



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Un museo da illuminare. Studio per la Sala della malachite al Museo Stibbert**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Un museo da illuminare. Studio per la Sala della malachite al Museo Stibbert / C. Balocco; P. Marano. - In: LUCE. - ISSN 1828-0560. - STAMPA. - 300/301:(2012), pp. 50-57.

*Availability:*

This version is available at: 2158/790359 since: 2019-06-24T19:25:35Z

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

STUDIO PER LA SALA DELLA MALACHITE AL MUSEO STIBBERT

# UN MUSEO DA ILLUMINARE

Museo e illuminazione vanno considerati come un'unica cosa. La struttura deve permettere il controllo della luce che gioca un importante ruolo nella conservazione e nella lettura filologica dell'opera e dell'ambiente in cui questa è contenuta. Oggetto del seguente articolo lo studio sulla Sala della Malachite del Museo Stibbert di Firenze una delle più suggestive per le sue caratteristiche peculiari dovute alla forte presenza di luce naturale e alla varietà degli oggetti in essa contenuti.

di Carla Balocco\*, Paola Marano

**N**on sono pochi gli esempi in Italia di palazzi storici, ville e financo chiese destinate a musei. Questo rende oggi il museo un sistema molto complesso, un patrimonio culturale al centro delle problematiche legate alle trasformazioni economiche ed energetiche. La questione risulta poi alquanto articolata se si pensa che il concetto stesso di museo è cambiato e con esso anche l'approccio del visitatore ad esso. L'inserimento degli impianti negli edifici storici e nei musei è sempre un tema delicato in quanto gli ambienti sui quali intervenire sono stati generalmente pensati privi di impianti. Tra le tipologie di impianti necessarie per garantire condizioni termo igrometriche interne accettabili per i visitatori e a garanzia della tutela e conservazione dei beni e delle opere, l'inserimento degli impianti elettrici e di illuminazione, può sembrare un'operazione semplice e meno invasiva e che la posa in opera possa avvenire anche in fasi avanzate del restauro. Tutto questo porta spesso a pensare che il progetto illuminotecnico possa essere realizzato anche alla fine, ma non è così. Viene spesso dimenticato che la luce è un elemento essenziale nella percezione delle superfici e dello spazio, che si può presentare la necessità di considerare la commistione tra quella naturale e quella artificiale, cosicché soluzioni grossolane e improvvisate possono alterare l'apparenza dei luoghi e dei loro contenuti fino a renderli praticamente irriconoscibili. Museo e illuminazione sono una cosa sola in quanto tale struttura deve permettere la lettura e la conservazione delle opere, funzioni che vengono espletate attraverso un opportuno studio della luce [2,8]. Una buona progettazione illuminotecnica permette al visitatore di fruire delle opere e di valorizzare la loro bellezza esaltandone i caratteri originari. Il controllo della luce

gioca un ruolo di primaria importanza nella conservazione e consente la lettura filologica dell'opera e dell'ambiente in cui questa è contenuta [2,8]. Questo lavoro di ricerca ha come tema fondamentale la luce del Museo Stibbert di Firenze, un museo attualmente "al buio" sia da un punto di vista illuminotecnico che culturale. Lo studio si è orientato su una delle sale più suggestive per le sue caratteristiche peculiari dovute alla forte presenza di luce naturale e alla varietà degli oggetti in essa contenuti, la Sala della Malachite. Si tratta di un ambiente che facendo parte di una villa museo realizzata da un collezionista ottocentesco costituisce già di per sé un'opera d'arte. La sala nasce come quadra: sono contenuti infatti al suo interno 87 dipinti appartenenti per lo più al '600 e '700. Lo studio della luce all'interno della sala è stato particolarmente complesso a causa della necessità del controllo della luce naturale e della sua distribuzione legata alla variabilità delle condizioni di cielo per la presenza del lucernario. La soluzione illuminotecnica proposta impiega luce dinamica con commistione di luce naturale e artificiale consentendo qualità di visione e percezione delle opere e dell'ambiente.

## Cenni Storici. La Sala della Malachite oggi e problematiche illuminotecniche

Il Museo Stibbert che sorge sul colle Montughi, nel Medioevo era in possesso dei Davanzati, una delle più cospicue famiglie fiorentine; nel 1800 la proprietà passò ai Signori Mezzeri, e nel 1827 a Roubert Pouget, ma l'evoluzione della villa si ha nel 1849 con l'acquisto da parte di Giulia Stibbert [4,7]. Il Museo è molto particolare (figura 1), come particolare è la personalità da cui nasce, quella di Frederick Stibbert, che fin da giovane nutre una forte passione per



