riguarda la progettazione di superfici trasparenti per

COSA LEGGERE SULL'ARGOMENTO

Cristalli liquidi

H. R. Wilson, "Transmission switching using micro-encapsulated liquid crystal films", Proceedings of 5th International Meeting on Transparent Insulation Technology, pp.133-136, Freiburg, Germany, 24-26 May 1992.

W. Korner, A. Beck, H. Scheller, J. Fricke, "Investigations of polymer dispersed liquid crystal for variation of insolation", Proceedings of 5th International Meeting on Transparent Insulation Technology, pp.93-96, Freiburg, Germany, 24-26 May 1992.

Elettrocromici

B. Chevalier, J.L. Chevalier, "Pour maîtriser la transparence des vitrages: les systèmes électrochromes", Cahier du CSTB, pp.1-17, cahier 2512, livraison 322, septembre 1991.

C.M. Lampert, C.G. Granqvist, "Large area Chromogenics: Materials and Device for Transmittance Control", SPIE Vol. IS 4, Hamburg, 1988.

C.M. Lampert, "Large area Chromogenics for Smart Window", 27720 rev, Invited Paper for IEEE Circuits and Devices Magazine, August 1991

J. Littler, "Smart glazings and its effects on passive solar design", Proceedings of 2nd European Conference on Architecture, pp. 263-265, Paris, France, 4-8 December 1989.

Termocromici

E. Boy, S. Meinhardt, "Thermo optical regulation of light transmission systems and possible application", Proceedings of 1990 ISES International conference on Evolution of External Perimetral Components in Bioclimatic Architecture, pp.125-128, Milan, Italy, 5-6 April 1990.

J. Germer, "Switchable Glazings", Solar Age, pp.20-23, October 1984.

V.E. Smay, "Thinking window can switch off the sun", Popular Science, March 1984.

Fotocromici

C.M. Lampert, C.G. Granqvist, "Large area Chromogenics: Materials and Device for Transmittance Control", SPIE Vol. IS 4, Hamburg, 1988.

C.M. Lampert, "Large area Chromogenics for Smart Window", 27720 rev, Invited Paper for IEEE Circuits and Devices Magazine, August 1991

l'edilizia.

Un dispositivo elettrocromico è generalmente costituito da tre - cinque diversi strati.

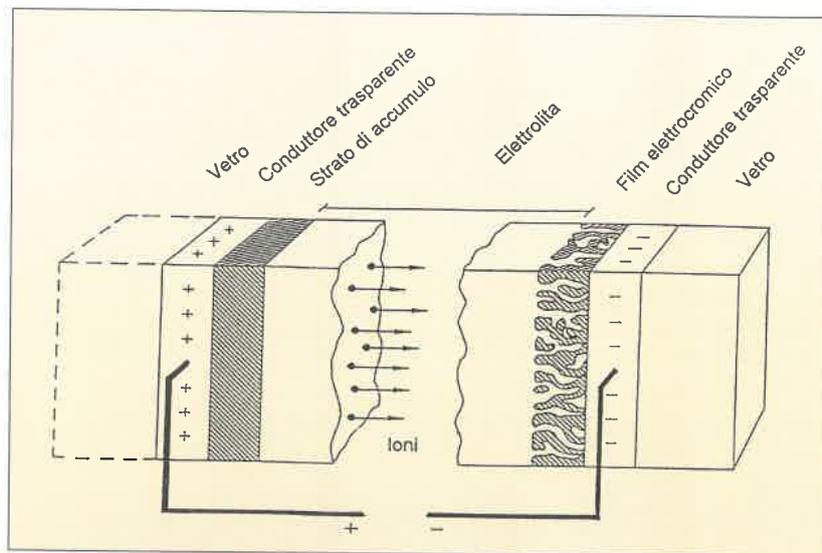
Lo strato centrale è un conduttore di ioni (o elettrolita) ed è compreso tra due strati, costituiti da un film elettrocromico (detto anche elettrodo) e uno strato preposto all'accumulo di elettroni (contro-elettrodo). I due strati esterni sono costituiti da materiali conduttori trasparenti, anche se lo strato per l'accumulo di elettroni e il conduttore trasparente possono essere incorporati in un unico strato.

