

**Ar.Tec.**

Associazione Scientifica  
per la Promozione dei Rapporti  
tra Architettura e Tecniche dell'Edilizia

# **L'INVOLUCRO EDILIZIO**

## **Una progettazione complessa**

a cura di Alessandro Greco e Enrico Quagliarini

Volume primo

# UN SISTEMA TRASLUCIDO PER IL CONTROLLO DELLA TRASPARENZA

## *A TRANSLUCENT SYSTEM FOR TRANSPARENCY CONTROL*

**Arch. Simona Colajanni**  
DPCE - Università degli Studi di Palermo  
Viale delle Scienze, Palermo  
e-mail: s.colajanni@unipa.it

### **ABSTRACT**

Since its earliest times in the building sector, glass has performed a shutting function, allowing natural light through and a clear outside view.

The evolution of production and assembly techniques has transformed glass from a simple transparent element into a system with high technological potential.

Designs for dynamic (user-controlled) systems allow transparency level modulation and indoor light quantity transmission control. These provide greater comfort and also offer economic benefits.

The first phase of this research has analysed and verified the performance of some translucid systems that are either currently on the market, or in experimental phase. Apart from guaranteeing the primary shutting function, such systems undertake the task of adapting energy fluxes, thus obtaining controllable illumination levels via the use of special filtering modes.

In the second phase of the research the experimentation of a new system was undertaken. A prototype (patent of invention n. VI2005A00294) for controlling illumination levels was created. Essentially, the system aims to control illumination levels through systems that are less complex than those presently available. While considering the growing demand for glassed surfaces in modern building construction, the new system bypasses certain problems present in commercial systems, such as high cost/benefit relationship and durability.

### **INTRODUZIONE**

Guardare attraverso un vetro oggi non significa più guardare attraverso un unico materiale ma attraverso un sistema complesso di tecnologie evolute che concorrono al miglioramento della qualità della vita ed al contempo contribuiscono al risparmio energetico.

Parlare oggi di trasferimento tecnologico da settori come quello aeronautico o aerospaziale non è più una novità ma diviene una necessità per raggiungere il più ampio obiettivo perseguito per uno sviluppo sostenibile.

Pertanto oltre al miglioramento delle caratteristiche che regolano il flusso luminoso bisogna tenere in considerazione i costi di produzione dei materiali che si utilizzano, la compatibilità delle tecnologie impiegate ed i costi di messa in esercizio e gestione del sistema stesso.

### **I SISTEMI ESISTENTI**

Attualmente tra i sistemi complessi per il controllo della luce hanno assunto particolare importanza i sistemi cromogenici che variano le loro proprietà ottiche in funzione di un parametro di controllo diverso in base alla tecnologia adottata (figura 1).

Tra i sistemi cromogenici, quelli attivi o modulabili offrono maggiori vantaggi perchè permettono di variare le proprietà ottiche per effetto dell'applicazione di un campo elettrico. Essi sono controllabili dall'utente attraverso interruttori on-off.

Tra i sistemi cromogenici attivi in commercio, quelli che offrono maggiori prestazioni sono sicuramente i sistemi elettrocromici (EC) perché possono passare da una trasparenza totale, nello stato disattivato, a una attenuata, in quello attivato attraverso la regolazione del voltaggio elettrico e presentano un consumo di energia elettrica relativamente basso.

Essi sono costituiti da un sistema multistrato inserito tra le due lastre di vetro dello spessore di circa 1mm.

Lo strato attivo è un film elettrocromico che consente la colorazione del sistema attraverso un processo di trasferimento di carica attivato dal campo elettrico. Invertendo il voltaggio, lo strato torna trasparente.

