

10-11.

ilProgettoSostenibile

Ricerca
e tecnologie
per l'ambiente
costruito

CERTIFICAZIONE ENERGETICA

Argomenti Da Kyoto alla certificazione energetica degli edifici • Certificazione energetica degli edifici: a che punto siamo **Metodi** Il processo di certificazione energetica e ambientale degli edifici nell'area romana • La certificazione energetica degli edifici in Provincia di Milano • Strumenti di valutazione dell'ecocompatibilità nel progetto di architettura • La certificazione energetica degli edifici sul fabbisogno di raffrescamento • Programmi e prospettive di certificazione energetica nel Mezzogiorno d'Italia **Architettura** Il centro servizi Environment Park **Tecniche e materiali** Eco-efficienza dell'isolamento termico nella realizzazione di chiusure opache in Italia • Tecniche e materiali innovativi ecocompatibili per il controllo delle chiusure trasparenti **Rassegna** Case in legno a basso consumo energetico

ilProgettoSostenibile

Certificazione energetica

ilProgettoSostenibile
Ricerca e tecnologie
per l'ambiente costruito

Rivista trimestrale
Anno 4 - n° 10-11 giugno-settembre 2006

Registrazione Trib. Gorizia
n. 5/03 del 9.9.2003

Direttore responsabile e scientifico
Gianni Scudo

Coordinatore della redazione
Simonetta Licata

Redazione
Carlotta Fontana
Ferdinando Gottard
Simonetta Licata
Alessandro Rogora

Consiglio di Redazione
Giorgio Nebbia, Guido Pacchetti,
Massimo Pica Ciamarra, Rafael Serra,
Gianni Silvestrini

Progetto grafico
Roberto Duse

Editore
EdicomEdizioni
Monfalcone (Go)

Redazione e amministrazione
Via I Maggio 117
34074 Monfalcone - Gorizia
tel. 0481.484488, fax 0481.485721
e-mail: redazione@edicomedizioni.com

Pubblicità
EdicomEdizioni

Stampa
Grafiche Manzanesi
Manzano (UD)
Stampato interamente su carta
riciclata ottenuta da fibre selezionate

Prezzo di vendita
Euro 20,00

Abbonamenti
biennale 8 numeri
Italia: Euro 64,00
Estero: Euro 128,00

Gli abbonamenti possono iniziare, salvo diversa
indicazione, dal primo numero raggiungibile in
qualsiasi periodo dell'anno.

Distribuzione in libreria
Joo Distribuzione
via F. Argelati, 35 - Milano

La direzione lascia agli autori piena responsabilità
degli articoli firmati. È vietata la riproduzione,
anche parziale, di articoli, disegni e foto se non
espressamente autorizzata dall'editore.

1. Argomenti

4 Da Kyoto alla certificazione energetica degli edifici (*G. Silvestrini*)

8 Certificazione energetica degli edifici: a che punto siamo (*G. Dall'O'*)

2. Metodi

16 Il processo di certificazione energetica e ambientale degli edifici
nell'area romana (*F. Orlandi, D. Caputo*)

25 La Certificazione Energetica degli Edifici in Provincia di Milano (*S. Zabet*)

30 Strumenti di valutazione dell'ecocompatibilità nel progetto di architettura
(*G. Peretti, E. Montacchini*)

38 La certificazione energetica degli edifici sul fabbisogno di raffrescamento (*M. Grosso*)

46 Programmi e prospettive di certificazione energetica nel Mezzogiorno d'Italia
(*V. Gangemi e P. Crisci*)

3. Architettura

54 Il centro servizi Environment Park (*S. Dotta*)

4. Tecniche e materiali

68 Eco-efficienza dell'isolamento termico nella realizzazione di chiusure opache in Italia
(*M. Lavagna*)

76 Tecniche e materiali innovativi/ecocompatibili per il controllo delle chiusure trasparenti
(*Fabrizio Tucci*)

Tecniche e materiali innovativi ecocompatibili per il controllo delle chiusure trasparenti

Fabrizio Tucci

Fabrizio Tucci
Ricercatore
universitario in
"Tecnologia
dell'Architettura"
presso il Dipartimento
ITACA de "La
Sapienza", docente
titolare del
Laboratorio di
"Costruzioni
dell'Architettura"
e di quello di "Analisi
e modellazione dei
sistemi ambientali"
presso la Prima
Facoltà di Architettura
di Roma, svolge da
quindici anni in Italia
e all'estero ricerca
sulla sperimentazione
tecnologica per
l'architettura
bioclimatica
e sull'impiego di
tecnologie innovative
per l'Ambiente
costruito.



Indagine sulla stato attuale della ricerca sul vetro e sulla gamma di offerte innovative che l'industria sta studiando valutate in relazione alle possibilità di applicazione che potranno avere nel prossimo futuro in campo edilizio.

Gli involucri edilizi, diversamente dal passato, risultano oggi in grado di controllare dinamicamente i flussi energetici, governandoli in funzione di due principali obiettivi: ottimizzare gli aspetti esigenziali di comfort interno, e massimizzare i requisiti prestazionali relativi alla riduzione del consumo delle diverse forme di energia e in genere all'aumento del rendimento e dell'efficienza ecologica ed energetica degli edifici. È cioè ormai possibile oggi, anzi assolutamente ed eticamente doveroso, utilizzare gran parte dell'energia solare incidente sull'involucro edilizio, non solo assorbendola o schermandola totalmente, ma distribuendola in zone dove è maggiormente necessaria, e al contempo continuare a garantire, e anzi aumentare per quanto è possibile, le condizioni di

vita e di fruizione all'interno degli spazi architettonici confinati da tali "pelli" edilizie. Lo studio del percorso del sole durante il giorno e nei vari periodi dell'anno diviene in quest'ottica il punto di partenza per lo studio e la progettazione dell'impiego di energia solare passiva e di illuminazione naturale: l'irraggiamento solare diretto proveniente dalla volta celeste e i fenomeni indotti dall'artificio umano di diffrazione e diffusione della luce naturale hanno caratteristiche diverse e pertanto richiedono una diversa considerazione nel corso della progettazione dell'utilizzazione di tali fattori nell'architettura. In quest'ottica, il ricorso alle chiusure trasparenti nell'architettura contemporanea sta diventando una prassi, con i potenziali benefici ma anche i tanti problemi con-

nessi con i risvolti negativi che un'applicazione diffusa della trasparenza comporta. Per questo è quanto mai centrale affrontare criticamente e sperimentalmente la questione del "controllo" delle chiusure trasparenti e delle tecniche e materiali innovativi ed ecocompatibili a supporto dell'efficacia di tale controllo. Centrale è prima di tutto un'attenta riflessione sulle attuali linee di ricerca relative al materiale vetro, ai materiali trasparenti, semitrasparenti e traslucidi, e alle loro prestazioni evolutive. A questo proposito farei subito mia una notazione del "guru" mondiale della ricerca sui materiali trasparenti, Michael Wiggington: la discussione sullo sviluppo di tali tecnologie incontra oggi più che mai una difficoltà di base non trascurabile, ovvero la forte riserva-

Pagina a fianco:
edificio per uffici
a Parigi.

