

MISURA DELLE PROPRIETA' ENERGETICHE E LUMINOSE DI SISTEMI VETRATI CON AEROGEL GRANULARE

Cinzia Buratti, Elisa Moretti

Università degli Studi Perugia - Dipartimento di Ingegneria Industriale
Via G. Duranti 67, 06125 Perugia

SOMMARIO

L'aerogel, oggetto di studio del presente lavoro, è uno dei materiali trasparenti innovativi più promettenti come isolante termico ed acustico. Il lavoro si propone di valutare le prestazioni energetiche e luminose dell'aerogel in forma granulare, mediante misure spettrofotometriche. Il materiale granulare è stato inserito nell'intercapedine tra due lastre di vetro, differenti per natura e spessore, per un totale di 11 campioni. Per ogni campione si sono effettuate misure di trasmissione e di riflessione in funzione della lunghezza d'onda, al fine di calcolare i principali parametri energetici e luminosi. I valori del fattore di trasmissione luminosa (τ_v) sono compresi tra 0,25 e 0,56, mentre quelli del fattore solare (g) tra 0,39 e 0,62: la variazione delle grandezze misurate è dovuta principalmente allo spessore dell'intercapedine, ovvero alla quantità di aerogel granulare, tranne nel caso dei campioni assemblati con vetro basso-emissivo. Le prestazioni dell'aerogel granulare sono state confrontate con quelle del materiale monolitico in lastre, oggetto di un precedente lavoro. La soluzione con aerogel monolitico offre il miglior compromesso tra le migliori caratteristiche di trasmissione della radiazione luminosa (in alcuni casi anche doppia rispetto all'aerogel granulare) e di isolamento termico (conducibilità termica pari a 0,018 W/mK per la forma granulare, 0,021 W/mK per il monolitico); tuttavia, sistemi vetrati con aerogel monolitico non sono ancora commercializzati, a causa di difficoltà nella fase di produzione e del costo, attualmente troppo elevato per una diffusione su larga scala.

1. INTRODUZIONE

Le superfici vetrate assumono un ruolo importante nella progettazione degli edifici, influenzandone fortemente il fabbisogno energetico. Al fine di migliorare le prestazioni delle costruzioni, negli ultimi anni la ricerca a livello mondiale si indirizza verso soluzioni che coinvolgono materiali trasparenti innovativi. Tra questi materiali vi è l'aerogel, oggetto di indagine per le interessanti proprietà di isolamento termico ed acustico; si tratta di un materiale tecnologicamente molto avanzato, costituito principalmente da aria e solo per il 4% da silice [1, 2]. Nel campo dell'isolamento termico di superfici trasparenti, esistono due tipi di prodotti commerciali: aerogel in forma granulare, ovvero sferette di diametro variabile con cui è possibile riempire l'intercapedine dei vetrocamera, e aerogel monolitico, costituito da lastre di spessore variabile da 8 a 20 mm, da inserire come isolante tra due vetri.

Il lavoro si propone di valutare le prestazioni energetiche e luminose dell'aerogel in forma granulare, mediante misure spettrofotometriche.

L'aerogel per la preparazione dei campioni oggetto di studio del presente lavoro è stato fornito dall'azienda americana Cabot Corporation, sia come granuli sfusi sia come pannello in policarbonato, che funge da struttura di contenimento [3]. Al fine di simulare sistemi vetrati innovativi, il materiale granulare è stato inserito nell'intercapedine tra due lastre di vetro, differenti per natura e spessore. Tramite portacampioni, costruiti appositamente per le misure, sono stati assemblati 10 campioni, più uno ricavato dal pannello in policarbonato, al fine di effettuare un confronto con i dati forniti dalla casa produttrice, per un totale di 11 campioni.

Per ogni campione si sono effettuate misure del fattore di

trasmissione e di riflessione spettrale, grazie allo spettrofotometro UV-VIS-NIR Cary 2003, dotato di sfera integratrice per la determinazione della componente diffusa della radiazione [4, 5]. Dai risultati ottenuti è stato possibile calcolare, in accordo con la norma tecnica UNI EN 410/2000 [6], i parametri energetici e luminosi: il fattore di trasmissione (τ_v) e quello di riflessione (ρ_v) luminosa, i fattori di trasmissione (τ_e) e di riflessione diretta (ρ_e) dell'energia solare ed infine il fattore solare g , che quantifica il contributo al carico termico dovuto alla radiazione solare.

