

MISURA DELLE PROPRIETÀ SPETTROFOTOMETRICHE DI CAMPIONI DI VETRO NUOVI E INVECCHIATI PER IL RESTAURO DI VETRATE ARTISTICHE

Cinzia Buratti*, Federico Rossi**

* Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Industriale, via G. Duranti 67, 06125 Perugia
tel. 075-5853693, fax 075-5853697, e-mail: cburatti@unipg.it

** Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Industriale, via G. Duranti 67, 06125 Perugia
tel. 075-5853846, fax 075-5848470, e-mail: frossi@unipg.it

ABSTRACT

Il degrado delle vetrate di interesse storico-artistico è legato ad azioni di tipo fisico e chimico connesse con le condizioni ambientali: temperatura, umidità relativa, radiazione solare, presenza di agenti inquinanti. Nel presente lavoro si è indagata l'influenza dell'invecchiamento sulle proprietà spettrofotometriche di 10 campioni di vetro impiegati nel restauro di vetrate storico-artistiche. I campioni, diversi tra loro per colore, tecnica di colorazione e spessore sono stati sottoposti ad un processo di invecchiamento accelerato in camera climatica. Si sono quindi misurati i coefficienti di trasmissione e riflessione spettrali dei 10 campioni nuovi e invecchiati nell'intervallo di lunghezza d'onda 100-3000 nm, per mezzo di uno spettrofotometro a doppio raggio e si sono confrontati i risultati ottenuti per ciascun campione nuovo e il corrispondente invecchiato; si sono infine calcolati i fattori di trasmissione e riflessione nel visibile e nel solare. I risultati mostrano che il processo di invecchiamento ha influenza unicamente sulle proprietà di riflessione, nel campo del visibile, di uno dei dieci campioni esaminati, l'unico colorato con una tecnica particolare denominata "grisaglia", molto usata nelle vetrate antiche per creare gli effetti di chiaroscuro e decorare le tessere vitree con particolari (volti, vesti, ecc.). Il processo di invecchiamento produce un aumento delle proprietà di riflessione, probabilmente legato ad una maggiore levigatezza delle superfici dovuta all'azione dei fattori ambientali.

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi due decenni, l'azione di tutela esercitata dagli organi istituzionali nei confronti delle vetrate artistiche umbre si è manifestata con importanti interventi di restauro che, se da un lato testimoniano un'accresciuta attenzione per questi particolari manufatti, dall'altro denunciano l'esistenza di situazioni di degrado sempre più gravi, connesse con il peggioramento delle condizioni ambientali.

Risale agli anni Ottanta il restauro della vetrata trecentesca, attribuita a Giovanni di Bonino, proveniente dalla chiesa di S. Agostino di Perugia [1]. Sempre a Perugia, in tempi più recenti, è stata restaurata la vetrata di Arrigo Fiammingo collocata nella cattedrale; attualmente è in fase di esecuzione un impegnativo intervento sulla grande vetrata della chiesa di S. Domenico.

Ogni vetrata costituisce un delicato e complesso sistema: il suo restauro richiede quindi un adeguato coordinamento delle indagini e degli interventi di ordine tecnico, chimico e fisico, da realizzare con l'apporto congiunto di operatori e di ricercatori specialisti.

Sul piano operativo, un notevole contributo è stato fornito dal Laboratorio di Controlli Ambientali dell'Università di Perugia, all'iniziativa del quale si deve la programmazione di una serie di indagini sperimentali di natura fisica, individuate con criteri di complementarità al fine di disporre di un organico quadro conoscitivo; in particolare, le ricerche hanno riguardato il controllo dei fattori ambientali, la valutazione di deformazioni e di tensioni dovute a sollecitazioni termiche,

l'influenza dell'invecchiamento sulle proprietà dei vetri comunemente impiegati negli interventi di restauro [2, 3, 4, 5].

Si è osservato che anche le proprietà spettrofotometriche dei vetri sono suscettibili di variazioni nel corso del tempo, variazioni che possono essere indice di alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale stesso e costituire quindi un segnale di degrado.

E' proprio in questo ambito che si inserisce la presente indagine: in primo luogo, essa intende definire le proprietà di trasparenza e di riflessione di campioni di vetro colorato impiegati nel restauro di vetrate artistiche, sia nuovi che sottoposti a invecchiamento; i risultati che ne conseguono vengono utilizzati per una serie di confronti, con l'obiettivo finale di valutare la correlazione esistente tra i processi di invecchiamento e tali proprietà.