ADATTABILITÀ DEI VETRI SPERIMENTALI CON LE DIVERSE CONFIGURAZIONI DELL'INVOLUCRO															
CATEGORIA	STATO DI FATTO DISPONIBILE SVILUPPO RICERCA	TRASPARENTE TRASLUCIDO REATTIVO	CONFIGURAZIONI DELL'INVOLUCRO			TIPOLOGIE DI CONFIGURAZIONE									
			INTERNO	INTERMEDIO	BUFFER ZONE	COMPATTO INTERCAPEDINE	MONOSTRATO MULTISTRATO	IN SVILUPPO NON ADATTO	FINESTRA	VETRATE CONTINUE	FACCIALE STRUTTURALE	FACCIALE APPESE	VETRATE VENTILATE		
VETRI AD ALTE PRESTAZIONI	BASSO EMISSIVI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	T.I.M.	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	EVACUATI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	AEROGEL	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
VETRI A SELETTIVITÀ ANGOLARE	OKASOLAR	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	ENERGETICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	MICRORETICOLATO	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	INTEGRATI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
VETRI CROMOGENICI	ELETTROCROMICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	TERMOCROMICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	CRISTALLI LIQUIDI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	FOTOCROMICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
VETRI SPECIALI	TERMICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	ACUSTICI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	STRUTTURALI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]
	LUMINOSI	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]	[Icona]

Quadro 1. Adattabilità dei vetri sperimentali alle diverse configurazioni dell'involucro. In un'ottica di prestazionalità ecocompatibile è imprescindibile parlare di vetri innovativi nel loro interfacciarsi prevalentemente "passivo" con l'illuminazione naturale e l'energia solare, senza poter scindere troppo questi due fondamentali aspetti: le tipologie d'involucro trasparente, semitrasparente, traslucido e a selettività angolare che sono oggetto di questi due quadri sistemici ne sono l'esempio eclatante. I tanti tipi di vetro interessati da queste tipologie si possono sostanzialmente sistemizzare in 4 grandi categorie: i vetri ad alte prestazioni; i vetri a selettività angolare; i vetri cromogenici; i vetri speciali. Per procedere ad un raffronto sinottico

comparativo tra le principali caratteristiche prestazionali offerte da ogni tipo di vetro delle 4 categorie è stato costruito un primo quadro generale che prende in analisi l'adattabilità di tali vetri sperimentali con le diverse configurazioni dell'involucro. Dato, in alcuni casi, l'alto grado di innovazione e di sperimentabilità in gioco, si è ritenuto opportuno segnalare, ad oggi, il loro grado di disponibilità sul mercato, di sviluppo in corso (proximità all'immissione sul mercato) e di fase di ricerca pura. Da tale rassegna critica si ricava già un primo dato confortante e che lascia ben sperare per il prossimo futuro sulla più larga e diffusa varietà di offerta nel reale mercato edilizio di questo eccezionale settore di ricerca sperimentale: ben due terzi delle

tipologie di vetri esaminati è già disponibile, e solo in tre casi (pari al 18% di quelli presentati nel quadro complessivo) abbiamo l'incognita della piena applicabilità, in quanto ancora in fase di sviluppo della ricerca: i vetri evacuati, i termocromici e i fotocromici, per i quali mancano ancora, escludendo quelle puramente sperimentali e prototipiche, reali applicazioni nell'edilizia corrente per quanto avanzata e innovativa. Riguardo al fattore di adattabilità alle diverse configurazioni geometrico/spaziali dell'involucro, che per semplificare sono state riferite alle quattro tipologie del "profilo a geometria complessa"; del "profilo piano"; del "profilo a lamelle" e del "profilo curvo"; è interessante segnalare che in tre delle quattro famiglie di vetri,

ad esclusione cioè di quella dei "vetri a selettività angolare" che presenta la caratteristica non indifferente di ospitare in modo integrato elementi aggiuntivi al vetro in sé, vi è un discreto numero di tipologie di vetri sperimentali che ha un'altissima adattabilità, quasi sempre confortata dalla reale applicazione su recenti casi di studio. Si ricordano tra questi, per la grande adattabilità, i "vetri basso emissivi" per la famiglia dei vetri ad alte prestazioni, i "vetri fotocromici" per la famiglia dei vetri cromogenici, e i "vetri termici" nonché i "vetri luminosi" per quella dei vetri speciali.

COMPARAZIONE TRA LE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI VETRI COMUNI ED I VETRI SPERIMENTALI				
VETRI COMUNI		VETRI SPERIMENTALI		
VETRO PIANO CHIARO (5MM) TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 1,48	CON INVESTIMENTI SELETTIVI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 1,48	OKASOLAR TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 1000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	ELETTROCROMICI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 / 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 / 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) 10 COSTO (€/MQ) 1,120	TERMICI/HEAT MIRROR TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 1000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,00
VETRO RIFLETTENTE (6MM) TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 1,48	T.I.M. TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 4000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	ENERGETICI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 1000 X 600 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	TERMOCROMICI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 / 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 / 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) 10 COSTO (€/MQ) 1,120	ACUSTICI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,00
DOPIO VETRO CHIARO (5-12-5) TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 0,8 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 1,48	VETRI EVACUATI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 4000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) 10 COSTO (€/MQ) 2,20	MICRORETIPOLD TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 1000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	CON CRISTALLI LIQUIDI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 / 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 / 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 200 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) 1.500-20 COSTO (€/MQ) 1,600	STRUTTURALI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MINIME (MM) 2000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,00
U-GLASS (6+12+6) TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 0,8 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 1,48	AEROGEL TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 0,04 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 1000 X 600 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	INTEGRATI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 2000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,20	FOTOCROMICI TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,10 / 1,10 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 / 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 1000 X 2000 DURABILITÀ (ANNI) >10 COSTO (€/MQ) 2,00	LUMINOSI L.E.D. TRASMITTANZA TERMICA K (W/MQK) 1,24 TRASMISSIONE LUMINOSA TL(%) 88 DIMENSIONI MASSIME (MM) 6000 X 3210 DURABILITÀ (ANNI) >30 COSTO (€/MQ) 2,00

Quadro 2. Le principali caratteristiche prestazionali dei vetri sperimentali e loro comparazione con i vetri comuni. In questo secondo quadro si è tentato nella maniera più sintetica possibile di operare una comparazione sinottica tra le prestazioni fondamentali dei 16 tipi di vetri sperimentali presi in esame. È inoltre favorito un secondo livello di lettura, per il quale i 4 tipi di ognuna delle 4 grandi categorie di vetri sperimentali vengono comparati nelle loro prestazioni alle 4 tipologie di "vetri comuni" che più si prestano ad essere considerate le "mamme" delle altrettante categorie evolutive dei sunnominati vetri sperimentali. In particolare, tra i vetri comuni si sono presi in esame il vetro piano chiaro da 5 mm, il vetro piano riflettente da 6 mm, il doppio vetro chiaro da 5-12-5, e l'U-glass da 6-12-6. I parametri prestazionali presi a riferimento sono: la trasmittanza termica, la trasmissione luminosa, le dimensioni massime raggiungibili da un pezzo unico di quel tipo di vetro, la

curabilità e, non ultimo, il costo, che sappiamo essere la causa centrale allo stato attuale di sviluppo della ricerca dell'ancora limitata applicabilità di una buona metà dei casi analizzati. Salta all'occhio che, in fatto di trasmittanza termica, oggi sappiamo condizionare fortemente il bilancio generale nel calcolo del rendimento e dell'efficienza energetica di un edificio: tralasciando i valori catastrofici dei vetri mostrati del tipo "piano chiaro" e "riflettente", anche il migliore dei vetri comuni (U-glass) presenta valori (intorno a $k=2$ W/mqk) nettamente più alti (e quindi nettamente inferiori sul piano prestazionale) al meno performante dei vetri sperimentali. Tra i quali, d'altra parte, vi sono tipologie che offrono valori di trasmittanza eccezionali, quali ad esempio gli Aerogel (vedi quadro 3), i Termici, i Termocromici (vedi quadro 4), i T.I.M. (vedi quadro 5). In alcuni casi il contraltare prestazionale viene dato analizzando il comportamento di molti vetri

sperimentali alla Trasmissione luminosa, parametro che vede i valori offerti dai comuni "vetro piano chiaro" e "doppio vetro piano chiaro" ovviamente irraggiungibili, ma quelli presentati dagli altri vetri comuni del tipo "riflettente" e "u-glass" assolutamente comparabili e molto spesso superati da buona parte dei vetri sperimentali. D'altra parte è caratteristica peculiare di quasi tutti i vetri sperimentali quella, oltre che di interagire ottimamente con gli aspetti energetico-termici dell'irraggiamento solare, anche di controllare, variare e graduare proprio il flusso luminoso in entrata; tant'è che, a fronte di una sacrificata trasmissione luminosa diretta, vi è spesso un'eccezionale risposta alla diffusione dell'illuminazione naturale negli ambienti interni.