A conclusione del lavoro è stato effettuato un confronto tra le prestazioni dell'aerogel granulare e quelle del materiale monolitico in lastre, oggetto di indagine di un precedente lavoro [7], assemblato in maniera analoga con lastre di vetro.

2. L'AEROGEL E I CAMPIONI ESAMINATI

L'aerogel granulare preso in esame è prodotto dall'americana Cabot Corporation, con il nome di Nanogel®; esso è prodotto in differenti tipologie, che si diversificano tra loro per forma, dimensioni e colore dei granuli.

L'aerogel, fornito nella versione traslucida, è un materiale isolante nanoporoso costituito da granuli di forma irregolare, con dimensioni che variano tra 0,5 mm e 3,5 mm. L'impiego primario per questa forma è quello del daylighting, poiché offre un'alta trasmissione della luce e una bassa conducibilità termica: i pannelli con aerogel sono ideali per lucernari, pareti e tetti.

Il campione di aerogel Nanogel oggetto di indagine è stato fornito per scopi di ricerca dalla Cabot Corporation in due forme:

- in due boccette (fig. 1.a);
- già assemblato in una struttura in policarbonato (fig. 1.b).

Dal materiale in polycarbonato, con dimensioni circa 21 x 30 cm, è stato ricavato un campione più piccolo, denominato per comodità polycarbonato. Al fine di effettuare un confronto con i dati dichiarati dal produttore, su di esso si sono effettuate misure spettrofotometriche.

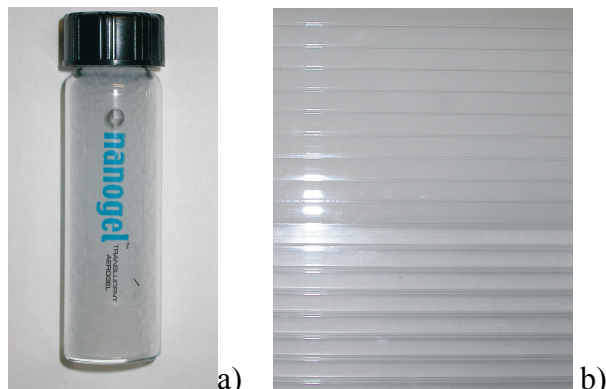


Figura 1: Aerogel granulare fornito dalla Cabot Corporation nelle due forme, boccetta (a) e foglio in polycarbonato (b)

Il materiale granulare contenuto nelle boccette è stato inserito nell'intercapedine di due lastre vetrate, differenti per natura e spessore, ottenendo 10 campioni; a tal fine si sono costruiti appositi portacampioni (paragrafo 3.2). Si sono impiegate le seguenti tipologie di lastre: vetro Float (indicato come VF nella tabella 1), con spessore pari a 4, 5 e 6 mm, vetro basso-emissivo EkoPlus (tabella 1, VBE); lo spessore dell'intercapedine riempita con il materiale granulare è stato variabile e pari a 8, 10 e 15 mm.

Le caratteristiche dei campioni esaminati sono riportate in tabella 1; per ciascun campione è fornita la tipologia della lastra esterna ed interna, lo spessore dell'intercapedine e lo spessore totale del campione assemblato.

Tabella 1: Caratteristiche dei campioni esaminati

Campione	Lastra esterna	Spessore Intercapedine (mm)	Lastra Interna	Spessore (mm)
Policarbonato	Policarbonato 1 mm	8	Policarbonato 1 mm	10
Ekoplus	VF 5 mm	10	VBE 4 mm	19
V4I8	VF 4 mm	8	VF 4 mm	16
V4I10	VF 4 mm	10	VF 4 mm	18
V4I15	VF 4 mm	15	VF 4 mm	23
V5I8	VF 5 mm	8	VF 5 mm	18
V5I10	VF 5 mm	10	VF 5 mm	20
V5I15	VF 5 mm	15	VF 5 mm	25
V6I8	VF 6 mm	8	VF 6 mm	20
V6I10	VF 6 mm	10	VF 6 mm	22
V6I15	VF 6 mm	15	VF 6 mm	27

3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI MISURA

3.1 Strumentazione

Per la campagna sperimentale ci si è avvalsi dello spettrofotometro Cary 2300 della ditta VARIAN, equipaggiato

con sfera integratrice, che consente di effettuare misure di riflessione e della componente di radiazione diffusa dal campione, già descritto in precedenti lavori [4, 5, 7].