I campioni, in numero di 10, sono diversi tra loro per colore, tecnica di colorazione e spessore; le misure sono state effettuate su ciascun campione nuovo e sulle rispettive metà preventivamente sottoposte a un processo di invecchiamento.

Sia per i campioni nuovi che per quelli invecchiati è stato determinato il coefficiente di trasmissione in funzione della lunghezza d'onda e si sono evidenziate le eventuali proprietà diffondenti; successivamente è stata valutata l'influenza del processo di invecchiamento sulle proprietà di trasparenza. Si sono quindi calcolati il fattore di trasmissione nel visibile e il fattore di trasmissione solare e sono stati confrontati i valori relativi ai campioni nuovi e ai corrispondenti invecchiati.

Le misure di riflessione sono state eseguite sulle due facce di ogni campione nuovo e invecchiato; si sono calcolati i fattori di riflessione nel visibile e i fattori di riflessione solare,

anch'essi oggetto di confronto tra campione nuovo e corrispettivo invecchiato.

STRUMENTAZIONE DI MISURA

Le misurazioni sono state effettuate per mezzo dello spettrofotometro Cary 2300 che permette di determinare, in funzione della lunghezza d'onda o del tempo, il coefficiente di trasparenza spettrale di materiali poco diffondenti; quando è equipaggiato con la sfera integratrice, fornisce il coefficiente di riflessione spettrale e il coefficiente di trasparenza spettrale di materiali diffondenti.

Lo strumento lavora in un intervallo di lunghezze d'onda variabile tra 185 nm e 3152 nm, comprendendo l'UV, il visibile e il vicino IR ed è costituito di cinque componenti principali: sorgente, monocromatore, rivelatore, comparto celle, sistema di elaborazione dati.

Due lampade, una al deuterio per l'UV (185 nm - 340 nm), una al tungsteno per il visibile e l'IR (340 nm - 3152 nm), inviano il segnale a un selettore di lunghezza d'onda costituito da un monocromatore a reticolo ad apertura variabile per la selezione della lunghezza d'onda efficace. I sensori per la rilevazione del segnale sono costituiti da un tubo fotomoltiplicatore per l'UV e il visibile (185 nm - 800 nm) e da un sensore al solfuro di piombo per l'IR (800 nm - 3152 nm).

Il Cary 2300 è uno strumento a doppio raggio: il fascio di radiazione proveniente dalla lampada viene diviso in due radiazioni di uguale intensità dirette rispettivamente verso il campione e verso il bianco; tale circostanza permette di ridurre notevolmente gli errori dovuti alla non costante emissione della lampada: così facendo è possibile misurare il coefficiente di assorbimento dei campioni in prova in maniera relativa, facendo un rapporto bianco/campione.

Il comparto celle è costituito da due contenitori identici, intercambiabili e accessibili dall'esterno; uno degli alloggiamenti è destinato al campione, mentre l'altro è riservato al materiale di riferimento rispetto al quale vengono effettuati i calcoli.

Nel caso di misura di trasmissione per materiali poco diffondenti, nella cella campione viene posizionata una torretta, mentre nel caso di misura di trasmissione per materiali diffondenti e di riflessione, viene collocata la sfera integratrice, che consente di raccogliere tutta la radiazione diffusa o riflessa; una descrizione dettagliata dello strumento e della sfera è riportata in [6].

METODOLOGIA DI MISURA E CALCOLO DEI FATTORI DI TRASMISSIONE E DI RIFLESSIONE

Sono stati esaminati 10 campioni di vetro diversi tra loro per colore, tecnica di colorazione e spessore; ciascun vetro è stato tagliato in due parti, una delle quali è stata sottoposta a un processo di invecchiamento accelerato in camera climatica. Le misure di trasmissione e di riflessione sono state effettuate su un numero totale di 20 campioni, 10 nuovi (N) e 10 invecchiati (I).

Per il processo di invecchiamento si è fatto riferimento a quanto prescritto dalla UNI 10593-2 [7]; esso, della durata complessiva di 11 settimane, prevede un primo periodo, della durata di 4 settimane, con 56 cicli di 12 ore, con temperature variabili tra -18°C e $+53^{\circ}\text{C}$ e con gradiente di $14^{\circ}\text{C}/\text{h}$, e un secondo periodo di 7 settimane durante il quale l'ambiente è mantenuto a una temperatura costante di 58°C ; l'umidità relativa è superiore al 95% per tutto il processo.

Per la preparazione del campione e per il procedimento di misura sono state rispettate le disposizioni previste dalla normativa UNI 7885 [8]. L'elaborazione dei dati è stata eseguita in conformità alla normativa EN 410 [9].