le arti applicate e in particolare per i costumi civili e militari [7]. Ciò lo conduce nel 1862 alla nascita delle sue immense collezioni e alla necessità di dover ampliare la villa, così nel 1879 viene acquistata la vicina Villa Bombicci e unita alla preesistente Villa Stibbert con la Sala della Cavalcata, un ambiente lungo 22 m, largo 8m e alto 11m. Esternamente vengono condotti dei lavori di ampliamento con l'unione dei due terreni limitrofi in un unico parco. Questi lavori di modifica e ampliamento sono condotti da Giuseppe Poggi. La nascita delle nuove sale porta a una distinzione netta tra museo e villa museo; a Nord troviamo la villa con ambienti molto diversi tra loro, ad esempio la loggia degli Stucchi con pareti e soffitto decorati da elementi in stucco, la Sala da Pranzo con pareti rivestite in cuoio e il soffitto a cassettoni in stucco dipinto, nonché la Sala delle Bandiere con il soffitto caratterizzato dalle bandiere del Palio di Siena. A Sud si trova il museo vero e proprio con alcuni dei suoi ambienti più particolari, la Sala della Cavalcata con le armature cinquecentesche europee, le Sale Islamiche, e le Sale Giapponesi concepite come delle vere e proprie scenografie. Tra le nuove sale troviamo la Sala della Malachite, che deve il nome al tavolo in malachite, opera di Robert e Hanri Auguste, acquistato da Stibbert assieme al camino in malachite e al lampadario, all'asta di Villa Demidoff [4]. La Sala della Malachite fu concepita dallo stesso Stibbert come "Sala della Quadra" per esporre la sua ricchissima collezione di dipinti; fu progettata appositamente con altezza doppia rispetto alle altre sale e con illuminazione dall'alto in modo tale da lasciare libere le grandi quattro pareti di dimensioni 10x11m ciascuna. Dei dipinti presenti nella sala, 73 sono oli su tela e 14 oli su tavola, si presentano privi di vetri di protezione e hanno cornici in legno

intagliato e dorato. Sono frutto di celebri maestri, quali Agnolo Bronzino, Giovan Battista Tiepolo, Luca Giordano, Justus Suttermans, Alessandro Allori, Pieter Brueghel il Giovane e Marinus Van Roymerswaele [4]. Molte opere furono acquistate da Stibbert per arricchire la collezione iconografica di costumi e armature, dunque di rilevante importanza anche per la storia del costume, opere a volte prestate ad altri musei come l'olio su tavola "Gli Usurai", dipinto riscoperto di grande valore ed esposto recentemente a Palazzo Strozzi. La disposizione attuale della Sala è molto simile a quella dei tempi di Stibbert: resta identica la posizione delle opere maggiori, vi è qualche cambiamento per quanto riguarda quelle minori e non sono presenti più le poltroncine e le vetrinette. La maggior parte delle opere sono policrome per le quali può risultare molto critica la presenza della luce naturale (sorgente a spettro continuo) che è stato necessario dosare e controllare. Anche la scelta di sorgenti artificiali, per tipo, posizione e puntamento, ha richiesto per la soluzione illuminotecnica proposta, il controllo sullo spettro di emissione e temperatura di colore in modo da ottenere un'illuminazione che consentisse la lettura originaria delle opere e dell'ambiente. Fondamentale è stata l'analisi e controllo dei fenomeni di riflessione: le tele e le tavole dipinte ad olio sono superfici lucide e levigate e hanno un comportamento ottico di tipo semispeculare, che può dar vita a fenomeni di abbagliamento, o ad "effetto velo", con conseguente riduzione o annullamento dei contrasti e impedimento della visione. Data la presenza del lucernario, la luce naturale ha richiesto lo studio di tutte le possibili configurazioni nel corso delle ore e dei mesi dell'anno in funzione delle condizioni di cielo e in presenza o meno di integrazione con luce artificiale.

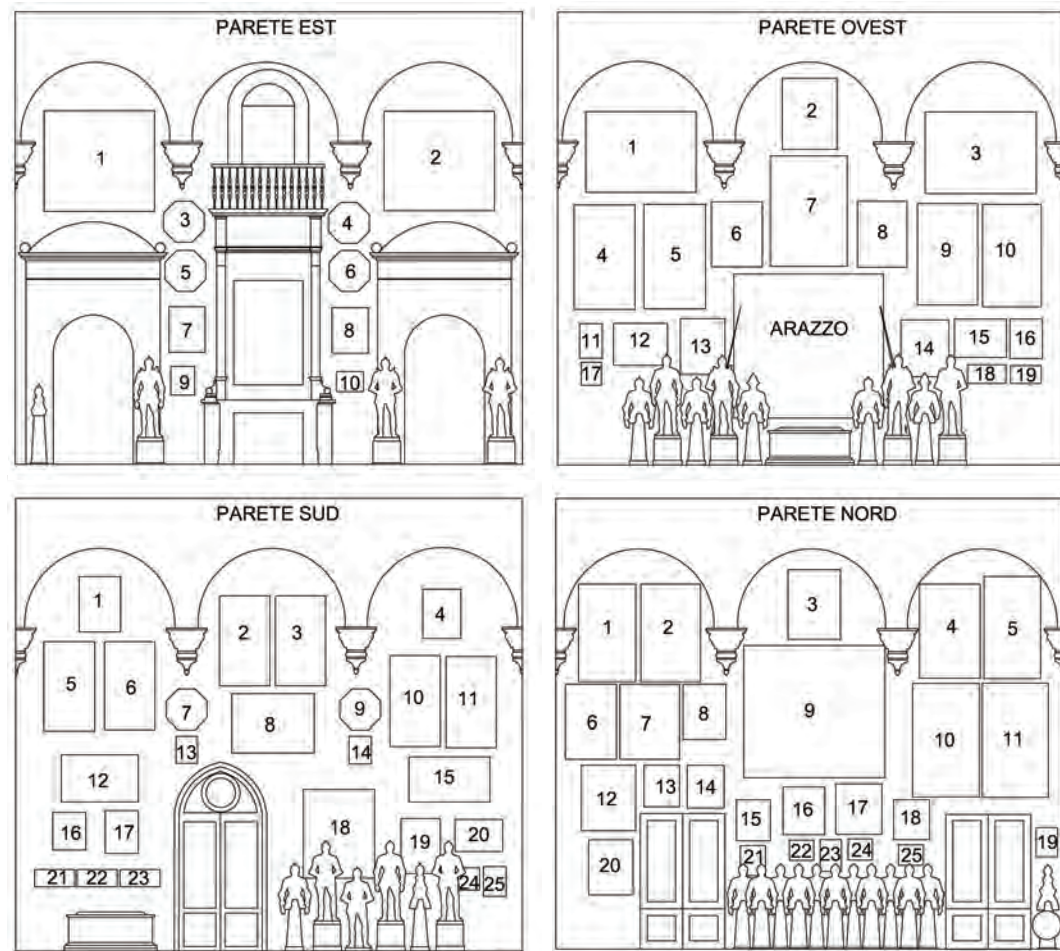
## Rilievo della Sala e modello tridimensionale