3.2 Portacampioni realizzati

Essendo il Nanogel in forma granulare, è stato necessario predisporre tre portacampioni in legno specifici per l'effettuazione delle misure. Essi differiscono per la distanza tra i due battenti realizzati per inserire i vetri e quindi per lo spessore dell'intercapedine in cui alloggiare i granuli dell'aerogel (8, 10 e 15 mm). I vetri sono stati inseriti negli appositi battenti del portacampione (figura 2) e mantenuti in posizione tramite due linguette; successivamente l'intercapedine è stata riempita con i granuli di aerogel.



Figura 2: Portacampione assemblato con solo il vetro, vista dall'alto (a); campione pronto per la prova, vista frontale (b)

3.3 Metodologia di misura

Per la preparazione del campione ci si è attenuti alle disposizioni della UNI 7885 [8]; le misure sono state effettuate nel range 300 nm – 2000 nm.

Data la natura granulare del campione e viste le ridotte dimensioni della cella di passaggio del flusso luminoso, per una migliore analisi del campione si è deciso di far variare la posizione dello stesso all'interno della sfera integratrice, effettuando per ogni campione 5 misure. Il risultato finale è stato calcolato come media dei valori ottenuti per le 5 posizioni.

4. RISULTATI

4.1 Prove di riflessione e trasmissione

Al fine di verificare la diffondenza dell'aerogel, le misure sono state effettuate sul campione di Nanogel[®] Translucent Aerogel con struttura in polycarbonato fornito dalla Cabot, denominato Polycarbonato, con e senza l'ausilio della sfera integratrice (fig. 3). Dal grafico si evince come l'aerogel sia un materiale molto diffondente, infatti senza l'ausilio della sfera integratrice gran parte della componente diffusa della radiazione non è captata dallo strumento; per questo motivo la sfera integratrice è stata impiegata per effettuare tutte le misure successive.

I risultati delle misure del fattore di trasmissione e riflessione medi (%) in funzione della lunghezza d'onda sono mostrati nelle figure 4 e 5. A titolo di esempio sono rappresentati gli andamenti di quattro campioni, caratterizzati

dalla stessa tipologia di lastra esterna, ovvero il vetro float da 5 mm.

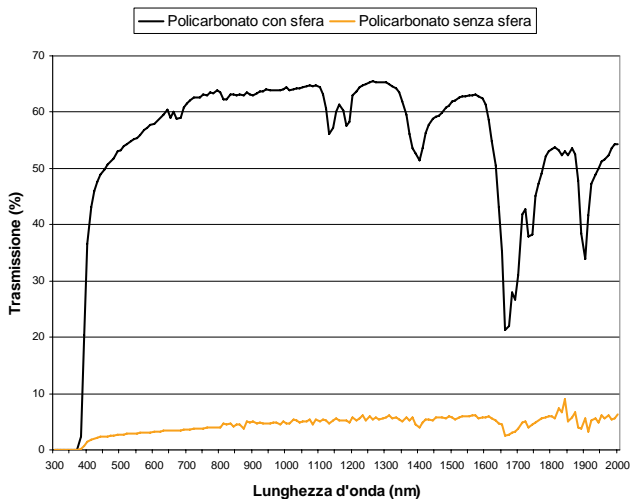


Figura 3 - Fattore di trasmissione spettrale media del campione Policarbonato: confronto tra le misure effettuate con e senza sfera integratrice

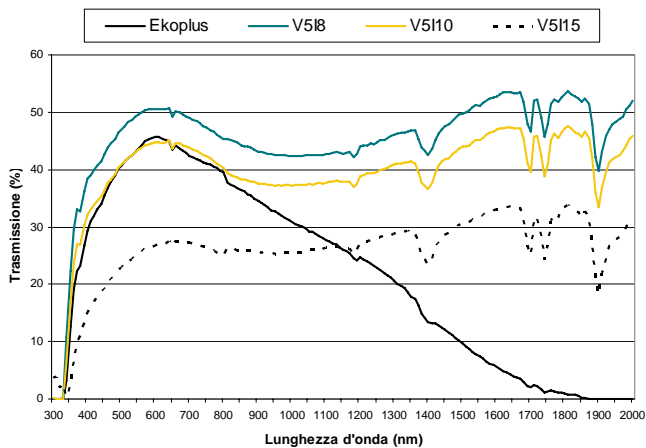


Figura 4 - Fattore di trasmissione spettrale media dei campioni Ekoplus, VSI, V5I10, V5I15.