		DISPOSITIVI DINAMICI						
		ATTIVI				PASSIVI		
		LCD	GASOCROMICI	ELETTROCR.	SPD	FOTOCROMICI	TERMOCROMICI	
PROPRIETA' OTTICHE	TRASPARENZA	ON	TOTALE	ATTENUATA	ATTENUATA	TOTALE	ATTENUATA	ATTENUATA
		OFF	NULLA	ATTENUATA	TOTALE	ATTENUATA	TOTALE	ATTENUATA
	COLORAZIONE	ON	TRASPARENTE	COLORATO	COLORATO	TRASPARENTE	COLORATO	COLORATO
		OFF	BIANCASTRA	TRASPARENTE	TRASPARENTE	COLORATO	TRASPARENTE	TRASPARENTE
CARATTERISTICHE	CONTROLLO OTTICO	ON-OFF	MODULABILE	ON-OFF	MODULABILE	AUTOMATICO	AUTOMATICO	
	TEMPO TRANSIZIONE	< 10 sec	~ 1 min	< 10 sec	< 10 sec	< 1 min	< 1 min	
	CONSUMO	ELEVATO	ELEVATO	MEDIO	BASSO	NULLO	NULLO	
	ALIMENTAZIONE	CONTINUA	ATTIVAZIONE	CONTINUA	ATTIVAZIONE	SOLARE	SOLARE	
APPLICABILITA'	DURABILITA'	MEDIA	?	BASSA	MEDIA	ALTA	MEDIA	
	COSTI	1600 euro/mq	?	900 euro/mq	?	?	?	
	IN PRODUZIONE	SI	NO	SI	SI	NO	NO	
	IN FASE DI SPERIMENTAZIONE	NO	SI	SI	SI	SI	SI	

Figura 1 – Confronto tra i sistemi esistenti.

Forniscono un'ampia gamma di prestazioni in termini di trasparenza, controllo, consumi, a meno, però, di un fattore non secondario che riguarda il costo notevolmente superiore rispetto a vetri usuali per infissi, dovuto principalmente a una certa difficoltà nel reperimento dei materiali (film, pellicole, ecc) e nelle lavorazioni necessarie per ottenere prodotti di grandi dimensioni così come richiesto dal settore edilizio.

Hanno inoltre l'inconveniente di avere una durata limitata nel tempo (n° di cicli max è 4000-6000 cioè da 2 a 5 anni) perché è possibile che si manifestano dei fenomeni di degrado dovuti alle decine di milioni di operazioni on-off.

### UN SISTEMA TRASPARENTE INNOVATIVO

Da quanto rilevato dallo studio dei sistemi attualmente sul mercato o in fase di sperimentazione si evince che i principali problemi sono legati ai costi di produzione ed assemblaggio dei materiali costituenti in relazione alle dimensioni da raggiungere nonché di consumo in termini di risparmio energetico rapportato alla vita del sistema.

In questo contesto si colloca lo studio che si sta conducendo presso il Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia dell'Università degli Studi di Palermo che ha messo a punto

un sistema che consente di controllare e variare la trasparenza del vetro con il minor dispendio di energia elettrica possibile, e che faccia uso di materiali e tecnologie che permettono la produzione di lastre di dimensioni tali da rientrare nella media di quelli più usati in edilizia e a costi tali da essere competitivi rispetto a quelli dei vetri usuali per infissi in commercio, in rapporto alle prestazioni offerte.

Il sistema proposto funziona grazie ad un basso potenziale elettrico che serve per attivare il sistema e un potenziale molto più basso per mantenerlo nello stato oscurato per tutto il tempo desiderato.

Si ha inoltre il vantaggio di poter ottenere, lungo l'altezza del sistema vetrato, fasce di attenuazione variabili in altezza, a seconda delle esigenze dell'utenza, fino a quella totale.

### IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio di funzionamento di questa invenzione si basa sulla presenza di un liquido colorato (grigio più o meno scuro) in un serbatoio alla base del sistema stesso che, sottoposto ad un differenziale termico, modifica la sua posizione all'interno di una intercapedine formata dalle due lastre di vetro. L'intercapedine si trova in depressione ed il vuoto occupato dal vapore dello stesso liquido (gas rarefatto).