Lo strato di accumulo può essere formato da un altro film elettrocromico, preferibilmente anodico (tale che si oscura in seguito all'estrazione di elettroni) se lo stato elettrocromico di base è catodico (tale che si oscura in seguito all'estrazione di ioni) e viceversa.

Quando viene applicata una differenza di potenziale elettrico tra i due conduttori trasparenti, gli ioni sono estratti dallo strato di accumulo e, passando attraverso lo strato conduttore, sono inseriti nello strato elettrocromico modificandone in tal modo le proprietà ottiche. Viceversa, quando l'impulso elettrico viene disattivato, gli ioni vengono estratti dallo strato elettrocromico e, attraverso lo strato conduttore, vengono depositati nello strato di accumulo rendendo il dispositivo trasparente.

La realizzazione di sistemi elettrocromici completi pone il problema della scelta dei substrati e dei terminali di comando. Il caso più frequente riguarda la realizzazione di depositi su due differenti supporti vetriati: ciascun vetro di supporto viene rivestito di un film conduttore; suc-

Configurazione stratigrafica di un dispositivo elettrocromico indicante il trasporto di ioni positivi sotto l'azione di un campo elettrico.



cessivamente ad uno dei supporti viene applicato un film elettrocromico, mentre all'altro viene applicato un film con funzione di contro-elettrodo. L'elettrolita polimerico, infine, assicura l'adesione dei due sistemi.

Altri sistemi vengono realizzati applicando in fasi successive i diversi rivestimenti su una superficie vetrata di base.

Le proprietà

Affinchè il sistema elettrocromico risulti in grado di assolvere alle funzioni ad esso richieste, deve presentare caratteristiche funzionali di diversa natura, ottiche, termiche, elettriche e meccaniche.

Deve soddisfare inoltre criteri di durabilità e sicurezza.

Un dispositivo elettrocromico consente la modulazione della tra-

Una vetrata a cristalli liquidi diventa opaca, aumentando la riservatezza di un Bancomat. Le molecole di cristallo liquido, orientate casualmente, impediscono la visibilità, allineate mediante una modesta carica elettrica permettono la trasparenza (Varlite, Isoclima).



ttrocromico può (almeno teoricamente) variare le sue prestazioni su tutto il dominio spettrale o solo su una parte di esso (dominio del solare, del visibile o dell'infrarosso).

La scelta del tipo di dispositivo dipenderà dalla dinamica dei carichi termici dell'edificio interessato e dalle condizioni climatiche esterne. Ad esempio, in un edificio nel cui bilancio

energetico prevalgono i carichi di raffreddamento, un vetro riflettente risulterà più adatto poiché possiede un minore impatto energetico di un vetro assorbente.

Sarà inoltre importante conoscere le temperature minime e massime che i dispositivi elettrocromici devono sopportare per valutare le condizioni di rischio per il materiale. L'alta temperatura può condurre a rottura gli strati componenti il sistema elettrocromico, mentre la bassa temperatura può

rendere il processo di colorazione troppo lento. Le proprietà meccaniche sono estremamente importanti per gli strati preposti alla conduzione dell'elettricità: in questi strati una minima fessurazione può essere causa di rilevanti disfunzioni.

Dal punto di vista meccanico devono essere valutati quattro aspetti essenziali: l'aderenza reciproca dei film depositati e dell'insieme al substrato; la resistenza agli urti, la resistenza alla flessione; la tenuta meccanica delle uscite elettriche (terminali di alimentazione).