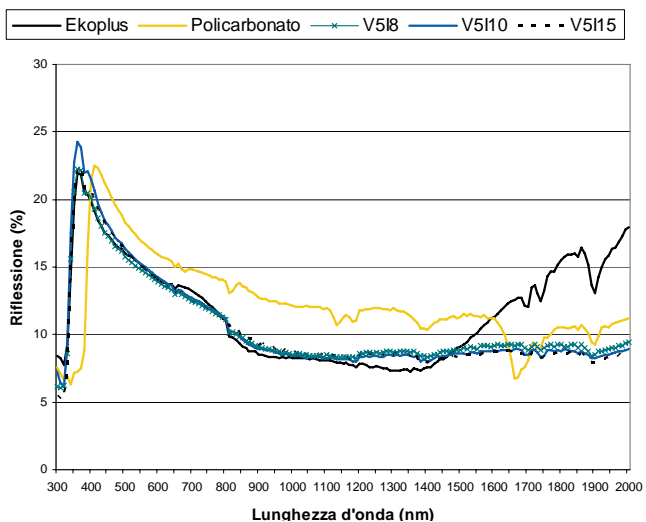


Figura 5 - Fattore di riflessione spettrale media dei campioni Ekoplus, VSI, V5I10, V5I15.

4.2 Calcolo dei parametri energetici e luminosi

Al fine di effettuare una valutazione complessiva delle prestazioni dei sistemi vetrati con aerogel nell'intercapedine, i dati ottenuti dalle misure di trasmissione e riflessione spettrale sono stati rielaborati per ottenere i parametri caratteristici, in accordo con la UNI EN 410 [6]:

- il fattore di trasmissione luminosa τ_v e quello di riflessione ρ_v , che rappresentano rispettivamente la percentuale di luce naturale trasmessa e riflessa dalla superficie vetrata;
- il fattore di trasmissione diretta τ_e e il fattore di riflessione diretta ρ_e dell'energia solare, che descrivono l'interazione tra l'energia solare e la vetrata;
- il fattore solare g, che rappresenta l'energia solare totale trasmessa dall'elemento trasparente.

Infine la trasmittanza termica dei campioni U è stata valutata seguendo le indicazioni della norma tecnica UNI 10345 [9].

Tabella 2: Fattori caratteristici calcolati per i diversi campioni (secondo UNI EN 410 e UNI 10345)

Campione	τ_v	τ_e	ρ_v	ρ_e	g	U W/m ² K
Policarbonato	0,56	0,55	0,17	0,15	0,62	1,6
Ekoplus	0,44	0,34	0,15	0,13	0,42	1,2
V4I8	0,50	0,44	0,14	0,12	0,54	1,6
V4I10	0,42	0,37	0,15	0,13	0,49	1,4
V4I15	0,27	0,24	0,15	0,13	0,39	1,0
V5I8	0,49	0,45	0,15	0,13	0,55	1,6
V5I10	0,43	0,39	0,15	0,13	0,51	1,4
V5I15	0,25	0,24	0,12	0,11	0,40	1,0
V6I8	0,45	0,36	0,16	0,13	0,48	1,6
V6I10	0,44	0,34	0,15	0,12	0,47	1,4
V6I15	0,27	0,23	0,15	0,12	0,39	1,0

4.3 Analisi dei risultati

I risultati sperimentali completi consentono di evidenziare l'influenza sulle prestazioni energetiche ed illuminotecniche di diversi parametri quali lo spessore dell'intercapedine, lo spessore e la tipologia della lastra di contenimento.