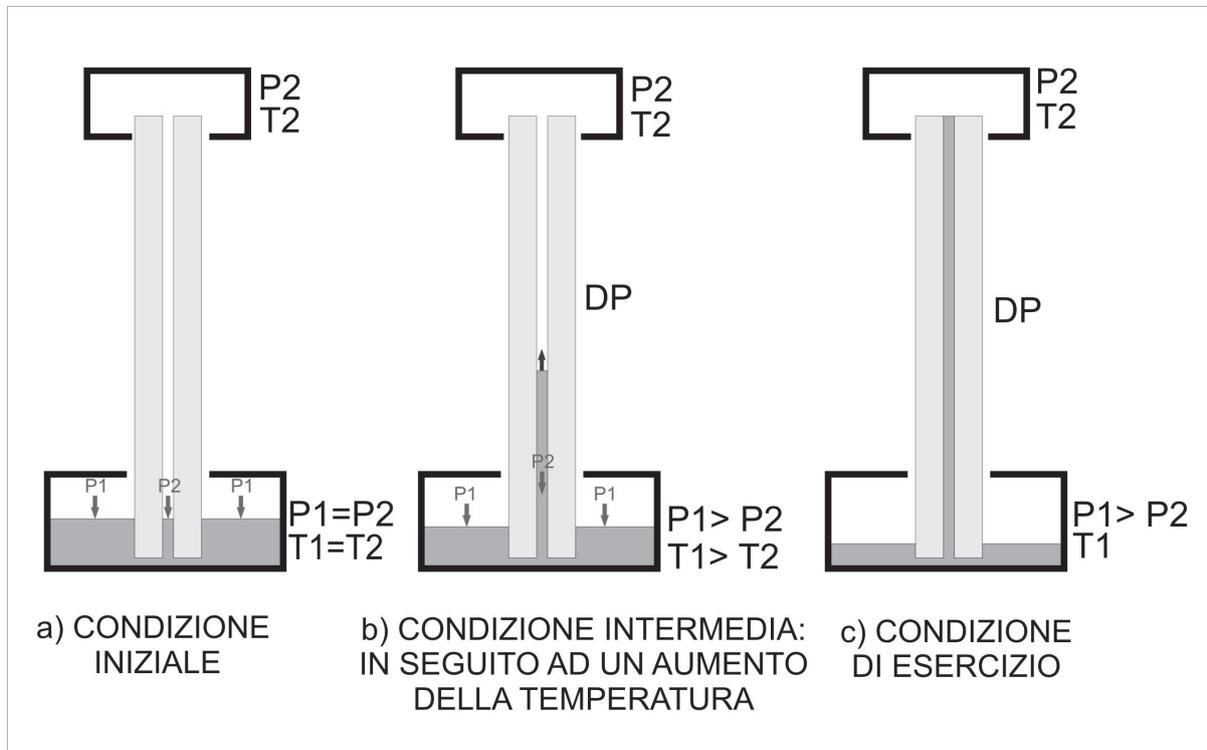
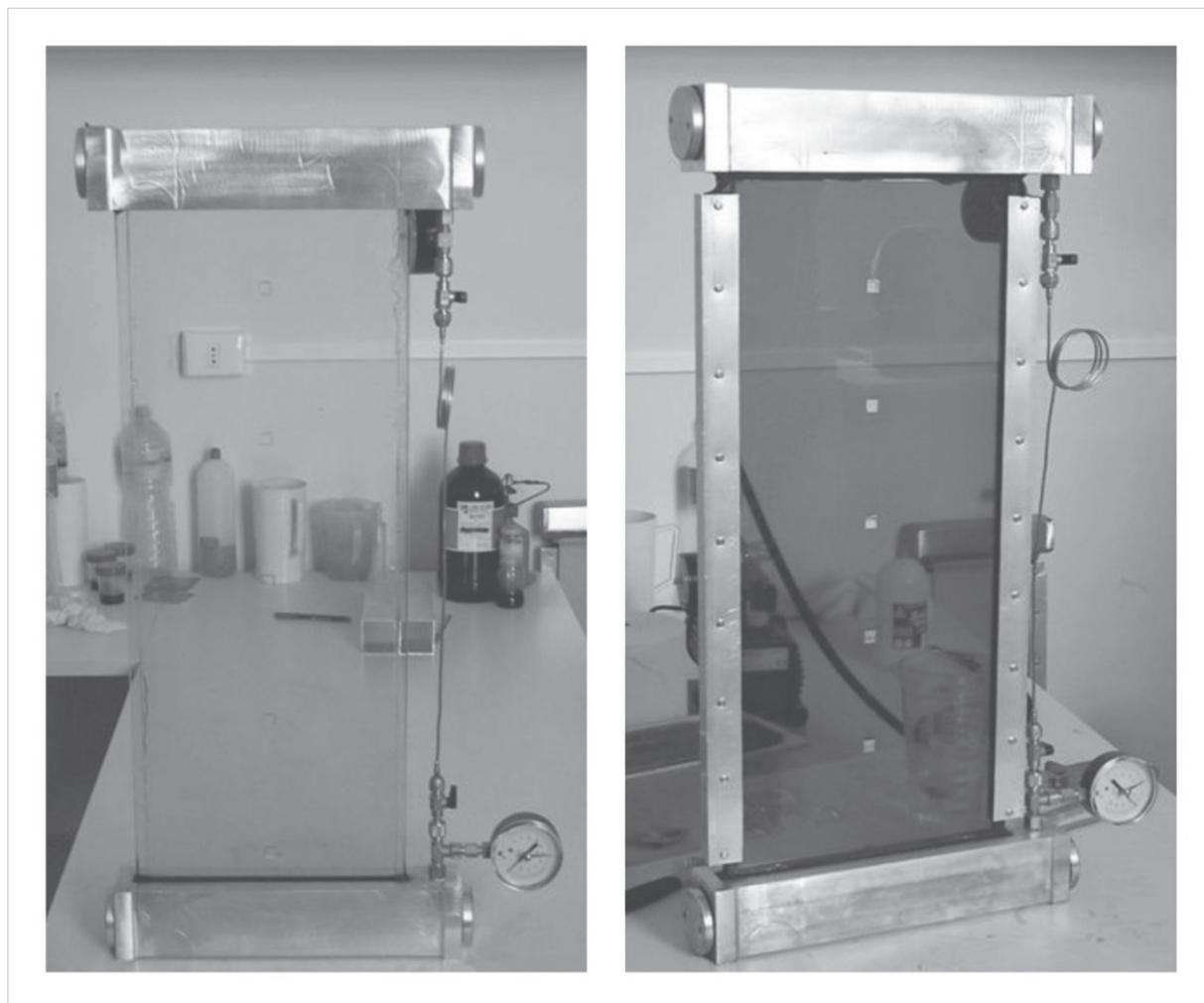