Il concetto di durabilità del sistema comprende numerose caratteristiche, ma il criterio base rimane quello di verificare l'attitudine del sistema nel conservare le caratteristiche di funzionamento precedentemente definite in presenza dell'azione aggressiva dell'ambiente esterno. Il parametro più comunemente utilizzato per determinare la durabilità è il numero di cicli

(ovvero il ripetersi dei cicli di cambiamenti dallo stato trasparente a colorato) che il sistema è in grado di subire senza risultarne danneggiato nel funzionamento.

Ma è consigliabile controllare anche l'effetto di alcuni agenti esterni (l'irraggiamento ultravioletto, l'umidità, l'effetto accelerante della temperatura nei confronti del funzionamento nello stato colorato) che, nel caso di un sistema a bassa frequenza di cicli, possono condurre ad una degradazione prematura.

I criteri di sicurezza sono rappresentati dalle verifiche di attitudine all'impiego comuni a tutti i sistemi alimentati elettricamente.

Nei sistemi a grande area le intensità di corrente possono raggiungere valori elevati (nell'ordine di qualche Ampere per dm²) per cui il problema della sicurezza elettrica non dovrà essere sottostimato.

Le applicazioni in architettura

Presso il Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) è stata redatta una tabella contenente le specificazioni necessarie per la corretta applicazione di un vetro elettrocromico in edilizia, suddivise in: proprietà ottiche (fattore di trasmissione solare, fattore di trasmissione luminosa, contrasto in trasmissione solare); proprietà elettriche (tensione di alimentazione, tempi di risposta, memoria); temperature di esercizio; durabilità.

Un dispositivo elettrocromico predisposto per l'applicazione in edilizia deve avere una superficie minima di 0,5m² e deve essere in grado di sopportare un numero di cicli superiore a 104 in dieci anni, senza mostrare sostanziali modificazioni nelle proprietà.

Le più grandi superfici trasparenti elettrocromiche finora realizzate consistono in un prototipo formato da finestrelle elettrocromiche delle dimensioni di 40x40 cm prodotte in Giappone dall'Asahi Glass; tale vetrata, inserita nel Seto Bridge Museum a Kojima (Giappone), è costituita da circa 200 finestre elettrocromiche che usano ioni di litio per la colorazione e contengono un elettrolita polimerico.

Un altro esempio di applicazione è costituito da un prototipo formato da circa 50 finestrelle installato nella Daiwa House, anch'esso in Giappone.

I materiali termocromici

Descrizione e principio di funzionamento

I materiali termocromici modificano le proprietà ottiche in funzione di una differenza di temperatura; quando vengono raffreddati fino alla temperatura di origine ritornano allo stato iniziale.

Tale fenomeno può essere attribuito a modificazioni dell'equilibrio molecolare (tramite reazione chimica indotta) oppure alla transizione della fase cristallina.

Le proprietà del termocromismo possono essere osservate in un'ampia gamma di composti organici, di composti inorganici ed in film di ossidi metallici.

Chi produce, chi ricerca

Lastre cromogeniche	Produttori	Laboratori di ricerca
Elettrocromici	Asahi Glass (Giappone) PPG Industries (USA)	Lawrence Berkeley (USA) Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Germania) University of Technology, Sidney (Australia) Università "La Sapienza" (Italia)
	Dow Chemical (USA)	CSTB (Francia) Conphoebus (Italia) Enea - Casaccia (Italia) Stazione Sperimentale del Vetro (Siv)
	St. Gobain (Francia) Pilkington (UK) Siv (Italia)	
Cristalli liquidi	Isoclima (Italia)	Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems (Germania)
	Glaceries De Saint - Roch (Belgio) Taliq. Corp. (USA)	
Fotocromici	Corning Glass (USA) Schott Glass (USA) PPG Industries (USA)	
Termocromici	Suntek (New Mexico)	Fraunhofer Institut for Solar Energy Systems (Germania)

Tra questi ultimi appare particolarmente interessante l'ossido di vanadio, che passa dallo stato di semiconduttore allo stato metallico quando viene superata una data temperatura critica (70°C). Il passaggio allo stato metallico conseguente al superamento della temperatura critica induce nel materiale un comportamento riflettente maggiormente sensibile nella zona dell'infrarosso vicino. I tempi di risposta sono rapidi.