Il rilievo della sala è stato condotto in due fasi; la prima ha riguardato il rilievo geometrico architettonico, con distanziometro laser, della sala, delle opere e degli ingombri, che si è reso necessario in quanto le uniche misurazioni del museo risalgono al 1990, con tavole spesso mancanti di informazioni geometriche, presenti solo in formato cartaceo presso gli uffici del museo. Il rilievo della pianta non ha presentato grosse difficoltà trattandosi di una pianta di forma quadrata, mentre più complessa è stata la misurazione delle altezze per la presenza dei numerosi elementi architettonici quali capitelli, volte e archi nonché del lucernario a cupola e del soffitto non piano. Sono state rilevate le aperture: due portoni sul lato Nord che collegano la Sala della Malachite alla Sala del Condottiero; il portone d'ingresso sul lato Sud, e gli archi presenti sul lato Est che collegano questo ambiente al Salottino Luigi XV e alla Sala della Venere Dormiente, salette che sono state anch'esse rilevate insieme alle finestre che influenzano seppur in modo non importante la distribuzione della luce nella sala. Sono stati rilevati gli ingombri, come il camino, il tavolo in malachite, i due cassoni nuziali e i dipinti. I dipinti rivestono interamente le pareti e alcuni di essi sono collocati a grandi altezze. Questa fase ha richiesto diversi giorni di lavoro. Nel costruire il modello tridimensionale dell'ambiente, dopo aver schematizzato la distribuzione dei quadri si sono associate tutte le misurazioni effettuate, utilizzando i punti di sfalsamento tra i quadri e le loro distanze reciproche. I quadri sono stati classificati e siglati in riferimento alla parete di supporto come mostrato in figura 2. La seconda fase del rilievo ha riguardato l'individuazione e classificazione dei materiali e delle superfici per caratteristiche termo-fisiche, ottiche, colorimetriche e fotometriche. I diversi materiali sono stati classificati in funzione della loro sensibilità alla radiazione luminosa tenendo conto di quanto suggerito dalla normativa vigente che limita il livello di illuminamento e le ore di esposizione annua, nonché la quantità di radiazioni ultraviolette emesse dalle sorgenti luminose (naturali e/o artificiali) in riferimento alle categorie di fotosensibilità [5,9]. È stato quindi definito un modello tridimensionale dell'ambiente che ha consentito l'analisi della sala allo stato attuale e la proposta illuminotecnica di seguito presentata.

## Analisi dell'illuminazione attuale

La sala è illuminata in modo del tutto arbitrario e saltuario, per mezzo dell'originario lampadario settecentesco proveniente da Villa Demidoff, riadattato alla corrente elettrica negli anni '70 e recentemente rafforzato da faretti con sorgenti ad incandescenza, posti in cima ad esso che creano riflessi non trascurabili sui dipinti. I faretti necessitano frequenti spese di manutenzione, rafforzate dalla scelta di mantenere l'illuminazione fissa durante l'arco della giornata e dell'anno in cui sono svolte attività educative-formative; le visite del museo non sono molto frequenti durante l'anno. Non esistono altre sorgenti di luce se non quella naturale proveniente dal lucernario.