Per tutti campioni, ad eccezione di quelli con vetro basso-emissivo, si osservano picchi di assorbimento selettivo a determinate lunghezze d'onda, uno per $\lambda = 1400$ nm, due ravvicinati nel range di lunghezze d'onda tra 1700 nm e 1750 nm e un altro di maggiore intensità per $\lambda = 1900$ nm: tale fenomeno è legato alla presenza dell'aerogel in intercapedine. Quanto detto è evidente anche dal grafico di figura 5, dove per il campione polycarbonato sono evidenti i picchi di assorbimento selettivo da parte dell'aerogel, mentre per quello Ekoplus l'andamento spettrale della riflessione è notevolmente differente per $\lambda > 1500$ nm.

L'aumento di spessore dell'intercapedine (fig. 4) comporta una diminuzione del fattore di trasmissione spettrale e la differenza è più marcata nel passaggio da 10 mm a 15 mm rispetto a quello da 8 mm a 10 mm. Risultano invece poco influenti gli spessori delle lastre di contenimento.

L'andamento dei valori della riflessione dei campioni è influenzato prevalentemente dalla lastra esterna, anche se vi sono variazioni dell'andamento dovute alla presenza della lastra interna e del materiale nell'intercapedine.

Confronto tra i campioni esaminati. I campioni, che rappresentano delle possibili soluzioni per le pareti vetrate, presentano valori modesti della trasmittanza termica: il valore medio è di $1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; valori inferiori, pari a circa $1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, si hanno per spessori dell'intercapedine di 15 mm, mentre per il campione con vetro basso-emissivo si osserva un valore di circa $1,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, inferiore a $1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ del campione V5I8, caratterizzato dalla medesima lastra esterna e da un'uguale quantità di materiale granulare in intercapedine.

I valori di U cambiano di poco al variare dello spessore del vetro; ciò che realmente influenza la trasmittanza U è lo spessore dell'intercapedine. La soluzione in policarbonato presenta il miglior fattore di trasmissione luminosa, con il vantaggio di avere un valore di trasmittanza termica simile alle soluzioni con spessore dell'intercapedine da 8 mm e un più alto valore del fattore solare. Le soluzioni con più basso valore di trasmittanza termica presentano, oltre allo svantaggio di avere un valore della trasmissione solare piuttosto basso rispetto alle altre soluzioni, anche uno spessore dell'intercapedine più elevato (15 mm), che porta ad un incremento dei costi.

In figura 6 è mostrato un confronto tra i parametri caratteristici dei campioni presi in esame, relativamente ai valori del fattore di trasmissione luminosa, del fattore solare e della trasmittanza termica, che permettono di orientarsi nella scelta della superficie vetrata in funzione delle specifiche esigenze.

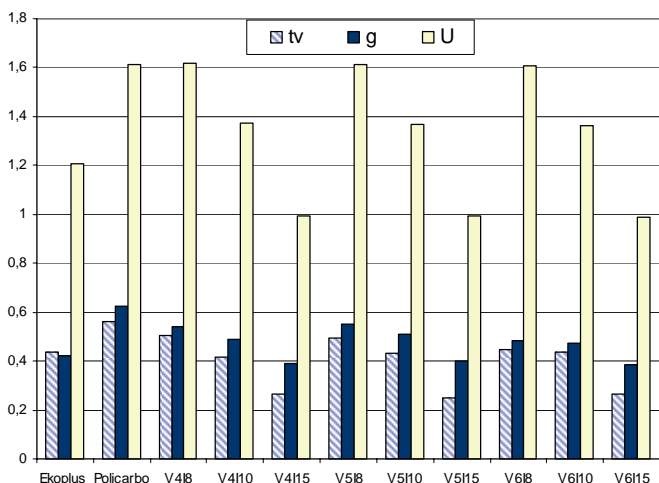


Figura 6 – Confronto tra i campioni esaminati in funzione dei parametri energetici e luminosi

5. CONFRONTO CON AEROGEL IN FORMA MONOLITICA

Al fine di confrontare le prestazioni dell'aerogel granulare con quelle dell'aerogel in forma monolitica, i valori ottenuti sono stati confrontati con quelli misurati in un precedente lavoro [7].

L'aerogel monolitico oggetto della precedente campagna di misure è costituito da una lastra di spessore 14 mm, fornita dall'azienda svedese AIRGLASS AB. Nelle figure 7, 8 e 9 è mostrato l'esito del confronto tra campioni caratterizzati da tipologia e spessore delle lastre di contenimento identici e spessore confrontabile dell'intercapedine, riempite rispettivamente con aerogel granulare (15 mm) e lastra monolitica (14 mm).