Per l'utilizzo pratico dell'ossido di vanadio, tuttavia, è ancora necessario studiare il modo per diminuire la temperatura critica e per ottenere un film la cui trasmissione luminosa sia sufficientemente elevata affinché possa essere ipotizzabile un suo impiego in edilizia.

Un prodotto termocromico che appare estremamente interessante per l'applicazione in architettura è il TALD, gel stabile che presenta un punto di raffreddamento piuttosto basso.

Una terza tipologia di materiale termocromico è il Cloud Gel, inventato nel 1970 da Day Chahoudi.

Le speciali proprietà del Cloud Gel sono da attribuire ad un sottile strato di soluzione acquosa polimerica racchiusa tra due pellicole esterne plastiche: le molecole polimeriche rimangono trasparenti fino a una temperatura critica; al di sopra di questa temperatura il materiale diviene bianco e riflette la radiazione solare.

La temperatura alla quale ha inizio la reazione può essere regolata, adoperando particolari additivi.

Le proprietà

La proprietà di cambiare lo stato oltre una

Consumi energetici per il condizionamento e per l'illuminazione artificiale riferiti a tre tipologie di vetri convenzionali (vetro chiaro, colorato e riflettente) e a tre tipologie di dispositivi dalle prestazioni variabili (fotocromici, termocromici ed elettrocromici).

determinata temperatura critica è quindi una caratteristica fondamentale per stabilire le potenzialità applicative di un materiale termocromico.

Per i cristalli di ossido di vanadio è stata misurata una temperatura critica di 68°C, ancora troppo elevata per l'applicazione all'edilizia; sono in corso, tuttavia, numerosi studi per definire nuove tecniche in grado di abbassare la temperatura critica fino

alla soglia della temperatura media ambientale. La temperatura critica del TALD gel può essere invece regolata tra i 10 e i 70°C.

Comparato con i vetri antisolari convenzionali (ad esempio vetri basso emissivi rivestiti con film riflettente) che respingono il 34% della luce e il 50% del calore il TALD dimostra di possedere proprietà nettamente superiori: oltre l'84% di trasmissione solare nello stato normale e tra il 10 e il 40% di trasmissione nello stato oscurato.

Nel caso del Cloud Gel la trasmissione della radiazione solare incidente può raggiungere il 90% nello stato trasparente e ridursi al 30% nello stato oscurato.

Affinchè il materiale possa rilasciare la quantità di luce e calore necessari è possibile adottare un sistema in cui il comportamento del gel dipenda al 75% dalla variazione di temperatura interna e al 25% dalla variazione di quella esterna.

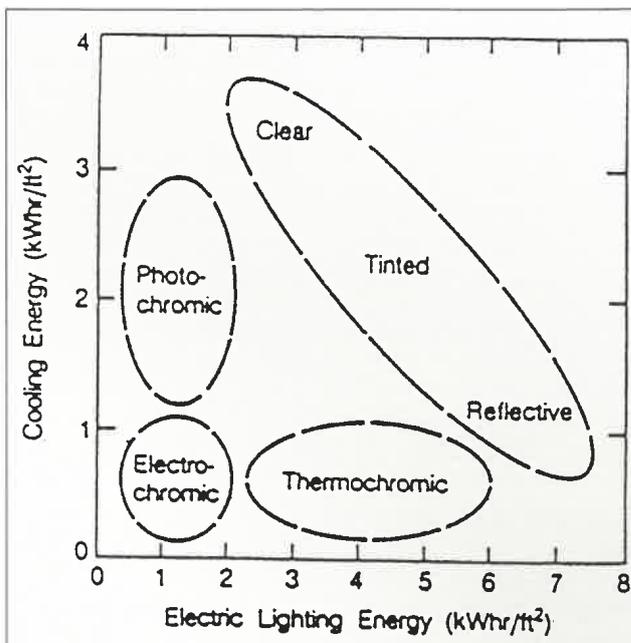
A questo scopo, il Cloud Gel viene assemblato ad uno strato isolante trasparente posizionato come strato esterno. In seguito a questo accorgimento, in una giornata invernale fredda e chiara il gel rimane chiaro, essendo influenzato dalla temperatura interna; in una calda giornata estiva, invece, il gel si oscura a causa dell'incremento di temperatura dovuto al maggiore guadagno solare.