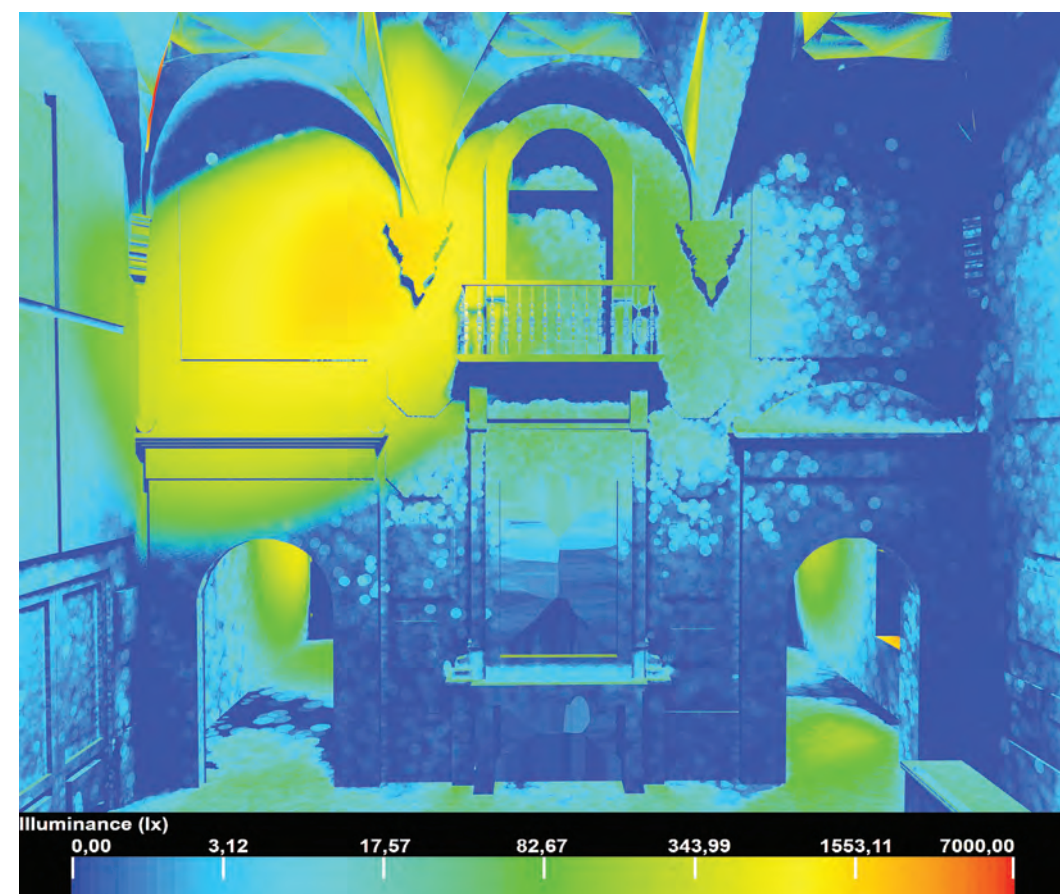
\* Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco", Università di Firenze



**Fotografia 2**  
Immagine del rilievo con identificazione e siglatura di ciascuna opera (dipinti ed arazzo) per ciascuna parete – Le pareti sono identificate secondo il loro orientamento principale e le opere siglate in funzione dell'orientamento della parete su cui giacciono e per numero arabo.

**Fotografia 3**  
Valori di illuminamento ottenuti con simulazione transitoria di sola luce naturale per la parete Est nel mese di marzo alle ore 15:00.

Questi sono i motivi per cui nello studio allo stato attuale si è deciso di considerare spento il lampadario e i faretti. D'altra parte questa scelta ha permesso di verificare la distribuzione, l'intensità e l'uniformità della luce naturale su ogni superficie e di valutare se essa risulta sempre sufficiente a garantire la visione d'insieme e quella delle opere. Allo scopo sono state condotte simulazioni transitorie di sola luce naturale con un software commerciale [1]. La verifica di



queste grandezze è stata estesa a tutto l'arco dell'anno considerando i quattro mesi più rappresentativi delle stagioni e le corrispondenti ore del giorno più critiche in funzione delle condizioni climatiche esterne (radiazione solare e temperatura dell'aria) e delle condizioni di cielo. Si riportano a titolo esemplificativo, in tabella 1 i risultati ottenuti per i casi più critici. Si può notare come la parete Ovest sia quella che presenta condizioni di illuminamento più critiche: nel mese di giugno, i dipinti posti sulla parte sinistra presentano illuminamenti di 50-60 lux che aumentano poi verso il centro con valori di 100 lux e infine raggiungono massimi elevatissimi sulle opere in basso a destra arrivando a 7 klux. Nel mese di marzo e di settembre, sempre per la parete Ovest, per quanto con una maggiore uniformità nella distribuzione, sulle opere a destra della parete si nota il superamento dei valori limite con massimi di 320 lux.

In particolare sulla parete Nord si raggiungono 4 klux in marzo e settembre alle ore 10:00 sui dipinti in alto a sinistra (tabella 1), per poi arrivare sui dipinti centrali a valori inferiori a quelli necessari per la corretta lettura dell'opera e sulla parte destra fino a valori di 30-40 lux. Sulla parete Est i valori di illuminamento sono di poco superiori a quelli prescritti per i dipinti: in giugno alle ore 13:00, i dipinti a sinistra mostrano valori massimi di 400 lux, mentre alle ore 15:00 del mese di settembre e di marzo raggiungono valori di illuminamento piuttosto alti di 3 klux (figura 3).