Al fine di evidenziare le differenze tra le soluzioni vetrate con aerogel in intercapedine e i sistemi vetrate tradizionali, negli stessi grafici sono riportati i dati relativi ad un vetrocamera convenzionale, caratterizzato da lastre interna ed esterna in vetro float dello spessore di 4 mm, ma con intercapedine in aria disidratata di spessore pari a 15 mm [10].

Come si osserva nel grafico di figura 7, i valori di τ_v sono praticamente doppi per l'aerogel monolitico, che consente quindi, a parità di spessore, una maggiore penetrazione di luce naturale negli ambienti interni.

I valori di g per la forma monolitica (fig. 8) sono più elevati di quelli dell'aerogel granulare: ciò è una condizione positiva in inverno, poiché può compensare in parte le dispersioni, consentendo un risparmio energetico, ma la situazione si inverte in estate quando, per grandi superfici vetrate in esposizioni e latitudini sfavorevoli, l'irraggiamento solare può risultare eccessivo, generando surriscaldamento e disagio luminoso all'interno dell'edificio.

Per quanto riguarda la trasmissione di calore (fig. 9), l'aerogel in forma granulare presenta una trasmittanza termica inferiore: la differenza tra i valori è dovuta in parte allo spessore dell'intercapedine, che risulta maggiore per l'aerogel granulare, ma soprattutto dipende dai diversi valori della conducibilità termica, che risulta pari a $0,018 \text{ W/m K}$ nel caso dell'aerogel granulare mentre è $0,021 \text{ W/m K}$ per la lastra monolitica.

Si osserva infine che l'aerogel in intercapedine comporta una riduzione della trasmissione luminosa e del fattore solare rispetto ad un vetrocamera tradizionale: il fattore di trasmissione luminosa si riduce del 30% con l'aerogel monolitico e del 70% con i granuli (fig. 7); per il fattore solare si osserva una diminuzione rispettivamente del 20% e del 50% (fig. 8). Il fatto rilevante è però la notevole riduzione della trasmittanza termica: la presenza di aerogel nell'intercapedine del vetrocamera riduce il coefficiente globale di trasmissione del calore di circa il 60% in entrambi i casi (fig. 9).

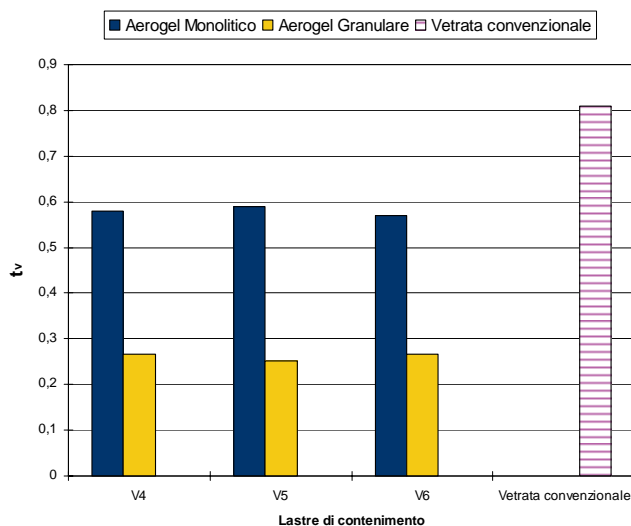


Figura 7 – Confronto tra aerogel granulare, monolitico e vetrata convenzionale: fattore di trasmissione luminosa

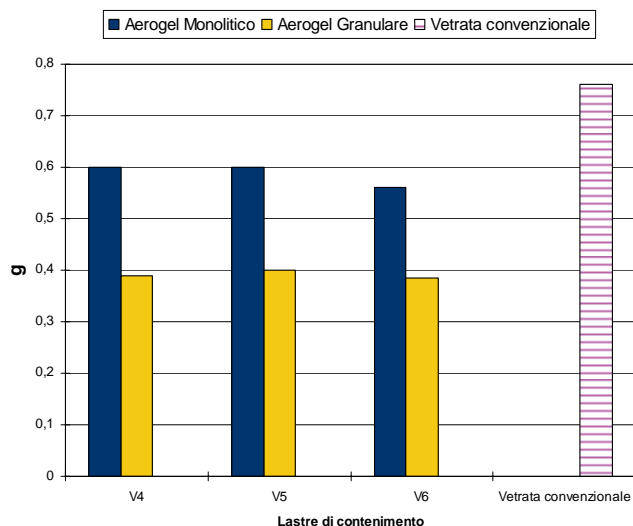


Figura 8 – Confronto tra aerogel granulare, monolitico e vetrata convenzionale: fattore solare