Le applicazioni in architettura

I gel termocromici sono particolarmente adatti per tutte quelle applicazioni in cui sia richiesta la schermatura della radiazione solare e la prevenzione del surriscaldamento.

Una delle principali caratteristiche del termogel, infatti, consiste nella capacità di questi materiali di divenire opachi al di sopra di una temperatura prestabilita, modificando la percentuale di radiazione solare trasmessa.

Il comportamento dei materiali termocromici nei confronti della radiazione solare consente di ottimizzare i consumi energetici dell'edificio diminuendo i carichi di raffreddamento e



creando una condizione climatica ambientale migliore dal punto di vista del comfort.

Un'altra caratteristica estremamente interessante dal punto di vista dell'applicazione all'edilizia riguarda l'alta percentuale di luce trasmessa sia nello stato traslucido che opaco.

È importante sottolineare, comunque, che la trasmissione che caratterizza i materiali termocromici è sempre una trasmissione diffusa,

ovvero anche quando il materiale è nello stato chiaro le immagini trasmesse non risultano mai nitide.

Questa caratteristica rende i termocromici particolarmente adatti per applicazioni in cui non è richiesta la visione ed è invece desiderabile la privacy o comunque un effetto di schermatura.

Per questa ragione la tecnologia dei gel termocromici è preferibilmente applicabile a zone in cui sia richiesta la luce ma non la trasparenza.

L'utilizzo dei pannelli termocromici come componente di facciata dove sia richiesta la visione è possibile se si osserva l'accorgimento di inserire i pannelli termocromici alternandoli a quelli convenzionali trasparenti e collocandoli preferenzialmente nelle zone al di sopra o al di sotto della fascia dell'orizzonte.

Dal punto di vista della destinazione funzionale, l'applicazione del termogel è appropriata per corti interne o serre, in climi temperati o subtropicali, per edifici industriali, scuole e ospedali, unità residenziali ed edifici speciali quali giardini zoologici e botanici.

Per facilitare l'applicazione in architettura del Cloud Gel, Day Chahroudi ha brevettato nel 1974 un particolare involucro a comportamento termocromico.

Tale involucro è formato da triangoli isosceli tra loro identici; i triangoli che costituiscono la pellicola esterna possono essere gonfiati, divenendo simili a cuscini; essi sono costituiti all'esterno da uno strato di vinile e all'interno da uno strato di Cloud Gel, applicato in connessione con un coating riflettente (Heat Mirror). La pellicola esterna è sospesa ad un reticolo strutturale denominato Flexahedron.

Il Flexahedron nasce dalla combinazione tra l'applicazione della struttura geometrica delle volte geodesiche e la concezione termica dei sistemi passivi.

Dal punto di vista geometrico, si tratta infatti di una struttura estremamente flessibile, basata su una griglia spaziale in grado di assumere le forme più svariate; grazie ad essa è così possibile realizzare edifici di qualsiasi forma e dimen-