La parete Sud è quella più al buio per tutte le situazioni analizzate: i valori di illuminamento ottenuti non raggiungono mai i valori limite per una corretta visione, nonostante la distribuzione sia più uniforme. Infatti solo nel mese di giugno alle ore 13:00 si hanno valori medi di illuminamento sui dipinti di 40-50 lux e un valore massimo sul dipinto in alto al centro di 90 lux. Nel

mese di dicembre la parete resta buia per l'intero giorno con valori inferiori a 10 lux alle ore 10:00 rendendo i dipinti del tutto non visibili. La distribuzione delle luminanze presenta per alcune situazioni analizzate, forti differenze sulla stessa parete. Ad esempio, durante il mese di marzo alle ore 10:00 sulla parete Nord, nella parte in alto a sinistra (figura 4), si hanno luminanze molto più marcate con valori di 60-70 cd/m<sup>2</sup> rispetto al resto della parete caratterizzata da valori molto più bassi. Solo alle ore 12:00 dello stesso mese la luminanza nella parte centrale raggiunge valori di 80 cd/m<sup>2</sup> per poi decrescere in maniera apprezzabile nelle zone circostanti e per tutte le ore del giorno. La parete Est presenta un considerevole squilibrio di luminanze: alle ore 15:00 sulla parte destra in alto, raggiunge valori massimi di 70 cd/m<sup>2</sup>. La parete Ovest anche per valore e distribuzione delle luminanze oltre che di illuminamento, rappresenta la situazione peggiore: alle ore 10:00 di giugno si hanno 300 cd/m<sup>2</sup> nella parte in basso a destra, rispetto a valori molto più bassi per tutta la restante superficie (figura 5). Lo squilibrio delle luminanze riscontrabile generalmente in tutte le pareti è dovuto al fatto che la luminanza del pavimento, che ad esempio alle ore 10:00 del mese di marzo risulta 6.78 cd/m<sup>2</sup>, è più alta delle pareti che risulta di 1 cd/m<sup>2</sup> e di quella della zona del lucernario, che per lo stesso periodo di tempo è di 2 cd/m<sup>2</sup>.

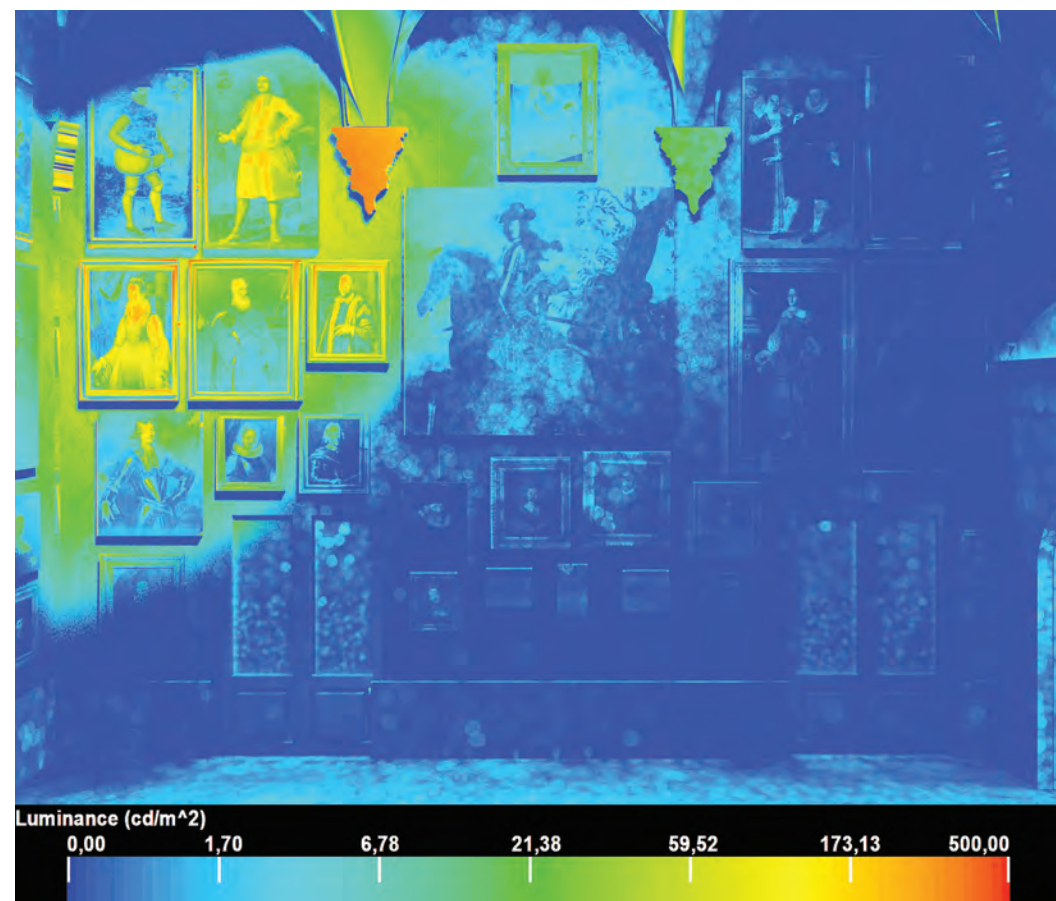
Non risultano verificati per tutti i dipinti i limiti relativi alla dose di luce annuale previsti dalla normativa come riportato in tabella 2. Si osserva infatti il superamento dei valori limite di 5 Mlux ora /anno sulle pareti Est, Ovest e Nord [5,9]. Tuttavia i dipinti non presentano evidenti segni di degrado, ciò è dovuto sia al fatto che la sala è stata riorganizzata di recente, sia al fatto che i valori di illuminamento seppur particolarmente elevati e dovuti alla sola luce naturale, non sono costanti nel tempo; inoltre l'incidenza della luce naturale sulle opere, che comunque viene filtrata dal vetro del lucernario che, anche per le condizioni di sporcamento, filtra seppur parzialmente i raggi UV, è presente non in modo continuo, con condizioni di cielo spesso coperto e/o intermedio e non per tutte le ore del giorno.