Le misure spettrofotometriche di trasmissione sono state effettuate con il metodo standard e ripetute con la sfera integratrice, allo scopo di verificare eventuali fenomeni di diffondenza dei campioni e l'influenza dell'invecchiamento sugli stessi.

Una volta determinato il coefficiente di trasmissione, si sono calcolati i fattori di trasmissione nel dominio del visibile (380 nm - 780 nm) e nel dominio solare (300 nm - 2500 nm) [8].

Le misure di riflessione sono state effettuate con la sfera integratrice. Poiché nella generalità dei casi i componenti trasparenti presentano un comportamento differente su ciascuna delle due facce, si è reso necessario effettuare le misure di riflessione su entrambi i lati, rispettivamente denominati x e y.

Si è quindi proceduto al confronto tra il lato x di ogni campione nuovo e il lato x del corrispondente invecchiato. Il medesimo confronto è stato effettuato per il lato y. Si sono infine determinati i fattori di riflessione nel visibile (380 nm - 780 nm) e nel solare (300 nm - 2500 nm) [9].

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

I dieci campioni selezionati sono quelli maggiormente impiegati nel restauro di tessere danneggiate da processi di degrado; sono stati pertanto scelti vetri rispondenti a diverse tecniche di colorazione (in pasta, in bagno, grisaglia) e relative ai colori di più largo impiego nella realizzazione delle vetrate artistiche (viola, trasparente, verde, rosso, rosa incarnato, blu, ambra); altrettanto mirata è stata la scelta degli spessori, variabili da un minimo di 1,96 mm a un massimo di 3,96 mm (v. Tab. 1).

Tutti i campioni sono stati forniti dallo Studio Forme di Roma, laboratorio specializzato nel restauro di vetrate.

Sulla base dell'esame visivo di tali vetri, si sono individuati gli elementi caratteristici di ciascuno di essi ed elaborare singole schede descrittive; in particolare, le due facce di ciascun campione, che a volte presentano una superficie diversamente lavorata, sono state contrassegnate con le lettere x (lato interno) e y (lato esterno).

RISULTATI

Coefficiente di trasmissione

I risultati delle misure effettuate con il metodo standard sono illustrati in Fig. 1; in ciascun grafico sono riportati gli andamenti del coefficiente di trasmissione (%) in funzione della lunghezza d'onda (nm) per il campione nuovo (N) e per quello invecchiato (I).

Tutte le misure di trasmissione spettrale sono state ripetute utilizzando la sfera integratrice, al fine di valutare il grado di diffusione della luce da parte dei campioni.

I campioni colorati in pasta, sia nuovi sia invecchiati, (nn. 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10) presentano valori tra loro pressoché coincidenti del coefficiente di trasmissione; inoltre, poiché i risultati delle misure eseguite con il metodo standard coincidono con quelli delle misure effettuate con la sfera integratrice, se ne deduce che i campioni stessi non sono diffondenti.