Elettrocromici

Dispositivi a cristalli liquidi

Categoria	cromogenici; dispositivi elettricamente attivati	cromogenici, dispositivi elettricamente attivati
Descrizione	il materiale è composto da 5 strati: due conduttori trasparenti, un elettrolita o conduttore di ioni, un controlettrodo o strato di accumulo, uno strato elettrocromico (ossido di tungsteno o nichel)	due strati di vetro o poliestere racchiudono il polimero che contiene le molecole di cristalli liquidi incapsulate
Tipo di trasformazione	cambiamento delle proprietà ottiche in modo persistente e reversibile sotto l'azione di un campo elettrico	un campo elettrico attivato tra due elettrodi trasparenti cambia l'orientamento delle molecole di cristalli liquidi incapsulate nel materiale polimerico
Aspetto esterno e colorazione	stato attivato (on): trasparente stato disattivato (off): colorato (blu, grigio, porpora etc.)	stato attivato (on): trasparente stato disattivato (off): bianco, opaco
Comportamento del materiale	stato attivato: trasparente e speculare stato disattivato: assorbente o riflettente e speculare	stato attivato (on): lievemente diffondente stato disattivato (off): diffondente
Proprietà ottiche	possibilità di modulazione delle proprietà ottiche variando l'intensità del voltaggio elettrico applicato fattore di trasmissione solare (%) 50 - 70 (stato trasparente) 10 - 20 (stato attivato) fattore di trasmissione luminosa (%) 50 - 70 (stato trasparente) 10 - 20 (stato attivato) contrasto in trasmissione solare da 1/2 a 1/6	la trasmissione luminosa può essere quasi costante nei due stati diffuso e attivato - fattore di trasmissione luminosa: stato attivato: 60-80% stato disattivato: 40-60% - fattore di trasmissione solare: stato attivato: 79-80% stato disattivato: 44-60%
Proprietà elettriche	tensione di alimentazione: 1-5 V tempi di risposta: 1-60 sec memoria: fino a 12-48 ore	tensione di alimentazione: 30-100 V tempi di risposta: estremamente rapidi non hanno capacità di memoria
Durabilità	numero di cicli: 4000-6000 (5 cicli al giorno) anni di vita: massimo 2-4 anni	
Vantaggi	- ampia possibilità di modulazione della trasmissione luminosa (ottimizzazione progetto luce) - ampia possibilità di modulazione della trasmissione solare ed energetica (architettura energeticamente efficiente) - sono comandabili dall'utenza (manualmente o automaticamente tramite computer) - richiedono energia elettrica solo al momento dell'attivazione - possiedono lunga memoria - necessitano di un piccolo voltaggio per cambiare di stato sono sempre speculari (sia nello stato attivato che disattivato)	- comandabili manualmente dall'utenza - sono l'unico dispositivo elettricamente attivabile di grandi dimensioni attualmente disponibile sul mercato - può passare dallo stato trasparente a quello diffuso senza variare sostanzialmente la quantità di luce trasmessa - garantiscono la privacy - possono costituire una valida alternativa alle tradizionali schermature per la protezione dei materiali isolanti trasparenti
Difetti	- non ancora disponibili in ampie superfici - insufficiente durabilità	- necessitano di un apporto di corrente continuo per restare trasparenti - la diffusione è sempre presente, anche nello stato attivato - necessitano di un più alto voltaggio per attivarsi
Prospettive della ricerca	- portare l'estensione superficiale ad almeno 0,5 m ² - portare la durabilità ad almeno 10 anni - ottimizzare le prestazioni ottiche ed energetiche dei materiali - migliorare il funzionamento elettrico - perfezionare i sistemi che variano le proprietà dallo stato trasparente a riflettente	- migliorare la stabilità UV - diminuire i costi (specialmente del conduttore trasparente) - aumentare la capacità di modulazione nel campo solare-energetico per le applicazioni con materiali isolanti trasparenti - approfondire lo studio del passaggio dallo stato trasmittente a quello (diffusamente) riflettente
Campi di applicazione	- settore dell'auto: specchi retrovisori, tettucci; nel futuro: finestrini laterali e posteriori - settore dell'edilizia: finestre a controllo dinamico - settore industriale aerospaziale	settore dell'edilizia: - interni (come elemento separatore, diaframma che garantisce la privacy) - facciata (assemblato in struttura isolante trasparente) settore dell'auto: finestrini laterali
Esempi di applicazioni in edilizia	prototipi: - Seto Bridge Museum (Kojima, Okayama-Pref, Japan) - Daiwa House (Mita-City, Hyogo-Pref, Japan)	edifici adibiti ad uffici, aree Bancomat