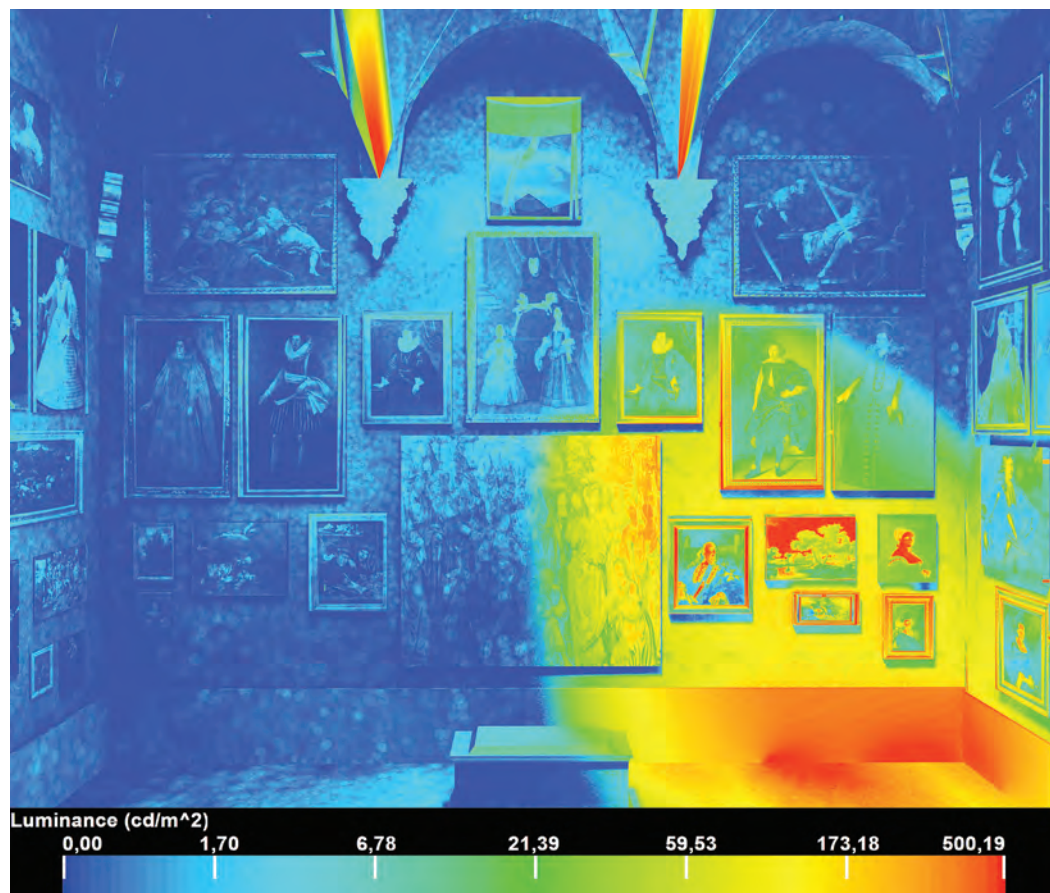
**Soluzione illuminotecnica proposta**  
La proposta illuminotecnica per la sala della Malachite, è stata studiata e valutata attraverso simulazioni transitorie di luce dinamica con commistione tra naturale e artificiale [1]. Si è fatto uso del modello di colore RGB integrato con quello percettivo HSV per definire il più vicino possibile alla situazione reale, la percezione dell'occhio umano e la sua sensibilità al contrasto, alle tonalità e alla brillantezza [6]. Questo ha comportato la modifica degli indici di tinta, saturazione e grado di purezza, brillantezza per le diverse componenti cromatiche del modello RGB base del programma utilizzato [1] con cui sono state condotte le simulazioni. La proposta prevede innanzitutto un sistema di schermatura del lucernario dall'interno con un tessuto filtrante in fibra di poliestere ad alta tenacità e ignifuga, con trasmissione della luce del 14% e riflessione del 77%. Questo tipo di sistema permette l'uso dinamico della luce natu-

**Tabella 1** Risultati della simulazione transitoria di sola luce naturale sui valori di illuminamento massimi e minimi su ciascuna opera e per ogni parete – Mesi ed ore più critiche