Fig. 1. Vetri basso emissivi.
Dominique Perrault, Complesso industriale in Rue Berlier, Parigi. I vetri basso emissivi svolgono una buona prestazione di contenimento delle dispersioni termiche invernali senza perdere in trasparenza.

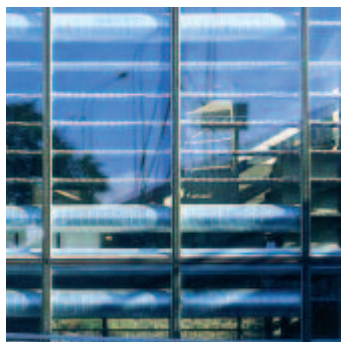
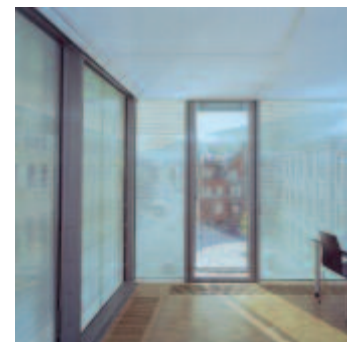
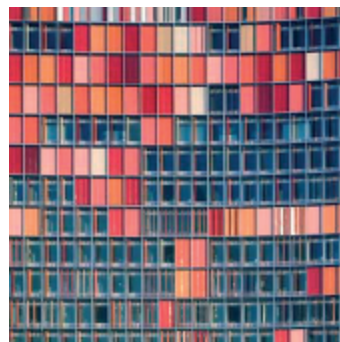


Fig. 2. Vetri ad elevate prestazioni.
Sauerbruch Hutton, Uffici amministrativi della GSW, Berlino. L'applicazione dei vetri ad elevate prestazioni con infissi a taglio termico in modo diffuso su un involucro non comporta necessariamente la produzione dell'effetto anonomo tipo "facciata continua". La facciata in vetro si presenta come un gioioso mosaico di pannelli frangisole rosso-arancio sul lato ovest, per modificarsi completamente ad est, dove assume un colore bianco argentato.



tezza che le industrie produttrici ed i ricercatori pongono sul loro lavoro. Per questo il futuro dell'involucro prevalentemente leggero e vetrato (trasparente, traslucido o schermato che sia) in architettura o in altri campi, può essere concepito come soggetto di ricerca e sviluppo, nell'ambito dei quali le attività si svolgono in un clima di segretezza simile a quello riscontrabile nei campi della difesa o delle industrie farmaceutiche. D'altra parte, e fortunatamente, alcune informazioni sulle innovazioni tecnologiche di controllo della trasparenza riescono a circolare in modo più o meno libero, con diversi gradi di approfondimento, permettendo la prefigurazione e l'identificazione dei possibili obiettivi da parte della stessa industria e degli architetti che dovranno decidere l'impiego progettuale di tali nuove risorse. La gamma delle concrete possibilità di applicazione si può articolare in quelle che probabilmente accadranno, quelle che probabilmente non accadranno, e quelle che potrebbero accadere solo una volta superate non indifferenti difficoltà che si pongono in una situazione intermedia tra le prime due categorie. Le cose appena dette riguardo al futuro dell'involucro prevalentemente vetrato in architettura, spingono a considerarlo da almeno due punti di vista:

- primo, in relazione ai possibili scopi che industria ed architetti

possano assegnare a tale tipo d'involucro rispetto alle prestazioni del materiale;

- secondo, in relazione alle strade della ricerca che sembra promettere grandi benefici.

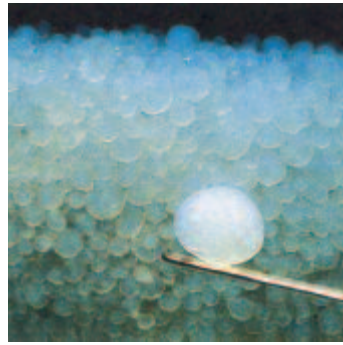
Riflettiamo un attimo sul vetro in sé: esso è uno dei più importanti materiali usati dall'uomo in quanto diffuso in una serie enorme di attività applicative in tutti i campi della produzione dell'artificiale. A fronte di tante potenziali virtù, esso presenta viceversa tre serie di problemi di fondo. Innanzitutto, indistintamente in tutti i campi, si deve tener conto di una prima grossa e delicata problematica, che tira in ballo la complessa questione della sicurezza: a meno che trattato, o prodotto con trattamenti speciali e attualmente molto costosi, il materiale vetro ha una scarsa resistenza alla rottura e, quando si rompe, risulta essere molto pericoloso. Inoltre, non c'è dubbio che la sua diffusione sempre più accelerata nell'architettura contemporanea (che non a caso Frampton connota con due aggettivi: leggera e trasparente), è fortemente legata alle tante altre virtù che si riscontrano quando si ovvia al problema di base della sicurezza: il suo uso consente di ampliare lo spazio, provvede a favorire e potenziare l'impiego d'illuminazione naturale permettendone l'ingresso in modo diretto o contribuendo a diffonderla all'interno degli

ambienti integrandola con appositi elementi o sistemi; ed infine offre la non trascurabile possibilità dal punto di vista energetico di sviluppare effetto serra con generazione e accumulo di calore. Ma è ormai purtroppo scontato che tali benefici necessitano di un controllo e di una gestione tale da non creare l'effetto contrario, ovvero condizioni di discomfort che sono estremamente facili a nascere in determinate stagioni (fenomeni di abbagliamento durante tutto l'anno ed eccesso di apporto termico da effetto serra durante le stagioni calde), e che comunque è molto oneroso in termini economici e tecnologici dominare e indirizzare a proprio vantaggio. Infine, le virtù legate alla sua trasparenza comportano problemi, quali la pulizia e la manutenzione, a cui si aggiungono altri elementi che incidono in senso negativo sugli aspetti gestionali, quali la facilità a sporcarsi e a deteriorarsi. Insomma, se non attentamente progettato, il prezioso "posto vicino alla finestra" potrebbe essere il luogo più freddo o il luogo più caldo in un edificio, il più scomodo per gran parte dell'anno, il più penalizzato da fenomeni di abbagliamento e, a lungo andare, il più sporco e deteriorato. Considerando il materiale dal punto di vista del passaggio della luce, questi difetti diventano ancora più rilevanti; non a caso Wiggington ha scritto: "i produttori del vetro hanno ancora molto

Fig. 3. Vetri Okasolar.
O. Reutter, Edificio per uffici, Esslingen, Germania. Per l'involucro prevalentemente vetrato il progettista ha utilizzato deflettori ad elevata riflessione di diversa sezione tipo "Okasolar" ai fini del controllo sulla luce naturale. Questo tipo di pelle ottimizza le condizioni di luce necessarie per lo svolgimento di attività terziarie, in cui il bisogno di luce indiretta ed il mantenimento del contatto con l'esterno risultano fondamentali ai fini della qualità degli ambienti interni lavorativi.