Figura 2 – Fasi di funzionamento del sistema.

Nel nostro caso, nella configurazione indisturbata la temperatura nel serbatoio e nell'intercapedine è la stessa, quindi il liquido che separa le due cavità è soggetto a pressioni uguali ed opposte e rimane nella posizione iniziale (figura 2a). Riscaldando il serbatoio inferiore per mezzo di una termoresistenza, il liquido comincia ad evaporare. Nel serbatoio inferiore aumenta la quantità di vapore e aumenta anche la sua spinta sulla superficie libera del liquido: si stabilisce, così, una differenza di pressione tra i due serbatoi maggiore nel serbatoio inferiore rispetto a quello superiore (figura 2b): tale differenza di pressione provoca la risalita del liquido nell'intercapedine che si trova a una temperatura più bassa rispetto a quella del serbatoio inferiore.

Dopo un certo tempo, il liquido si stabilizza in una condizione di equilibrio all'interno dell'intercapedine con l'applicazione di un potenziale molto più basso necessario soltanto a mantenere alla necessaria temperatura il vapore del liquido stesso (figura 2c).

Quanto prima descritto in termini teorici è stato sperimentato con un prototipo (figura 3). Per effetto dell'aumento di temperatura provocato dall'applicazione di una termoresistenza al sistema, il liquido è risalito lungo l'intercapedine fino a saturarla completamente. Ottenuta la condizione di oscuramento il sistema è rimasto in tale configurazione fino a quando non si è ripristinata la condizione di trasparenza. Infatti, aprendo le valvole che mettono in comunicazione i due serbatoi, attraverso il tubo di rame, si sono riequilibrati i valori di pressione tra i due serbatoi per cui il liquido è sceso nel serbatoio inferiore e il sistema è divenuto trasparente.



*Figura 3 – Il prototipo realizzato in laboratorio.*

E' stata posta particolare attenzione alla scelta del liquido che è stata effettuata sulla base di alcune caratteristiche chimico – fisiche<sup>1</sup> indispensabili per il funzionamento fisico ed è ancora in fase di definizione.