Il campione n. 6, colorato con tecnica a grisaglia, presenta, con

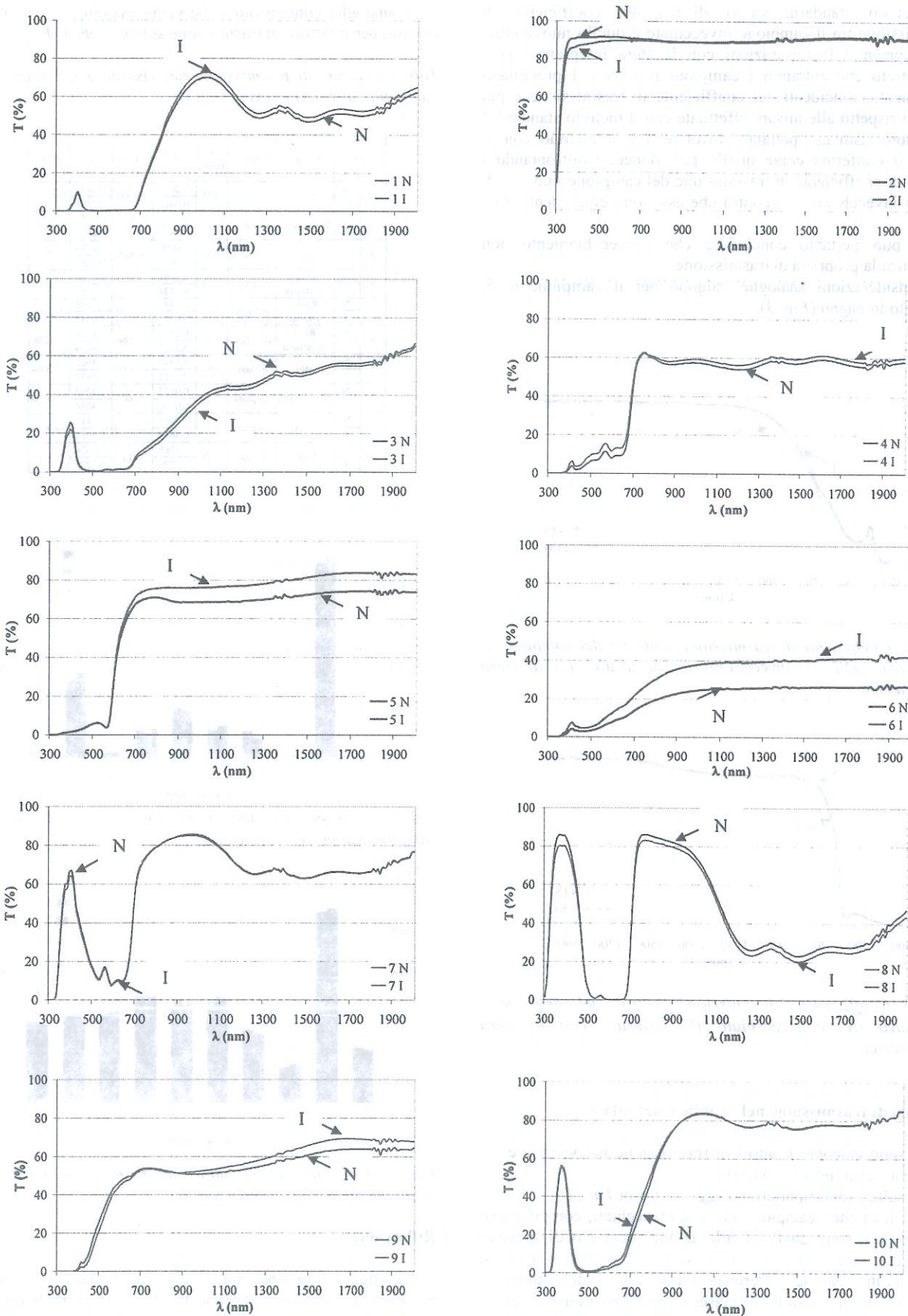


Fig. 1: Coefficiente di trasmissione dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I) in funzione della lunghezza d'onda (metodo standard).

il metodo standard, valori diversi del coefficiente di trasmissione tra il campione invecchiato e quello nuovo (Fig. 1). Ripetendo le misurazioni con la sfera integratrice si è riscontrato che entrambi i campioni n. 6 N e I presentano andamenti coincidenti del coefficiente di trasmissione e più elevati rispetto alle misure effettuate con il metodo standard. I campioni risultano pertanto diffondenti e il metodo con la sfera si conferma come quello più idoneo. Confrontando i valori di coefficiente di trasmissione del campione nuovo e di quello invecchiato si riscontra che essi sono coincidenti (Fig. 2).

Si può pertanto concludere che l'invecchiamento non influenza la proprietà di trasmissione.

Considerazioni analoghe valgono per il campione n. 5, colorato in bagno (Fig. 3).

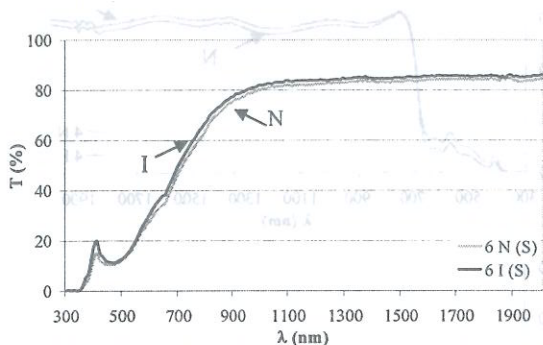


Fig. 2: Coefficiente di trasmissione spettrale del campione n. 6 nuovo (N) e invecchiato (I) misurato con la sfera integratrice.