Fig. 4, 5. Vetri Aerogel.
Thomas Herzog, Studio, Monaco di Baviera. L'immagine del dettaglio di una parte significativa dell'involucro mostra sulla sinistra la caratteristica semiopacità del vetro aerogel (che però dall'interno risulta semitrasparente) di cui la fig. 5 rappresenta una sezione del materiale al silice di tipo granulare notevolmente ingrandito. Le caratteristiche offerte dal materiale aprono la strada per gli sviluppi futuri delle tecnologie relative all'involucro trasparente e traslucido.



da fare prima di arrivare ad ottenere un involucro perfetto per le nostre dimore! L'industria del vetro ora deve muoversi decisamente in avanti per offrirvi materiali con prestazioni che superino gli inconvenienti, e sfruttino le nuove tecnologie con un costo ridotto, che si dimostri accettabile nell'industria edilizia del futuro". Molte delle tecnologie necessarie a questi scopi esistono già o si stanno consolidando anche in altri campi per poi essere riadattate. Ad esempio è significativo il caso di alcune tecnologie di rivestimento avanzate, peraltro già molto usate nell'edilizia, che si stanno sviluppando soprattutto grazie alla sperimentazione nel campo dei trasporti e in particolare in quello aerospaziale, e delle quali comunque è chiaramente solo l'inizio del potenziale sviluppo. Nel cercare di migliorare un materiale, ed il contesto progettuale nel quale risulta essere più adatto, è possibile analizzare l'intera serie di prestazioni e proprietà, e allo stesso tempo avere chiari molti più requisiti, che portano il ricercatore a lavorare partendo dalle problematiche, passando per obiettivi delineati e concreti e approdando a specifiche strategie operative e soluzioni tecnologiche. I benefici devono fluire in anticipo per l'architettura e l'industria, pertanto dovremmo aspettarci quantomeno entro la fine del ventunesimo



Fig. 6. Vetri energetici.
Jourda & Perraudin, Herne Sodingen, dettaglio della parete con vetri energetici ad integrazione di fotovoltaico. Nella concezione generale dell'intervento, l'edificio mostra i programmi e gli sforzi fatti dai progettisti ai fini dello sviluppo di tecnologie per lo sfruttamento energetico delle fonti rinnovabili. La grande scatola vetrata integrata con celle fotovoltaiche è in grado di soddisfare il fabbisogno di energia elettrica dell'intera struttura, inoltre contribuisce alla protezione solare ai fini del mantenimento delle condizioni climatiche interne.

secolo la stratificazione di programmi fortemente strutturati verso tali obiettivi. Non sorprendono i risultati ottenuti dai produttori che hanno perseguito, negli ultimi dieci anni, grandi passi in avanti compiuti nel tentativo di indirizzare le tecnologie verso il futuro dell'involucro trasparente, semitrasparente, traslucido e a opacità variabile nell'architettura ecoefficiente e ad alto rendimento energetico. La natura internazionale degli sforzi in atto, oggi molto significativa, si basa – e da questa è resa possibile – sia sulla natura intercontinentale della ricerca sia sulla connessione dell'industria mondiale dei produttori di vetro (ferme restando le considerazioni fatte in apertura di questo articolo sulle fisiologiche segretezze implicite nello sviluppo dei processi sperimentali). Vi sono numerose linee di ricerca che possono essere definite delle vere e proprie anticipazioni di una realtà di processo e di produzione industriale che non solo sta caratterizzando la sperimentazione degli ultimi anni, ma soprattutto e certamente caratterizzerà quella dei prossimi decenni, e che possono essere sintetizzabili nelle seguenti 5 linee direttive:

- la fusione del muro con la finestra, come concetto evoluto di involucro dell'edificio proiettato su una maggiore efficienza ecologica ed energetica;
- lo sviluppo delle vetrate con

Quadro 3. I vetri ad alte prestazioni del tipo "Aerogel".
Gli aerogel sono materiali costituiti da particelle di silice. La disposizione spaziale di tali particelle è realizzata grazie a particolari processi produttivi delle strutture microcellulari porose. Una delle caratteristiche fisiche più importanti di questi materiali è la scarsissima densità apparente: solo il 2-5% del volume, infatti, è costituito da silice, mentre il restante 95-98% è riempito di aria, di conseguenza la densità volumetrica è pari ad appena 3 Kg/mc.
Dal punto di vista delle proprietà termiche essi presentano un comportamento molto interessante, infatti si riescono a raggiungere valori di conduttività di 0.1-0.2 W/m°C comparabili a quelli dei migliori materiali isolanti. L'estrema fragilità, la necessità di essere protetti dall'umidità e lo scattering sono i maggiori problemi che devono essere affrontati negli aerogel.
Gli aerogel vengono realizzati in due formati: granulare e monolitico. Nel primo caso il materiale di base viene prodotto in forma di palline di circa 8-12 mm di diametro. Con questi granuli viene riempita l'intercapedine tra due vetri che svolgono anche una funzione protettiva. A causa dello scattering interno e delle discontinuità superficiali il componente è traslucido. Nel secondo caso, gli aerogel monolitici sono costituiti da lastre di spessore variabile tra 8 e 20 mm e in questo caso, pur rimanendo l'effetto generale di diffusione, si mantiene molto meglio la caratteristica di visibilità, quindi possono essere applicati anche addirittura in sostituzione delle finestre. Le proprietà di una sistema composto da 20 mm di aerogel monolitico inserito in un doppio vetro sono: $t_v=0.696$, $U_c=0.857 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
Le ricerche e lo sviluppo tecnologico in campo vetrario hanno permesso di raggiungere livelli di isolamento elevatissimi abbassando la trasmissione a valori intorno a 1 W/m²K. Ciò è stato possibile operando sulle componenti convettive e radiative delle vetrate isolanti, prima sostituendo nell'intercapedine l'aria disidratata con gas maggiormente isolanti (helioran, esafluoruro di zolfo, kripton, ecc.) poi mediante depositi atomici di ossidi e/o metalli selettivi. Detti depositi operano sulla radiazione termica, con la funzione di riflettere all'interno del locale il calore emesso dall'ambiente medesimo. L'elevata riflessione riduce al minimo l'assorbimento e quindi le riemissioni del calore; per questo motivo le vetrate così trattate vengono definite a bassa emissività.

AEROGEL

VETRO TEMPRATO

VETRI AL RIMBIO

VETRI SODICI CALDI

RIEMPIMENTO IN AEROGEL

CONDUTTANZA TERMICA (W/MK)

SPESORE DI AEROGEL, ARIA E GAS NOBILI (MM)

- VETRO SINGOLO
- VETRO CAMERA
- VETRO CAMERA CON RIVESTIMENTO BASSO EMISSIVO
- AEROGEL SOTTO PRESSIONE ATMOSFERICA
- AEROGEL A 0,1 ATM

GRANULARE

Ø 1-6 MM

COMPATTO

TRASMISSIONE DEL CALORE

IRRADIAMENTO: 98%
VIENE INIBITA LA TRASMISSIONE CONVETTIVA
CONDUZIONE: 2%

RIDUZIONE DELLO SCAMBIO TERMICO

INTERCAEDINE
LA SUA GEOMETRIA E COMPOSIZIONE (98% ARIA, 2% SILICE) RIFLETTE LA RADIAZIONE SOLARE RIDUCENDO LO SCAMBIO DI CALORE PER IRRADIAMENTO.