MESE	ORA	PARETE	ILLUMINAMENTI MASSIMI		ILLUMINAMENTI MINIMI	
			OPERA	VALORI (lux)	OPERA	VALORI (lux)
MARZO	10:00	NORD	In alto a sinistra (N1, N2, N6, N7)	4000	In alto a destra (N5, N11, N19)	15
	12:00	NORD	Centrale (N9)	5000	Estremità (N1, N5, N6, N11, N12, N19, N20)	5
	15:00	EST	In alto a sinistra (E1)	3000	In alto a destra (E2)	26
	10:00	OVEST	In basso a destra (O10)	320	In alto a sinistra (O1)	30
GIUGNO	10:00	OVEST	In basso a destra (O13, O14, O15, O17, O18)	7000	In alto a sinistra (O1, O4)	50
	10:00	NORD	In basso a sinistra (N20)	400	Estremità destra (N5, N11, N19)	30
	13:00	NORD	In basso a destra (N18, N25)	500	Estremità sinistra (N1, N6, N12)	20
	13:00	EST	In basso a sinistra (E9)	430	In alto a destra (E2)	30
DICEMBRE	12:00	NORD	In alto al centro (N3)	170	In alto a sinistra (N1, N6)	5

**Fotografia 4**  
Valori di luminanza ottenuti con simulazione transitoria di sola luce naturale per la parete Nord nel mese di marzo alle ore 10:00.





Fotografia 5

Valori di luminanza ottenuti con simulazione transitoria di sola luce naturale per la parete Ovest nel mese di giugno alle ore 10:00.

**Tabella 2** Dose di luce annuale calcolata dai risultati ottenuti dalle simulazioni transitorie per tutto l'arco dell'anno, per la sola luce naturale, sui dipinti e sull'arazzo - Confronto con i valori suggeriti dalla normativa - Sono evidenziati in arancio quelli che superano i valori limite.

VALORI LIMITE :							
DIPINTI ≤ 500 000				ARAZZI ≤ 150 000			
PARETE EST		PARETE OVEST		PARETE SUD		PARETE NORD	
OPERA	LUX ORA/ANNO	OPERA	LUX ORA/ANNO	OPERA	LUX ORA/ANNO	OPERA	LUX ORA/ANNO
E1	560 748	O1	78 345	S1	110 691	N1	493 908
E2	112 916	O2	147 389	S2	153 321	N2	900 497
E3	214 083	O3	151 242	S3	88 295	N3	347 782
E4	439 751	O4	75 455	S4	101 468	N4	224 297
E5	201 652	O5	71 663	S5	123 386	N5	130 631
E6	134 883	O6	111 053	S6	133 432	N6	760 214
E7	182 652	O7	139 381	S7	118 592	N7	1 083 486
E8	113 722	O8	154 201	S8	103 611	N8	256 011
E9	177 594	O9	151 695	S9	92 448	N9	1 270 424
E10	93 721	O10	161 023	S10	72 359	N10	245 485
		O11	57 725	S11	94 558	N11	162 287
		O12	81 855	S12	112 640	N12	181 222
		O13	531 975	S13	92 730	N13	210 752
		O14	706 035	S14	67 611	N14	245 858
		O15	348 906	S15	95 107	N15	207 077
		O16	49 201	S16	79 295	N16	217 221
		O17	746 232	S17	71 210	N17	223 692
		O18	686 660	S18	60 059	N18	219 016
		ARAZZO	92 710	S19	45 894	N19	153 702
				S20	73 324	N20	194 859
				S21	31 129	N21	173 613
						N22	172 133
						N23	194 272
						N24	219 971
						N25	258 284

rale: consiste in un sistema a ventaglio con apertura motorizzata con controllo del flusso luminoso per favorire l'ingresso della luce naturale controllata e integrata laddove necessario con quella artificiale.

La necessità di schermatura totale è prevista per la stagione autunnale e primaverile dalle ore 10:00 alle 17:00 e nella stagione estiva dalle ore 10:00 alle 18:00. Le simulazioni transitorie sono state effettuate anche in presenza di sola luce naturale per verificare l'efficacia del sistema proposto: nel mese di marzo sulla parete Nord alle ore 10:00 l'illuminamento che arrivava a 4 klux si porta, con questo schermo, a 70-80 lux; alle ore 12:00 da 5 klux raggiunge ora solo 90 lux; alle ore 15:00 dello stesso mese sulla parete Est passa dai precedenti 3 klux a 50 lux; e infine alle ore 10:00 del mese di giugno passa da 7 klux a 100 lux sulla parete Ovest.

La distribuzione di illuminamento che per tutto il mese di giugno, senza schermatura, costituiva la situazione peggiore, ora risulta più uniforme, sia sulla parete Ovest che su quella Nord.