	Vetri e gel termocromici	Vetri fotocromici
Categoria	cromogenici; dispositivi non elettricamente attivati	cromogenici; dispositivi non elettricamente attivati
Descrizione	i materiali termocromici possono essere vetri con coating di ossidi metallici (VO ₂) o gel polimerici (Cloud Gel, Tald)	i materiali fotocromici possono essere organici e inorganici
Tipo di trasformazione chimica	variano le proprietà al variare della temperatura; ritornano alle proprietà originarie se raffreddati fino alla temperatura di partenza	cambiano le proprietà ottiche al variare dell'intensità della luce
Aspetto esterno e colorazione	da trasparente a lievemente colorato	varia da chiaro-trasparente a colorato
Comportamento del materiale	traslucente fino alla temperatura critica e opaco per temperature superiori	da trasparente-trasmittente ad assorbente
Proprietà ottiche	- fattore di trasmissione energetica: stato trasparente: 90% stato opaco: 20-30%	- stato trasparente: trasmissione molto elevata nei domini del solare e del visibile (fino a 80-90% per la banda centrale del visibile) - stato colorato: trasmissione molto bassa (fino a 10-15% per la banda centrale del visibile)
Proprietà elettriche	tempi di risposta: estremamente rapidi	tempi di risposta: minuti (richiede più tempo il passaggio dallo stato opaco a quello trasparente)
Durabilità	tendenza all'ingiallimento del materiale polimerico esposto all'azione della radiazione UV; risolvibile tramite l'uso di stabilizzatori chimici l'obiettivo è il raggiungimento di una durata di vita di 5 anni; nel futuro si lavorerà per una durata superiore (fino a 20-30 anni)	per i vetri è stata dimostrata una buona durabilità e resistenza alla fatica nell'alternarsi dei cicli colorato/trasparente
Vantaggi	- sono autoregolanti - riducono l'entità dei carichi di raffreddamento e ventilazione (risparmio energetico) - possono sostituire le tradizionali schermature - dimostrano alta trasmissione luminosa nello stato trasparente - semplicità di messa in opera e inserimento in architettura - eliminano i problemi di surriscaldamento regolando gli apporti solari - diffondono la luce sia nello stato opaco che in quello chiaro - la luce trasmessa è costante ed uniforme - caratteristiche ottiche simili al vetro opaco - eliminazione dei fenomeni di abbagliamento - costi ridotti rispetto alle altre categorie	- sono autoregolanti - buona durabilità nei cicli color/trasp - buona resistenza agli attacchi chimici
Difetti	- bloccano i raggi solari benefici in inverno - possono essere regolati dall'utenza solo utilizzando circuiti elettrici stampati sugli strati che racchiudono il film termocromico - tendenza all'ingiallimento dei gel polimerici - non sono mai completamente trasparenti	- drastica riduzione della trasmissione luminosa nello stato scuro - riflessione della radiazione energetica anche nei mesi invernali - cambiando stato diventano assorbenti (causando problemi di stress termico) - sono prodotti in superfici ancora troppo piccole per l'uso in edilizia - costo molto elevato
Prospettive della ricerca	- controllo e modifica della temperatura di transizione - controllo della trasmissione luminosa nello stato colorato - miglioramento della durabilità - studio dell'inserimento nei componenti architettonici	- migliorare la perdita di fotocromismo alle alte temperature - creare dispositivi a grande area
Campi di applicazione	- settore dell'agricoltura: serre climatiche - settore dell'edilizia: vani scala, coperture, atrii e strutture a corte, lucernari, pannelli di facciata	settore dell'ottica settore dell'edilizia (vetri regolatori di energia per il controllo energetico-solare)
Esempi di applicazione in edilizia	- Bioshelter Headquarters - S. Francisco - Educational community Center - NY City - Anugraha Congress Center - London (Heathrow)	