GLI AEROGEL SONO MATERIALI COSTITUITI DA PARTICELLE DI SILICE. LA LORO DISPOSIZIONE SPAZIALE REALIZZA DELLE STRUTTURE MICROCELLULARI POROSE.

TRASMISSIONE RADIAZIONE SOLARE

TRASMISSIONE (%)

LUNGHEZZA D'ONDA (NM)

UV VISIBLE INFRAROSSO

TRASMISSIONE DELLA LUCE

LA LUCE VIENE DEVIATA DALLA DISCONTINUITÀ DEI GRANULI (COMPONENTE TRASPALCIDO), O DISTRIBUITA DALLE PARTICELLE DEL BLOCCO MONOLITICO (SEMI TRASPARENTE)

TRASMISSIONE DELLA LUCE A SECONDA DEL FORMATO

LA STRUTTURA È COSTITUITA DA PARTICELLE PICCOLE (1) CON UNA DENSITÀ SIMILE AL VETRO. SONO RAGGRUPPATE IN PARTICELLE PIÙ GRANDI CON DENSITÀ PARI ALLA METÀ DI QUELLA DEL VETRO, FORMANDO UN MATERIALE ESTREMAMENTE POROSO. LA DENSITÀ COSTITUITA È CIRCA 1/20 DI QUELLA DEL VETRO.

BLOCCO MONOLITICO

Ø 2-5 NM

GRANULARE

Ø 1-6 MM

PROPRIETÀ OTTICO TERMICHE

ELEVATA RIFLESSIONE SOLARE E ELEVATA TRASMISSIONE LUMINOSA. PERMETTE UNA DIFFUSIONE UNIFORME DELLA LUCE CON INTENSITÀ BEN DISTRIBUITA.

U (W/M²K)

COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE TERMICA: **FS%**

FATTORE SOLARE - FLUSSO ENERGETICO SOLARE: **TL%**

FATTORE DI TRASMISSIONE LUMINOSA: **λ** (W/MK) ; **TV** ; **IRIP**

CONDUTTIVITÀ ; TRASPARENZA ; RIFRAZIONE

DOPPIO VETRO CHIARO AEROGEL	
U	0,80
FS%	45,0
TL%	60,0
λ	0,02
TV	0,71
IRIP	AEROGEL 1,05
IRIP	VETRI ORDINARIO 1,56

CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE

STRUTTURA DI TRASPARENZA DIFFONDENTI

PARTIZIONI VERTICALI LUCERNARI, COPERTURE TRASPARENTI (NON CALPESTABILI)

CONDIZIONI DI GIORNO

TUTTE LE ALTEZZE SOLARI
TUTTE LE CONDIZIONI DI GIORNO

APPORTO TERMICO SOLARE

VETRO ORDINARIO

AEROGEL

LEGENDA:
■ ENERGIA TRASMessa PER TRASPARENZA
■ ENERGIA ASSORBITA E CEDUTA ALL'INTERNO
■ ENERGIA ASSORBITA E CEDUTA ALL'ESTERNO
■ ENERGIA RIFLESSA

CONTROLLO DELLA RADIAZIONE SOLARE

STRUTTURA QUASI OMOGENEA, GRANULARE O MONOLITICA DI SILICE AEROGEL INTERPOSTA TRA LE LASTRE.

CONDIZIONI DI GIORNO

STABILE

CONDIZIONI DI GIORNO

OSCURAMENTO.....INTERNO/ESTERNO

VANTAGGI

- MASSIMA PERMEABILITÀ ALL'IRRADIAMENTO SOLARE CON ELEVATO ISOLAMENTO TERMICO.
- AUMENTO DELLE SUPERFICI VETRATE PER UNA MAGGIORE DISPONIBILITÀ DI LUCE DIFFUSA CON UN ELEVATO ISOLAMENTO TERMICO.
- MIGLIORAMENTO DELL'INTENSITÀ DI ILLUMINAZIONE DELLO SPAZIO.
- BUON ISOLAMENTO ACUSTICO.
- PROTEZIONE DALL'ABBAGLIAMENTO.
- ELEVATA DISPONIBILITÀ DI LUCE IN AMBIENTE CON CONFORMAZIONE DIFFUSA.

SVANTAGGI

- NON TRASPARENTE (TRASPALCIDO), NON CONSENTE LA VISIONE TRA AMBIENTE INTERNO ED ESTERNO.
- I CONTRASTI TRA ZONE D'OMBRA E ZONE IN LUCE VENGONO MEDIATI, CON CONSEGUENTE APPIATTIMENTO DEGLI SPAZI E DEGLI OGGETTI CONTENUTI ALL'INTERNO.
- ELEVATA PROTEZIONE DEL SISTEMA DI SIGILLATURA CONTRO L'UMIDITÀ.
- FRAGILE
- DIFFICOLTÀ PER LA PRODUZIONE NEI SISTEMI D'INVOLUCRO

COMPOSIZIONE E CARATTERISTICHE.....
PROPRIETÀ.....



Figg. 7, 8, 9. Vetri termocromici. Ancora in fase di sperimentazione, i vetri termocromici sfruttano la caratteristica dei materiali trasparenti di modificare le proprietà ottiche in funzione della variazione di temperatura. La reazione chimica è di tipo reversibile una volta ripristinate le condizioni termiche entro le quali è statica la reattività chimica. Lo studio applicativo di questa tipologia di vetri appartenenti alla più ampia famiglia dei vetri cromogenici come elementi applicati all'involucro architettonico, è innovativo in quanto prevede l'esposizione delle due facce (interna ed esterna) a condizioni termiche differenti.

valore di conduttività molto basso, che comportano l'impiego integrato delle tipologie d'isolamento trasparente o traslucido;

- l'impiego di studi ottici sempre più perfezionati per ridirezionare la luce nell'involucro semitrasparente a selettività angolare;
- l'ulteriore sviluppo di rivestimenti auto-pulenti per l'involucro trasparente o semitrasparente;
- lo sviluppo di quello che potremmo definire "l'involucro polivalente", ovvero di facciate la cui configurazione e le cui prestazioni possano essere variate sotto il controllo degli utenti o sotto la gestione di sistemi automatizzati o semiautomatizzati di tipo "intelligente".

Coerentemente con la ricerca in atto su questi campi relativi allo sviluppo della "pelle" dell'edificio come controllore ambientale, eco-compatibile ed energeticamente efficiente, l'industria edilizia e la ricerca tecnologica sono interessate anche all'uso sempre più diffuso in facciata di microprocessori, che possono essere collegati all'impiego del gran numero di sistemi integrativi all'involucro stesso, quali ad esempio pannelli di brise-soleil, pale o lamelle schermanti orientabili, per la calibratura variabile, nel corso della giornata o delle stagioni, dei processi di rifrazione della luce; o fibre ottiche e specchi solari per il trasporto della luce naturale nelle zone più interne dell'edificio.