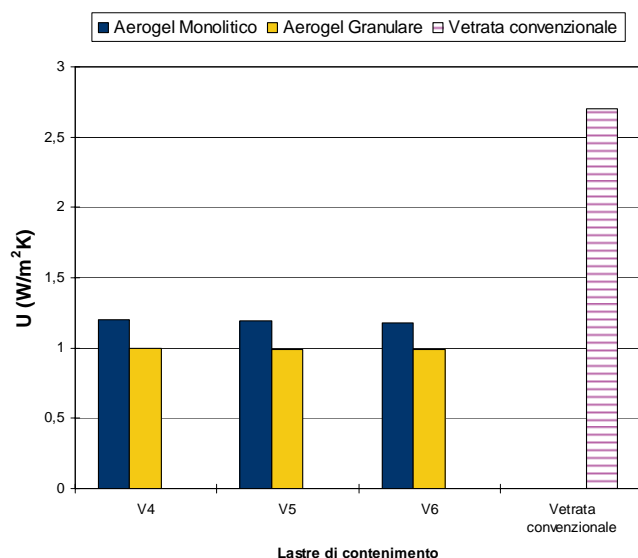


Figura 9 – Confronto tra aerogel granulare, monolitico e vetrata convenzionale: trasmittanza termica

6. CONCLUSIONI

Al fine di migliorare le condizioni di comfort negli ambienti confinati senza penalizzare i consumi energetici, sono stati proposti numerosi materiali trasparenti innovativi da sostituirsi alle pareti vetrate. Nasce pertanto l'esigenza di una completa caratterizzazione delle proprietà energetiche e luminose di tali materiali. Lo scopo del presente lavoro è lo studio delle proprietà di un materiale per l'isolamento di superfici trasparenti di recente introduzione, l'aerogel. A tal fine sono stati assemblati diversi campioni vetrati, aventi nell'intercapedine aerogel in forma granulare; su di essi sono state effettuate misure spettrofotometriche.

I risultati hanno evidenziato alcune peculiarità del materiale. Nel campo dell'infrarosso si assiste a fenomeni di assorbimento selettivo, individuabili da tre picchi ben distinti nell'andamento del fattore di trasmissione spettrale. Questo fenomeno è spiegabile dall'analisi chimica e strutturale del campione: durante il processo di produzione, infatti, si

possono avere delle disomogeneità, come zone a diversa intensità, o impurità che provocano un assorbimento selettivo ad una particolare lunghezza d'onda.

Le differenze tra i valori del fattore di trasmissione spettrale misurati con e senza sfera integratrice hanno confermato il comportamento diffondente del materiale, il cosiddetto "scattering". Questo significa che, a differenza di un vetro chiaro, parte della radiazione solare viene diffusa quando attraversa il materiale. Tale fenomeno è la causa della visione nebbiosa e lattiginosa degli oggetti attraverso uno strato del materiale stesso. Al fine di ottenere risultati attendibili, pertanto, tutte le misure sono state effettuate con sfera integratrice.

I valori del fattore di trasmissione luminosa sono compresi tra 0,25 e 0,56, mentre quelli del fattore solare tra 0,39 e 0,62. Le variazioni riscontrate sono dovute principalmente allo spessore dell'intercapedine, tranne che nel caso del vetro basso-emissivo, dove le lastre hanno maggiore importanza.

Le prestazioni termiche sono quantificate dalla trasmittanza termica: i campioni presentano valori che variano da 1 W/m²K fino a 1,6 W/m²K; i valori più bassi si hanno in corrispondenza dei campioni con spessore dell'intercapedine di 15 mm.

Infine, i risultati ottenuti sono stati paragonati con quelli relativi all'aerogel in forma monolitica, oggetto di misure spettrofotometriche in un precedente lavoro [7].