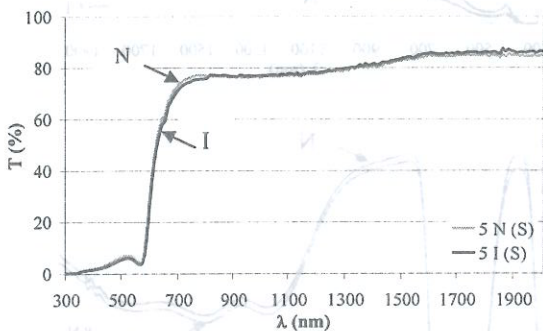


Fig. 3: Coefficiente di trasmissione spettrale del campione n. 5 nuovo (N) e invecchiato (I) misurato con la sfera integratrice.

Fattori di trasmissione nel visibile e nel solare

Si sono calcolati i fattori di trasmissione nel visibile e nel solare ai sensi della EN 410 [9].

I risultati sono riportati in Figg. 5 e 6 e in Tab. 1.

Si rileva che i campioni, nuovi e invecchiati, con più basso valore di τ_v , sono quelli di colorazione scura e/o di spessore maggiore, vale a dire i nn. 1, 3, 4, 5, 7, 8 e 10 ($\tau_v < 0,15$); si nota inoltre che la differenza tra il valore del fattore di trasmissione nel visibile di ciascun campione nuovo e quello del corrispettivo invecchiato è pressoché irrilevante: il processo di invecchiamento non influenza quindi il fattore di trasmissione nel visibile (Fig. 4).

Ad analoghe conclusioni si perviene esaminando i risultati ottenuti per il fattore di trasmissione solare (Tab. 1, Fig. 5).

Tab. 1: Fattori di trasmissione nel visibile e nel solare dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

Vetro	Colore	Coloraz.	s (mm)	τ_v	I-N	τ_s	I-N	
1	N I	Viola	In pasta	2,71	0,0015 0,0017	0,0002	0,2432 0,2548	0,0116
2	N I	Trasparente	In pasta	2,27	0,9159 0,8954	-0,021	0,9021 0,8889	-0,0132
3	N I	Viola	In pasta	3,74	0,0096 0,0074	-0,0022	0,1784 0,1657	-0,0127
4	N I	Verde bottiglia	In pasta	2,84	0,0861 0,1224	0,0363	0,3184 0,3419	0,0235
5	N I	Rosso rubino	In bagno	2,65	0,1445 0,1311	-0,0134	0,4788 0,4683	-0,0105
6	N I	Rosa incarnato	Grisaglia	1,96	0,2121 0,2287	0,0166	0,4556 0,4764	0,0208
7	N I	Blu	In pasta	3,96	0,1345 0,1254	-0,0091	0,4901 0,4837	-0,0064
8	N I	Blu cobalto	In pasta	3,39	0,0277 0,0260	-0,0017	0,4292 0,4084	-0,0208
9	N I	Ambra	In pasta	3,52	0,3913 0,3604	-0,0309	0,4111 0,4056	-0,0055
10	N I	Viola	In pasta	2,38	0,0168 0,0279	0,0111	0,3626 0,3775	0,0149

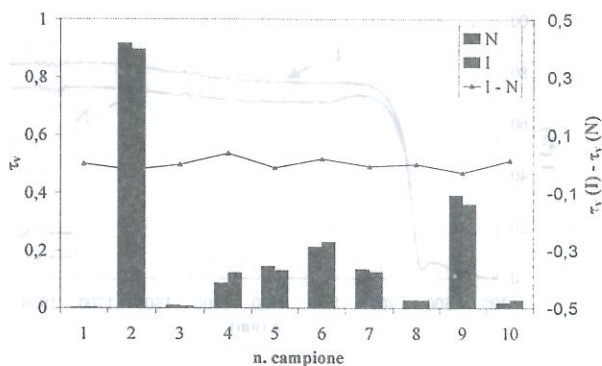


Fig. 4: Confronto tra i fattori di trasmissione nel visibile dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

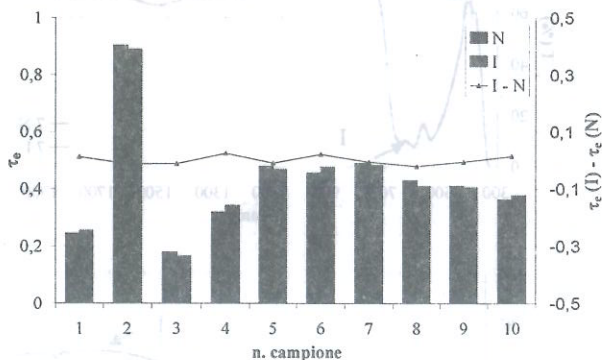


Fig. 5: Confronto tra i fattori di trasmissione solare dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