Per quanto riguarda le problematiche legate al consumo di energia elettrica, il sistema proposto necessita dell'applicazione di un basso potenziale elettrico per la sua attivazione. Nel prototipo sono stati utilizzati moduli termoelettrici ad effetto Peltier. Pertanto, si può affermare che la creazione di un differenziale termico è di semplice soluzione.

Il vuoto d'aria parziale nell'intercapedine è stato realizzato con una depressione di 0.5 atm che è quella ottimale per ottenere la risalita del liquido lungo l'intercapedine in tempi relativamente brevi e con livelli di temperature alla base del serbatoio non eccessive.

## INDUSTRIALIZZAZIONE DEL MODELLO

Attualmente le prove effettuate con il prototipo sperimentale hanno dimostrato l'efficacia del funzionamento del sistema, nonostante esso possa essere notevolmente migliorato attraverso alcuni accorgimenti che sono però possibili a livello di produzione industrializzata:

- i due serbatoi attualmente sono stati realizzati mediante asportazione di truciolo da un massello in alluminio. Elementi prodotti industrialmente potranno essere realizzati più semplicemente: i due serbatoi potranno avere dimensioni e spessori minori; potranno essere realizzati sia in alluminio che in altri materiali compatibili che permettano di ottenere le stesse prestazioni; ed inoltre il serbatoio inferiore potrà avere sezioni notevolmente inferiori rispetto a quello superiore;
- per poter effettuare le prove si è utilizzato come liquido l'alcol etilico: esso presenta molte caratteristiche fisico-chimiche ricercate nel liquido ideale, a meno dell'inflammabilità. Vi sono composti chimici allo stato liquido, che possiedono tutte le caratteristiche richieste sia per quanto riguarda le prerogative di funzionamento del sistema, sia per quelle di durabilità da adottare nel caso di produzione industriale; in particolare, si potrà utilizzare un composto a base di cloro fluoro carburi di tipo innovativo che risponda ai requisiti prima elencati;
- attualmente il prototipo è stato realizzato utilizzando due lastre di vetro e una guarnizione all'interno che garantisce sia lo spessore dell'intercapedine che la tenuta. Nel caso di produzione industriale si potrà realizzare un unico elemento vetrato realizzato a caldo contenente un'intercapedine dello spessore desiderato (figura 4)