Dai grafici di confronto si evince che la soluzione con aerogel granulare è migliore nel caso sia necessario un ottimo isolamento termico del sistema vetrato e non vi sia la priorità di usare l'illuminazione naturale per l'ambiente. Sistemi vetrati con aerogel monolitico offrono il miglior bilanciamento tra trasmissione della radiazione luminosa e isolamento termico, restando quindi, almeno fino ad oggi, più indicati per le applicazioni in edilizia residenziale. Tuttavia, soluzioni vetrate con aerogel monolitico non sono state ancora commercializzate, a causa della complessità del processo di produzione, che non permette di ottenere lastre di grande estensione superficiale senza alterarne le prestazioni, e del costo, ancora troppo elevato per una diffusione su larga scala [11].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. K. Duer and S. Svendsen, Monolithic Silica Aerogel in Superinsulating Glazings, Solar Energy, Vol. 63, pp. 259-267, 1998.
2. J.M. Schultz, K.I. Jensen, F.H. Kristiansen, Super insulating aerogel glazing, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 89, pp. 275-285, 2005.
3. Cabot Corporation, schede tecniche prodotti.
4. F. Asdrubali, C. Buratti, G. Baldinelli, Misure spettrofotometriche su materiali trasparenti per chiusure perimetrali in edilizia, 55° Convegno Nazionale ATI, Bari – Matera, 2000.
5. F. Asdrubali, C. Buratti, R. Mariani, G. Baldinelli, E. Moretti, Misure spettrofotometriche su materiali innovativi: recenti attività di ricerca del Laboratorio di Termotecnica dell'Università di Perugia, Quaderno CIRIAF (Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici) n. 22, Collana Tecnico-Scientifica diretta da Giorgio Galli, Agosto 2004.
6. UNI EN 410: Vetro per Edilizia - Determinazione delle Caratteristiche Luminose e Solari delle Vetrate, Marzo

- 2000.
7. C. Buratti, Transparent insulating materials: experimental data and buildings energy saving evaluation, ENERGY & ENVIRONMENT 2003 First International Conference on Sustainable Energy, Planning & technology in Relationship to the Environment ,14-16 May 2003, Halkidiki, Greece.
 8. UNI 7785, Prove sul vetro. Determinazione dei fattori di trasmissione dell'energia solare, CEN, dicembre 1998.
 9. NORMATIVA UNI 10345, Riscaldamento e Raffreddamento degli Edifici. Trasmittanza Termica dei Componenti Edilizi Finestrati. Metodo di Calcolo, 1993.
 10. Saint-Gobain Vetro Italia, schede tecniche dei prodotti.
 11. K.I. Jensen, J.M. Schultz, F.H. Kristiansen, Development of windows based on highly insulating aerogel glazings, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 350, pp. 351–357, 2004.

NOMENCLATURA

- g = fattore solare [-]
 U = trasmittanza termica [W/m² K]
 λ = lunghezza d'onda [nm]
 ρ_e = fattore di riflessione diretta dell'energia solare [-]
 ρ_v = fattore di riflessione luminosa [-]
 τ_e = fattore di trasmissione diretta dell'energia solare [-]
 τ_v = fattore di trasmissione luminosa [-]

SUMMARY

The aim of the present paper is the study of the thermal and optical properties of an innovative transparent material for glazing systems: granular silica aerogel. Eleven different samples were manufactured, by assembling several types of glass with aerogel. Each sample could be considered as a double glass with granular aerogel in the interspace. Measurements of transmission and reflection coefficients vs. wavelength were carried out. Results were employed to calculate the energetic and luminous parameters: light transmittance (τ_v), solar factor (g) and thermal transmittance (U). The performances of the different samples were compared. U-values slightly higher than 1 W/m²K were obtained for all the samples; the values of light transmittance are in the 0.25 - 0.56 range, while the solar factor is in the 0.39 - 0.62 range, depending mainly on the granular aerogel thickness. The performances of granular aerogel samples were compared to those of samples investigated in a previous work, characterized by the same type of inner and external glass pane, but with monolithic aerogel in the interspace. The monolithic aerogel introduces a better light transmittance, while the thermal transmittance values are comparable. Nevertheless glazing systems with monolithic aerogel are not still commercialized because the production process is very complex and expensive.