Riflessione

Per ogni campione nuovo (N) sono state valutate le proprietà di riflessione dei due lati (x, y); i risultati ottenuti sono stati confrontati tra loro, al fine di rilevare eventuali differenze. Analoga operazione è stata eseguita per il rispettivo campione invecchiato (I). Si è quindi proceduto al

confronto tra il lato x di ogni campione nuovo e il lato x del corrispondente invecchiato; il medesimo confronto è stato effettuato per il lato y. Per i campioni nn. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 i valori del coefficiente di riflessione risultano bassi, essendo compresi tra il 4% e l'8%; sia per i vetri nuovi che per quelli invecchiati la riflessione dei lati x e y non subisce variazioni; inoltre il processo di invecchiamento non influenza la proprietà di riflessione.

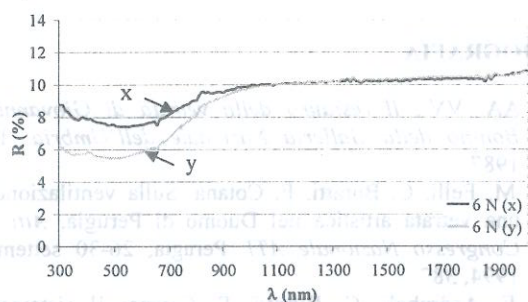


Fig. 6: Riflessione (lati x-y) del campione 6 nuovo (N) in funzione della lunghezza d'onda.

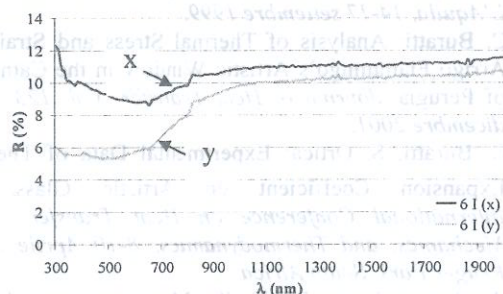


Fig. 7: Riflessione (lati x-y) del campione 6 invecchiato in funzione della lunghezza d'onda.

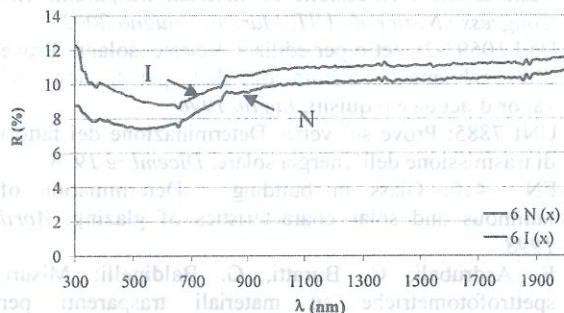


Fig. 8: Riflessione (lati x) del campione 6 nuovo (N) e invecchiato (I) in funzione della lunghezza d'onda.

Il campione n. 6, sia nuovo che invecchiato, (colore rosa incarnato, tecnica di colorazione a grisaglia), nel campo del visibile, presenta il lato trattato a grisaglia (x) maggiormente riflettente (fig. 6); inoltre la differenza dei valori di riflessione tra i lati x e y del campione invecchiato è di circa il doppio rispetto a quella del campione nuovo (fig. 7).

Per lunghezze d'onda superiori a 800 nm, i valori di riflessione dei lati x e y del campione nuovo e sono gli stessi (fig. 6). Pertanto nel campo del visibile il processo di invecchiamento raddoppia le proprietà di riflessione del lato decorato con la tecnica della grisaglia (x) (fig. 8), mentre il processo di invecchiamento risulta ininfluente per il lato y che, non essendo trattato, risponde come gli altri campioni (fig. 9).

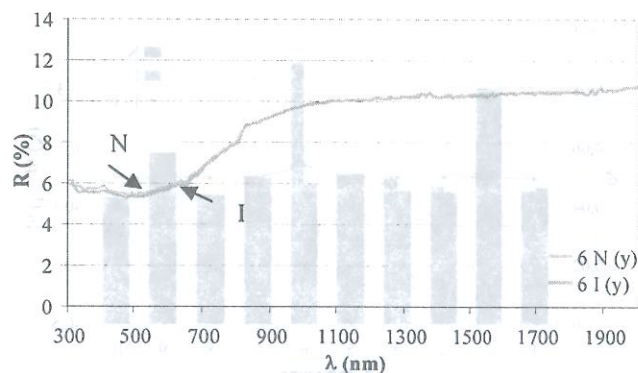


Fig. 9: Riflessione (lati y) del campione 6 nuovo (N) e invecchiato (I) in funzione della lunghezza d'onda.