Tali studi e ricerche hanno un

valore immenso, e il loro progredire di anno in anno sempre più velocemente segna le tappe importanti di un'agenda per progettisti e produttori che può considerare, per l'applicabilità di molti di questi sistemi tecnologici, periodi che ormai, tranne in alcuni casi, possono essere definibili a breve o medio termine (solo nei casi più complessi l'aspettativa del perfezionamento è di qualche decennio, mentre nella maggior parte dei casi essa si potrebbe valutare da pochi anni a un decennio), con obiettivi che si possono attestare sulle seguenti 12 questioni prevalenti:¹

1. la commutazione ottica, usando materiali sempre più perfezionati elettrocromici, fotocromici, termocromici, gazocromici, a cristalli liquidi, a particelle sospese, con l'uso di rivestimenti con selezione della lunghezza d'onda desiderata, e con lo sviluppo di materiali sempre più "intelligenti";
2. il miglioramento di caratteristiche di daylighting, attraverso l'uso di materiali con proprietà angolari variabili;
3. il miglioramento dei valori isolanti in materiali trasparenti e traslucidi, a partire dallo sviluppo di aerogel, polimeri e rivestimenti;
4. il miglioramento delle caratteristiche di azione degli agenti atmosferici di vetri con rivestimenti auto-pulenti;
5. lo sfruttamento della concentrazione di luce con materiali che consentono la distribuzione dell'il-

Quadro 4. I vetri cromogenici del tipo "Termocromici"

Sono definiti termocromici quei materiali trasparenti che modificano le proprietà ottiche in funzione della variazione di temperatura. Ciò avviene tramite reazione chimica reversibile una volta ripristinate le condizioni termiche entro le quali è statica la reattività chimica.

A modificare le caratteristiche di un materiale termocromico può essere una modifica dell'equilibrio molecolare, tramite reazione chimica indotta, oppure la transizione della struttura cristallina.

Il comportamento termocromico si può avere con svariati composti organici, inorganici e in film di ossidi metallici, i quali presentano la particolarità di trasformarsi in conduttori a determinate temperature. Tra questi ultimi il più interessante è l'ossido di Vanadio in quanto riesce a passare da uno stato di semiconduttore allo stato metallico superando la temperatura critica di 70°C.

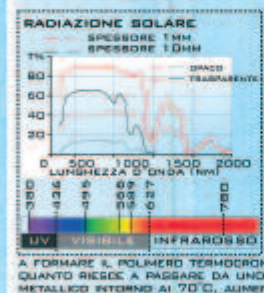
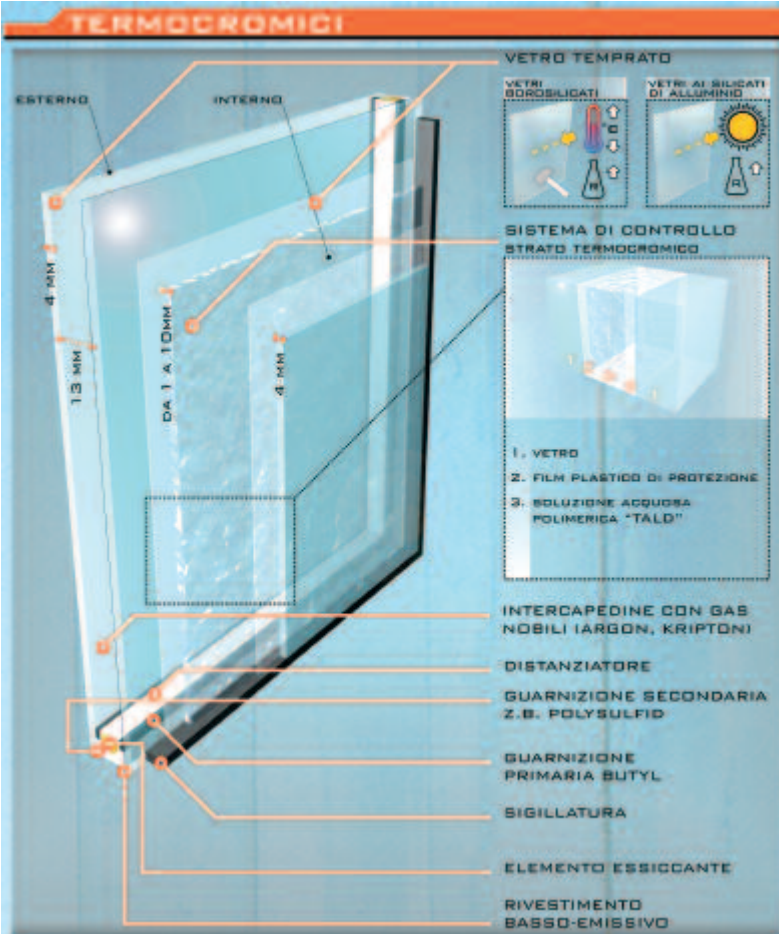
Il superamento di tale temperatura induce nel materiale una maggiore capacità riflettente rendendolo più sensibile alla radiazione dell'infrarosso. La soglia dei 70°C è uno dei punti critici di questi materiali anche se molto si sta facendo per abbassare la temperatura critica alla soglia della temperatura media ambientale.

Prestazioni termocromiche sono state raggiunte con l'invenzione di speciali gel inseriti tra due strati di film plastici. Il comportamento dei materiali termocromici, nei confronti della radiazione solare consente di migliorare i consumi energetici dell'edificio diminuendo i carichi di raffreddamento e creando una condizione climatica ambientale migliore.

Come si è constatato, un'altra caratteristica estremamente interessante per l'applicazione all'edilizia di questi dispositivi, riguarda l'alta percentuale di luce trasmessa sia nello stato trasparente che in quello opaco.

Occorre comunque sottolineare che la trasmissione di luce che caratterizza questi materiali è 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 visibilità ed è invece desiderabile la privacy o comunque un effetto di schermatura.

...COMPOSIZIONE E CARATTERISTICHE... PROPRIETÀ...



PROPRIETÀ OTTICO TERMICHE

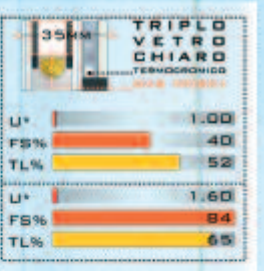
VARIAZIONE DELLA TRASMISSIONE LUMINOSA E SOLARE.
RIFRAZIONE E DIFFUSIONE DIPENDE DALLE CONDIZIONI DI TRASPARENZA.

U^* (W/MQK)
COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE TERMICA

$E_{S\%}$
FATTORE SOLARE - FLUSSO ENERGETICO SOLARE

$EL\%$
FATTORE DI TRASMISSIONE LUMINOSA

*IL MATERIALE È ANCORA IN FASE SPERIMENTALE I VALORI INDICATI SONO DI RIFERIMENTO.



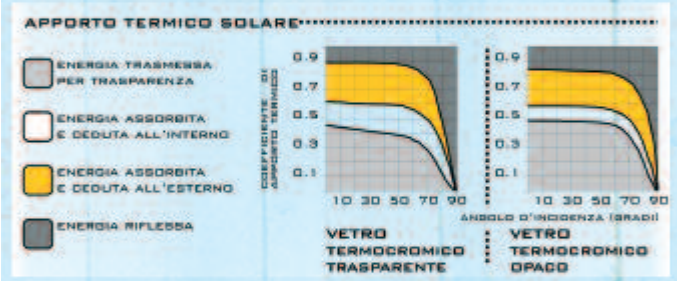
CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE

TRASPARENTE E DIFFONDENTE

PARTIZIONI VERTICALI, LUCERNARI, COPERTURE TRASPARENTI (NON CALPESTABILI)

TUTTE LE ALTEZZE SOLARI

GIORDA BEREND

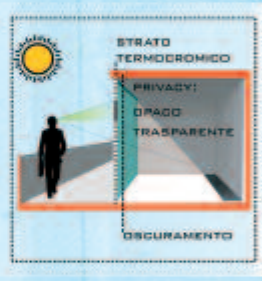


CONTROLLO DELLA RADIAZIONE SOLARE

STRATO TERMOCROMICO COSTITUITO DA COMPOSTI ORGANICI, INORGANICI E IN FILM DI OSSIDI METALLICI. LE MOLECOLE POLIMERICHE RESTANO TRASPARENTI FINO AD UNA TEMPERATURA CRITICA CHE, SE SUPERATA, RENDE IL MATERIALE OPACO CON COLORAZIONE BIANCASTRA CHE RIFLETTE LA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE.