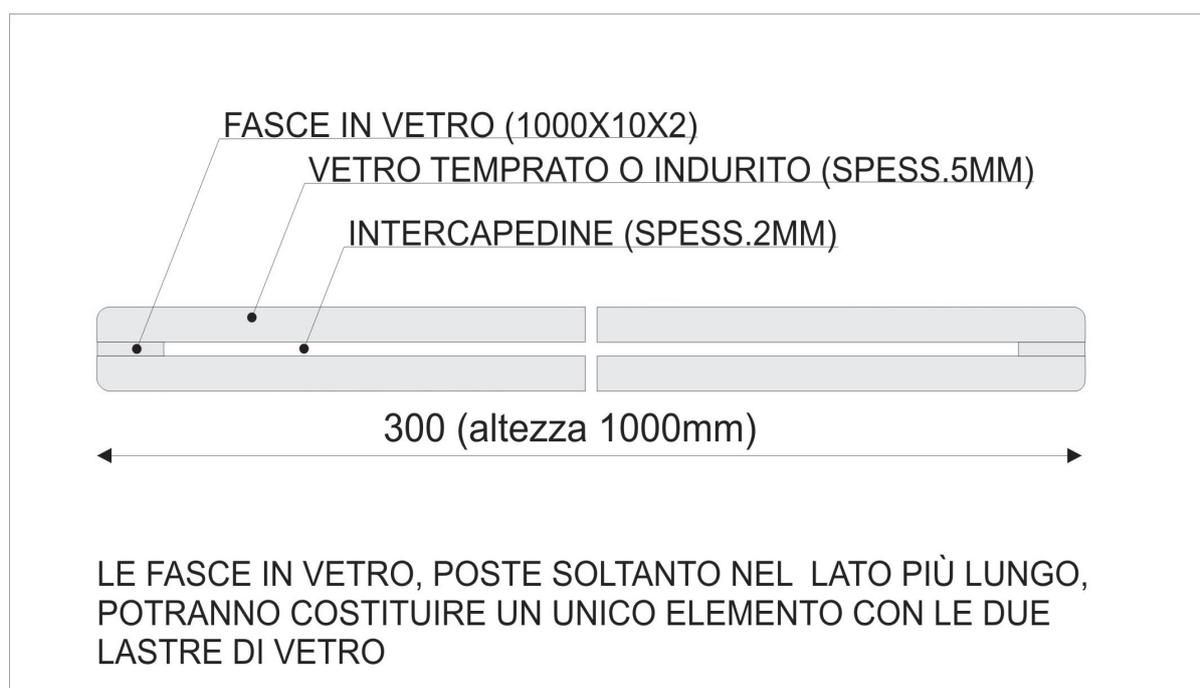


Figura 4 – Vetro sperimentato per il contenimento del liquido.

- nel caso di produzione industriale, l'aria residua potrà essere sostituita con gas rarefatto;
- calcolo del volume del serbatoio: per saturare un'intercapedine di 2mm di spessore, determinata da lastre di vetro di altezza 1000mm, che costituisce il modulo pari a 1/3 dell'interpiano medio di un edificio è necessario un volume liquido pari a 20 cm<sup>2</sup>; per un'intercapedine di 1,5 mm, invece, è necessaria una superficie liquida di 15 cm<sup>2</sup>. Sarà, quindi, possibile utilizzare serbatoi che possano rientrare nelle misure standard di infissi usuali o che possano essere inseriti all'interno di infissi in commercio.;
- per quanto riguarda la termoresistenza, nel modello sarà possibile utilizzare anche resistenze flessibili di tipo PTF adesivizzate o, come nel prototipo, piastre scaldanti tipo

Peltier, che consentono anche il raffreddamento utile nel caso di un'accensione immediatamente successiva ad uno spegnimento del sistema;  
- inoltre in sostituzione delle due valvole previste nel prototipo per la comunicazione dei due serbatoi, nel caso di produzione industrializzata del modello potrà essere utilizzata una elettrovalvola miniaturizzata.

## **CONCLUSIONI**

Da quanto sin qui presentato si possono comprendere le potenzialità del modello che anche se in fase prototipale dimostra come è possibile superare alcuni dei limiti dei sistemi attualmente in commercio.

Le incognite ancora irrisolte, legate più ad aspetti produttivi che non di effettivo funzionamento del sistema non permettono, allo stato attuale della ricerca, di presentare un realistico rapporto costi- benefici ma consentono di intuire il notevole abbassamento dei costi di produzione e quindi di incidenza sul prezzo di mercato che diverrebbe estremamente competitivo con i proibitivi costi dei sistemi attualmente in uso.

Inoltre la flessibilità del sistema, costituito da materiali e parti di facile produzione ed assemblaggio, permette di integrare i pannelli vetrati con dei comuni infissi e quindi inserirlo sul mercato senza particolari e dispendiose modifiche alle comuni linee di produzione.