Fattori di riflessione nel visibile e nel solare

Analogamente a quanto fatto per la trasmissione, si sono calcolati i fattori di riflessione nel visibile e nel solare.

I valori di ρ_v sono riportati in Fig. 10 (lati x) e in Tab. 2; i valori relativi ai lati y sono stati tralasciati poiché coincidenti con quelli dei lati x, tranne che per il campione n. 6 per il quale sono stati riportati entrambi.

In Fig. 11 e in Tab. 2 sono riportati i valori del fattore di riflessione solare (lato x). Il processo di invecchiamento incide in misura più evidente soltanto sul lato x del campione n. 6. La differenza tra il fattore di riflessione solare del lato x del campione n. 6 nuovo e quello del lato x del corrispettivo invecchiato è pari a circa il 14%, rispetto alla differenza di circa l'87%, risultata dal confronto tra i fattori di riflessione nel visibile; tale minore incidenza è da attribuire al dominio considerato: per i valori di riflessione, infatti, la differenza rilevata interessa soltanto il campo del visibile.

Tab. 2: Fattori di riflessione nel visibile e nel solare dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

Vetro	Colore	Coloraz.	s (mm)	ρ_v	I-N	ρ_e	I-N
1	Viola	In pasta	2,71	0,0466	-0,0021	0,0493	0,0006
				0,0445		0,0499	
2	Trasparente	In pasta	2,27	0,0801	0,0008	0,0747	0,0009
				0,0809		0,0756	
3	Viola	In pasta	3,74	0,0450	0,0021	0,0472	0,0019
				0,0471		0,0491	
4	Verde bottiglia	In pasta	2,84	0,0456	0,0039	0,0523	0,0029
				0,0495		0,0552	
5	Rosso rubino	In bagno	2,65	0,0511	-0,0003	0,0629	-0,0021
				0,0508		0,0608	
6 (x)	Rosa incarnato	Grisaglia	1,96	0,0479	0,0416	0,0861	0,0125
				0,0895		0,0986	
6 (y)	Rosa incarnato	Grisaglia	1,96	0,0568	-0,0014	0,0744	-0,001
				0,0554		0,0734	
7	Blu	In pasta	3,96	0,0499	0,0005	0,0632	0,0016
				0,0504		0,0648	
8	Blu cobalto	In pasta	3,39	0,0440	0,0002	0,0570	0,0002
				0,0442		0,0572	
9	Ambra	In pasta	3,52	0,0584	0,0001	0,0614	0,0017
				0,0585		0,0631	
10	Viola	In pasta	2,38	0,0428	0,0005	0,0512	0,002
				0,0433		0,0532	

CONCLUSIONI

Obiettivo del presente studio è la valutazione della relazione esistente tra i processi di invecchiamento e le proprietà di trasparenza e di riflessione di vetri impiegati nel restauro di vetrate artistiche.

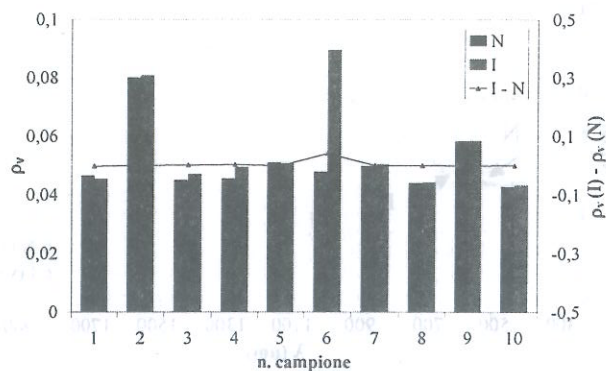


Fig. 10: Confronto tra i fattori di riflessione nel visibile dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

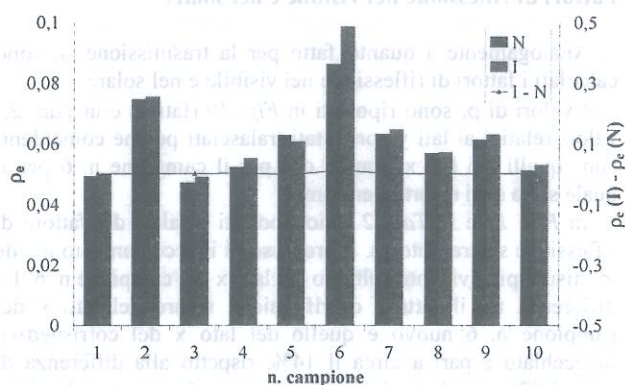


Fig. 11: Confronto tra i fattori di riflessione solare dei campioni nuovi (N) e invecchiati (I).