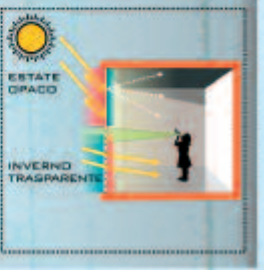
DINAMICO (AUTOREGOLANTE)

OSCURAMENTO.....INTERNO/ESTERNO



VANTAGGI

- COMPORTAMENTO DINAMICO, ADATTABILITÀ IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI ILLUMINAZIONE NATURALE ESTERNE.
- ADATTABILITÀ STAGIONALE.
- CONTROLLO PASSIVO DEL SISTEMA.
- ADATTABILE AI SISTEMI DI FACCIATA ESISTENTI.
- NON INCIDONO SULL'ASPETTO ESTERNO DELL'EDIFICIO.
- ELEVATA DISPONIBILITÀ DI LUCE ALL'INTERNO DELL'AMBIENTE.
- VISTA VERSO L'ESTERNO.
- MANTENIMENTO TONALITÀ DELLA LUCE.



SVANTAGGI

- PROBLEMI DI ADATTAMENTO (E QUINDI) DISCOMFORT VISIVO) DA PARTE DEGLI UTENTI A CAUSA DEL PASSAGGIO NON GRADUALE DAL COMPONENTE OPACO A QUELLO TRASPARENTE (SI DETERMINANO QUINDI IMPROVVISE VARIAZIONI DEL LIVELLO DI ILLUMINAMENTO).
- NON COMPLETAMENTE PERMEABILE ALLA VISTA ANCHE NELLA CONDIZIONE DI COMPLETA TRASPARENZA, LA IMMAGINI NON RISULTANO MAI NITIDE.



Fig. 10, 11. Vetri a cristalli liquidi. Se pur ancora poco utilizzati per facciate esterne, questi tipi di vetri stanno trovando ampio utilizzo nelle partizioni degli spazi interni, grazie alle capacità di mutare le proprie caratteristiche di opacità e trasparenza a seconda delle richieste. Si

prevede che la sperimentazione ed il miglioramento delle prestazioni condurrà in breve tempo ad un ampio utilizzo di questo tipo d'involucro dinamico e mutevole con elevate caratteristiche di trasparenza e opacità.



luminazione naturale, usando fibre ottiche, apparecchiature olografiche e simili;

6. il miglioramento della resistenza: riduzione della fragilità con conseguente miglioramento del rapporto forza/leggerezza;

7. il miglioramento della resistenza al fuoco;

8. l'avanzamento della tecnologia manifatturiera, concentrandosi particolarmente su sistemi integrati e flessibili;

9. la razionalizzazione delle dimensioni: la rimozione della costrizione dell'ampiezza dei singoli elementi di vetro, e la coordinazione dei criteri del taglio per le lavorazioni secondarie;

10. il miglioramento della lavorabilità in sé;

11. il trasferimento continuo della sperimentazione tecnologica, in particolare dal campo automobilistico, aerospaziale e nautico, che affronta in anticipo problemi apparentemente irrisolvibili se affrontati con tecnologie edili;

12. lo sviluppo della "risposta intelligente" con l'uso esteso delle

cosiddette "superwindow": l'idea secondo la quale i vetri, i loro rivestimenti e i materiali compositi sono combinati insieme per produrre involucri edilizi che si comportino come una versione progettata della pelle umana nella quale aree diverse della superficie di facciata o di copertura possano comportarsi in modi, durate e tempi diversi, a seconda delle esigenze differenziate delle varie parti dell'organismo edilizio.

Nota

I quadri sistemici presentati in questo articolo sono alcuni dei risultati elaborati nella ricerca condotta dal prof. Fabrizio Tucci dal titolo "Sistemi tecnologici innovativi per l'efficienza ecologica ed energetica dell'involucro architettonico", svolta nell'ambito delle attività del Dipartimento ITACA, Sezione TECA, Laboratorio AMSA diretto dal prof. Salvatore Dierna. I quadri sono stati elaborati con la collaborazione dell'arch. Andrea Desideri.

¹ Per un approfondimento delle tematiche trattate in questo articolo si veda il libro dello stesso autore: Tucci F., *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea Editrice, Firenze, 2006.

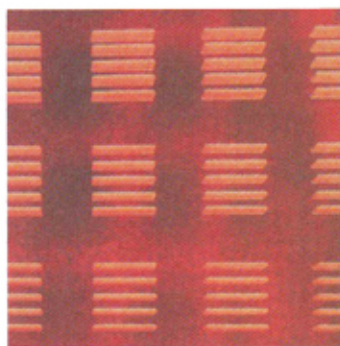
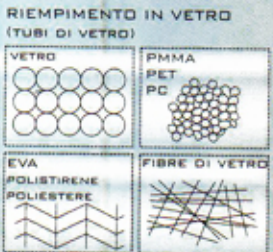
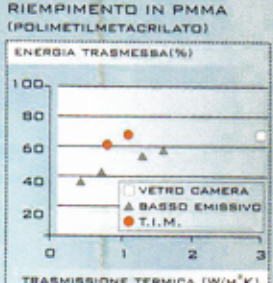
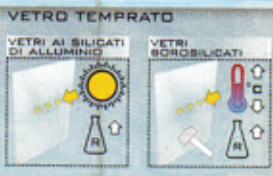
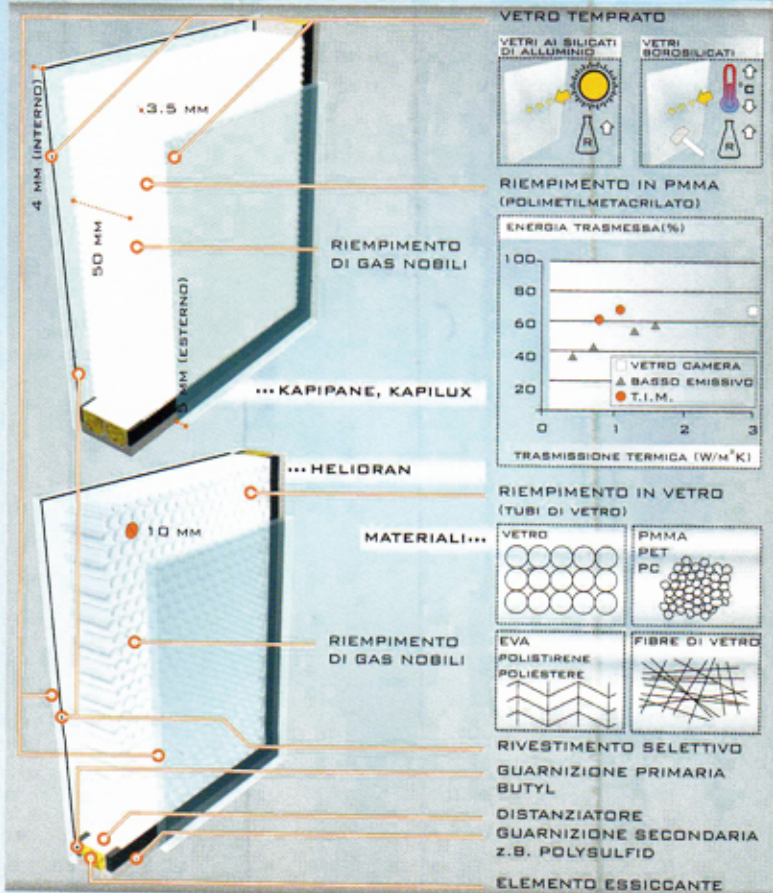


Fig. 12. Vetri fotocromici. Anche i vetri fotocromici sono ancora poco applicati nella progettazione degli "involucri intelligenti". La capacità di cambiare le proprie caratteristiche se esposti alla luce, principalmente ai raggi UV, e di tornare al loro stato originale una volta oscurati, li rende particolarmente interessanti nelle nuove sperimentazioni sulle facciate. Finestre "intelligenti" basate su queste tecnologie rimangono trasparenti se il sole è basso nel cielo, e si scuriscono gradualmente quando il sole si alza e si fa più incidente. Arginando l'apporto termico da irraggiamento verso l'interno, l'edificio rimane globalmente più fresco e non ha bisogno dell'aria condizionata, riducendo così l'impiego di energia elettrica e l'inquinamento dell'aria associato all'emissione di combustibili fossili. Quando i livelli di luce esterna diminuiscono, la finestra gradualmente ritorna alla trasparenza originaria.