Non ultimo aspetto riguarda il basso consumo energetico che oltre a dare un immediato risparmio energetico contribuisce allo sviluppo di una tecnologia competitiva.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Adereck K.J., 2001, "Transforming Exterior Walls with Electrochromic Windows", in Environmental Design + Construction.
- Alfarano G., "Luce naturale: i nuovi materiali per il controllo dell'illuminazione naturale", in Ambiente Costruito, Maggioli Editore, Milano.
- Alfarano G., 1999, "Trasparenza trasformista-I nuovi materiali per il controllo dell'illuminazione naturale", in Ambiente Costruito, Maggioli Editore, Milano.
- Altomonte S., 2004, L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per una architettura sostenibile, Alinea Editrice, Perugia.
- Bartolotta A, Calabrese R., Campisi M., 1999, Meccanica dei fluidi, Bragioli ed.,Palermo.
- Benedetti C., 1978, L'energia del sole, Edizione Kappa, Roma.
- Benedetti, 2002, Progetto ambiente, Edizione Kappa, Roma.
- Bortoluzzi T., Macelli G., Polato P., 1997, "Dispositivi cromogenici attivabili elettricamente per applicazioni in edilizia: stato dell'arie", Rivista Sperimentale del Vetro n. 1, 83-96, Mazzanti Editori, Venezia.
- Campoli A., 2000 "Reversibilità e risparmio energetico: i dettagli della sostenibilità", in Costruire in laterizio, n. 65, Faenza Editrice, Faenza (Ra).
- Colafranceschi D., 1995, Architettura in superficie. Materiali, figure e tecnologie delle nuove facciate urbane, Gangemi Editore, Roma,.
- Colombari M., De Carli M., 2003, "Involucri edilizi trasparenti a ventilazione forzata: implicazioni impiantistiche", in Atti della 54° Conferenza dell'Associazione Termotecnica Italiana, San Martino di Castrozza (TN).
- Compagno A., 2000, "Vetrare intelligenti". Rivista Sperimentale del Vetro n. 3, 60-6283-96, Mazzanti Editori, Venezia.
- Compagno A., 1995, Intelligent Glass Facades – material, Practice, Design, Artemis Verlags - AG. – Basilea.
- Crisinel M., Vollmar T., 2005, "Glass Facade elements with internal fluid flow", in a International Conference on Glass Facades and the Use of Glass in Buildings "Glass in Buildings" University of Bath, UK.
- Cronin J.P., et al., 1999, "Electrochromic Glazing", in Materials Research, Vol. 2, n.1, Universidade Federal de São Carlos Departamento de Engenharia de Materiais Laboratório de Materiais Vítreatos São Carlos SP - Brasil
- De Kerckhove D., 2001, The architecture of intelligence, Birkhauser, Basilea.
- Elias G., Ferrari E., Fantinf L., 1999, "Materiali isolanti innovativi: gli aerogel", in La Termotecnica, Gennaio/Febbraio, Editrice BIAS S.a.s., Milano.

- Hutchins M.G., "Variable transmission solid state electrochromic devices for advanced glazing systems", Solar energy Materials & Solar Cells n. 71, C.M. Lambert Editorial, USA.
- Lampert C. M., 2001, Chromogenic switchable glazing: towards the development of the smart window, Conference Proceedings Of Window Innovations '95, Toronto, Canada,.
- Lee E.S., Di Bartolomeo D.L., 2002, "Application issues for large-area electro chromic windows in commercial building", Solar energy Materials & Solar Cells n. 71, C.M. Lambert Editorial, USA.
- Selkowitz S. E., 1999, High performance glazing systems: architectural opportunities for the 21st century, Glass Processing Days Conference, Tampere, Finland.
- Selkowitz S., Lee E. S., 1998, Advanced fenestration systems for improved daylight performance. Delighting '98 Conference Proceedings, Ottawa, Canada.
- Selkowitz S.E., 2000, "Un futuro ad alte prestazioni" Rivista sperimentale del vetro n. 2, pp. 104-111, Mazzanti Editori S.r.l., Venezia.
- Selkowitz S.E., 2000, "Un futuro ad alte prestazioni", Rivista sperimentale del vetro n.3, pp. 68-76, Mazzanti Editori S.r.l., Venezia.

### NOTE

---

<sup>1</sup> Sono state individuate alcune caratteristiche chimico-fisiche indispensabili per il funzionamento, l'ingegnerizzazione e l'immissione su un possibile mercato:

- *volatilità elevata*: essa cresce al crescere della tensione di vapore;
- *tensione di vapore elevata*: essa è una caratteristica della sostanza ed è funzione della temperatura. Per tutti i liquidi aumenta con la temperatura;
- *range di temperatura*: le due precedenti condizioni devono garantire un utilizzo in un range di temperatura da -20° a +70°C;
- *punto di fusione*: il liquido non deve solidificare, in condizioni ordinarie di utilizzo, per effetto di condizioni climatiche che causano temperature rigide;
- *punto di ebollizione*: il liquido in condizioni ordinarie di utilizzo non deve bollire per effetto di condizioni climatiche che causano temperature elevate;
- *colorabilità*: il liquido deve essere una soluzione dove la quantità di soluto disciolto è tale che si ottenga una colorazione più o meno intensa di grigio;
- *infiammabilità nulla*;
- *non tossicità*;
- *compatibilità* con i materiali componenti il sistema: con l'infisso (vetro, PVB, alluminio), con le guarnizioni e i sigillanti (gomma EPDM, silicone), prerogativa indispensabile per la curabilità.