Oggetto delle misurazioni sono 10 campioni di vetro, diversi tra loro per colore, tecnica di colorazione e spessore; ciascun campione è stato diviso in due parti, una delle quali è stata sottoposta ad un processo di invecchiamento accelerato in camera climatica [7]. Il confronto tra le proprietà spettrofotometriche delle due parti di ciascun campione ha consentito di determinare una possibile correlazione tra invecchiamento e variazione di tali proprietà.

Lo strumento utilizzato - uno spettrofotometro Cary 2300 - ha consentito di effettuare le misurazioni sia con il metodo standard (coefficiente di trasmissione) che con la sfera integratrice (coefficiente di trasmissione di materiali diffondenti e coefficiente di riflessione). Le misure sono state eseguite nell'intervallo di lunghezza d'onda 300÷2000 nm; ciascuna misura è stata ripetuta tre volte.

I risultati ai quali si è pervenuti mostrano che il processo di invecchiamento non incide sulle proprietà di trasmissione dei campioni esaminati; solamente per il campione decorato con la tecnica della grisaglia è stato riscontrato un incremento del coefficiente di riflessione nel visibile. Si ritiene quindi che tale tecnica possa rendere il vetro più sensibile alle variazioni delle condizioni termoigrometriche connesse con il processo di invecchiamento.

ELENCO DEI SIMBOLI

I = invecchiato;
 N = nuovo;
 R = coefficiente di riflessione (%);

s = spessore (mm);
 T = coefficiente di trasmissione (%);
 λ = lunghezza d'onda (nm);
 ρ_v = fattore di riflessione nel visibile;
 ρ_e = fattore di riflessione solare;
 τ_v = fattore di trasmissione nel visibile;
 τ_e = fattore di trasmissione solare.

BIBLIOGRAFIA

1. AA. VV., *Il restauro della vetrata di Giovanni di Bonino della Galleria Nazionale dell'Umbria*, Todi 1987.
2. M. Felli, C. Buratti, F. Cotana: Sulla ventilazione di una vetrata artistica nel Duomo di Perugia, *Atti 49° Congresso Nazionale ATI*, Perugia, 26-30 settembre 1994, 387.
3. F. Asdrubali, C. Buratti, F. Cotana: Il sistema di ventilazione della vetrata di Arrigo Fiammingo nel Duomo di Perugia: monitoraggio delle condizioni termoigrometriche, *Atti 54° Congresso Nazionale ATI*, L'Aquila, 14-17 settembre 1999.
4. C. Buratti: Analysis of Thermal Stress and Strain on Arrigo Fiammingo's Artistic Window in the Cathedral of Perugia, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 123, n. 6, dicembre 2001.
5. C. Buratti, S. Ortica: Experimental Data of Thermal Expansion Coefficient on Artistic Glass. *1st International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*; 8-10 Aprile 2002, Kruger Park, South Africa.
6. F. Asdrubali, G. Baldinelli: Messa a punto di una strumentazione spettrofotometrica per misure di trasmissione e riflessione di materiali trasparenti, *XX Congresso Nazionale UIT*, Maratea, giugno 2002.
7. UNI 10593-2: Vetro per edilizia, Vetrate isolanti. Prove d'invecchiamento, misurazione della penetrazione del vapor d'acqua e requisiti, *Luglio 1996*.
8. UNI 7885: Prove sul vetro. Determinazione dei fattori di trasmissione dell'energia solare, *Dicembre 1978*.
9. EN 410: Glass in building - Determination of luminous and solar characteristics of glazing, *April 1998*.
10. F. Asdrubali, C. Buratti, G. Baldinelli: Misure spettrofotometriche su materiali trasparenti per chiusure perimetrali in edilizia. *55° Congresso Nazionale ATI*, Bari - Matera, settembre 2000.
11. M. Cucumo, D. Kaliakatsos, V. Marinelli, Sul calcolo del coefficiente di trasmissione solare delle superfici vetrate. *48° Congresso Nazionale ATI*, Taormina, settembre 1993.
12. P. Polato, M. Montecchi, M. Gattolin, F. Peron, M. Vio, Fattori di trasmissione e riflessione solare di sistemi vetriati: confronto dei risultati ottenuti in situazioni reali e secondo normative internazionali. *Convegno nazionale AIDI "Illuminazione dei beni culturali"*, Ancona, ottobre 1995.