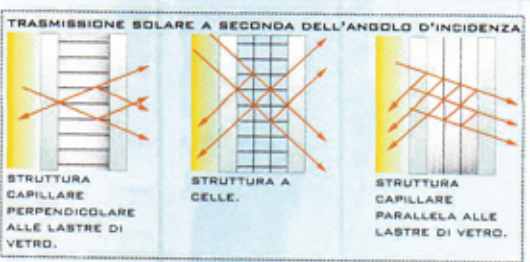
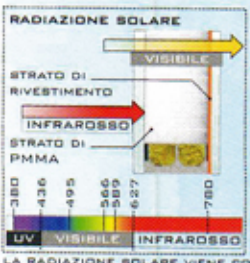
Quadro 5. T.I.M. Transparent Insulating Materials.

Questa classe di materiali deve il proprio nome alla caratteristica di avere proprietà termiche paragonabili a quelle di componenti opachi, conservando un alto valore di trasmittanza luminosa. A tal fine si utilizzano delle strutture geometriche per limitare le dispersioni termiche dovute a convezione e irraggiamento. In pratica con del materiale plastico (in alcuni prototipi anche in vetro) trasparente nel visibile e nel vicino infrarosso ma opaco nel lontano infrarosso possono essere realizzati involucri atti a bloccare i moti convettivi dell'aria e ridurre lo scambio radiativo. Tali materiali, in base alla loro struttura geometrica, si possono classificare in due gruppi. Il primo è costituito da strutture multiple parallele: vetrate o film di plastica (completamente trasparenti o traslucidi). Con l'aumentare del numero degli elementi aumenta la capacità isolante, ma anche il numero delle riflessioni interne, riducendo in tal modo la trasmissione della radiazione solare. Al secondo appartengono materiali con strutture composite, perpendicolari alla superficie vetrata, realizzate per direzionare le radiazioni verso l'interno. In questo caso va detto che ad ogni passaggio attraverso queste barriere parte della radiazione viene riflessa verso l'esterno e persa irrimediabilmente. Ciò limita fortemente il numero di strati realizzabili, per evitare un'attenuazione drammatica della trasmittanza complessiva. In questo caso le barriere vengono mantenute parallele alla direzione di propagazione e, nel caso ideale di assenza di assorbimento e diffusione durante l'attraversamento delle pareti, tutta la radiazione incidente raggiunge, indipendentemente dal numero di successive riflessioni e trasmissioni, l'altra estremità del materiale. La combinazione dell'alta trasmissione dell'irraggiamento solare ed il buon isolamento termico suggerisce l'applicazione dei Tim sulle vetrate e sui muri tipo Trombe.

T.I.M. TRANSPARENT INSULATION MATERIALS



- RIVESTIMENTO SELETTIVO
- GUARNIZIONE PRIMARIA BUTYL
- DISTRANZIATORE GUARNIZIONE SECONDARIA Z.B. POLYSULFID
- ELEMENTO ESSICCANTE



PROPRIETÀ OTTICO TERMICHE

ELEVATA RIFLESSIONE SOLARE E ELEVATA TRASMISSIONE LUMINOSA. DIFFUSIONE LUMINOSA: SI HA UNA LUCE AD INTENSITÀ UNIFORME

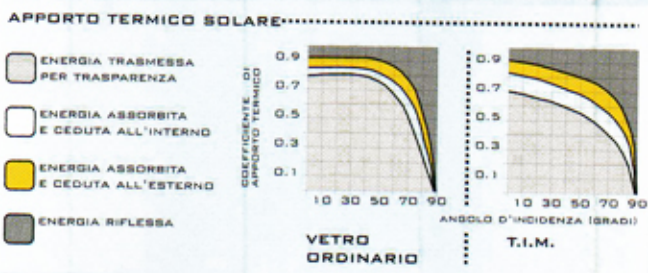
U (W/M²K)	0,80
FS%	59
TL%	73
TLD%	59
U (W/M²K)	1,10
FS%	62
TL%	82
TLD%	68

LEGENDA: KAPIPANE, KAPILUX; HELIORAN

DOPPIO VETRO CHIARO P M M A GAS NOBILI

U	0,80
FS%	59
TL%	73
TLD%	59
U	1,10
FS%	62
TL%	82
TLD%	68

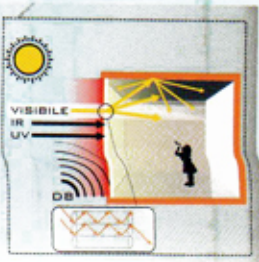
- CONTROLLO DELLA LUCE NATURALE**
- MODALITÀ DI TRASMISSIONE/RIFLESSIONE DIFFONDENTE
 - POSIZIONE PARTIZIONI VERTICALI, LUCERNARI, COPERTURE TRASPARENTI (NON CALPESTABILI)
 - ALTEZZA SOLARE E CONDIZIONI DI CIELO TUTTE LE ALTEZZE SOLARI TUTTE LE CONDIZIONI DI CIELO



- CONTROLLO DELLA RADIAZIONE SOLARE**
- MODALITÀ DI CONTROLLO STRUTTURA CAPILLARE, A NIDO D'APE, FIBRE, INTERPOSTA TRA LE LASTRE.
 - CONTROLLO STATICO
 - SISTEMI INTEGRATIVI DI CONTROLLO OSCURAMENTO.....INTERNO/ESTERNO



- VANTAGGI**
- MASSIMA PERMEABILITÀ ALL'IRRAGGIAMENTO SOLARE CON OTTIMO ISOLAMENTO TERMICO.
 - ELEVATA TRASMISSIONE LUMINOSA ANCHE NELLE ZONE PIÙ PROFONDE DELL'AMBIENTE.
 - MIGLIORAMENTO DELL'INTENSITÀ DI ILLUMINAZIONE DELLO SPAZIO.
 - BUON ISOLAMENTO ACUSTICO (43DB KAPIPANE, 50DB HELIORAN).
 - PROTEZIONE DALL'ABBAGLIAMENTO.
 - ELEVATA DISPONIBILITÀ DI LUCE IN AMBIENTE CON CONFORMAZIONE DIFFUSA.



- SVANTAGGI**
- NON TRASPARENTI (TRASLUCIDI), NON CONSENTE LA VISIONE TRA AMBIENTE INTERNO ED ESTERNO.
 - CONTRASTI TRA ZONE D'OMBRA E ZONE IN LUCE VENGONO MEDIATI, CON CONSEGUENTE APPIATTIMENTO DEGLI SPAZI E DEGLI OGGETTI CONTENUTI ALL'INTERNO.



.....COMPOSIZIONE E CARATTERISTICHE.....
PROPRIETÀ.....