La schermatura a ventaglio viene chiusa per metà nel mese di dicembre dalle ore 12:00 alle 15:00 in modo da bloccare il flusso luminoso solo dove questo risulti dannoso, ovvero verso il dipinto centrale in alto della parete Nord sul quale si passa, con il ricorso alla semi-schermatura, da 180 lux a 70 lux. La schermatura viene rimossa, chiudendo completamente il ventaglio, dalle 10:00 alle 12:00 e dalle 15:00 alle 17:00 del mese di dicembre e dalle 18:00 alle 20:00 del mese di giugno durante i quali i livelli di illuminamento ottenuti non risultano critici per la conservazione delle opere. Per illuminare con luce dinamica e commista tra naturale e artificiale, nelle ampie pareti della sala sono stati inseriti 25 farette con illuminazione verso l'alto, posti a terra lungo le pareti, e 18 proiettori con illuminazione verso il basso, di cui buona parte collocati radialmente intorno alla semisfera che precede il tamburo della cupola. Tutte le lampade sono dotate di sorgenti LED e rivolte verso i dipinti, mentre l'intero spazio della sala viene illuminato con luce indiretta e riflessa. Le caratteristiche delle lampade utilizzate sono riportate nella tabella 3. La necessità di usare puntamenti e inclinazioni differenti per illuminare le pareti è legata alle differenze architettoniche e dimensionali dell'ambiente: infatti sulla parete Nord sono presenti due porte che connettono l'ambiente alla Sala del Condottiero e alle Sale Islamiche; sulla parete Est si trovano i due archi di collegamento con le Salette Luigi XV e della Venere Dormiente; al centro vi è il camino in malachite; la parete Ovest non presenta aperture, mentre su quella Sud si colloca il portone di ingresso. Per la parete Nord sono usati 6 farette, di cui 3 laterali a fascio stretto (tipo A) e 3 centrali a fascio medio (tipo B) in modo che la luce arrivi con minore intensità al dipinto centrale presentando questo già valori accettabili per la luce naturale nei mesi di marzo e settembre dalle 12:00 alle 15:00; in alto sono collocati 3 proiettori a fascio largo (tipo D) disposti nei pressi del lucernario e due a fascio medio (tipo E) posti sul balconcino della parete Est e sul capitello della parete Ovest per dare luce alle opere sulle porte non raggiungibili

dagli altri corpi illuminanti.

La parete Est è illuminata da due coppie di farette a fascio stretto (tipo A) e da due proiettori a fascio largo (tipo C). Per la parete Sud si sono usati 7 farette a fascio stretto (tipo A), 3 proiettori di cui 2 posti in alto (tipo D) e 1 a fascio stretto (tipo F) posto sul balconcino della parete Est in modo da dirigere il fascio luminoso sul dipinto sopra il portone di ingresso.

Per la parete Ovest si sono usati 6 farette a fascio stretto (tipo A), 2 a fascio medio (tipo B) in prossimità dell'arazzo e 3 proiettori a fascio largo (tipo D) integrati con 2 mediani a fascio medio (tipo E). Le lampade impiegate prevedono la regolazione del flusso luminoso, dello spettro di emissione e della temperatura di colore. In funzione delle ore del giorno, della stagione e delle condizioni di cielo e dell'entità e distribuzione della luce naturale, è stato possibile controllare il livello di illuminamento e le luminanze su ogni superficie orizzontale e verticale.

Il sistema prevede il controllo e la regolazione in base all'accesso orario della luce naturale e della sua direzionalità con raggruppamenti di lampade o punti luce singoli. Le simulazioni mostrano come sulle pareti Nord, Ovest ed Est e su ogni opera di queste ci sia una distribuzione uniforme ed equilibrata di illuminamento e luminanza. Dai risultati si evince che durante la stagione estiva dalle ore 10:00 alle ore 12:00, sulla parete Ovest i dipinti posti sulla parte in basso a sinistra raggiungono per il solo contributo della luce naturale valori accettabili, per tale motivo i 3 farette rivolti verso di essi sono tenuti spenti (figura 6). Nelle restanti stagioni tutti i dipinti presentano valori di illuminamento orari mai sopra 150 lux rispettando i valori consigliati dalla normativa. Le lampade che servono per l'illuminazione dell'arazzo sono regolate per spettro di emissione, temperatura di colore e flusso emesso in funzione dell'integrazione con la luce naturale in modo da ottenere bassi livelli di illuminamento. In marzo sulla parete Nord dalle 10:00 alle 12:00 la presenza di luce naturale comunque controllata e filtrata, sui dipinti in alto a sinistra, ha comportato la regolazione del flusso dei farette e dei proiettori rispetto alla parte di parete simmetricamente opposta (figura 7). Dall'analisi dei risultati e quindi attraverso il confronto dei valori medi di illuminamento sulle singole opere, della distribuzione e uniformità delle luminanze rispetto alla luminanza di fondo, si evince come la soluzione proposta fornisce un clima luminoso ottimale per una corretta lettura storico-filologica dell'ambiente. Il coefficiente UGR, calcolato per il controllo dell'abbagliamento in tutte le situazioni studiate, risulta verificato. La soluzione proposta, basata sull'uso dinamico della luce naturale integrata con quella artificiale, consente di ottenere visioni dei singoli oggetti e dell'ambiente corrette e di qualità, garantendo la percezione di ciascuna opera passando da campo visivi statici a dinamici. La distribuzione uniforme ed equilibrata delle luminanze che crescono gradualmente in corrispondenza delle opere rispetto al fondo, al pavimento e soffitto (lucernario) permette qualità percettiva facendo risaltare colori, contrasti e tonalità (figura 8). Vengono sempre rispettati i limiti imposti dalla

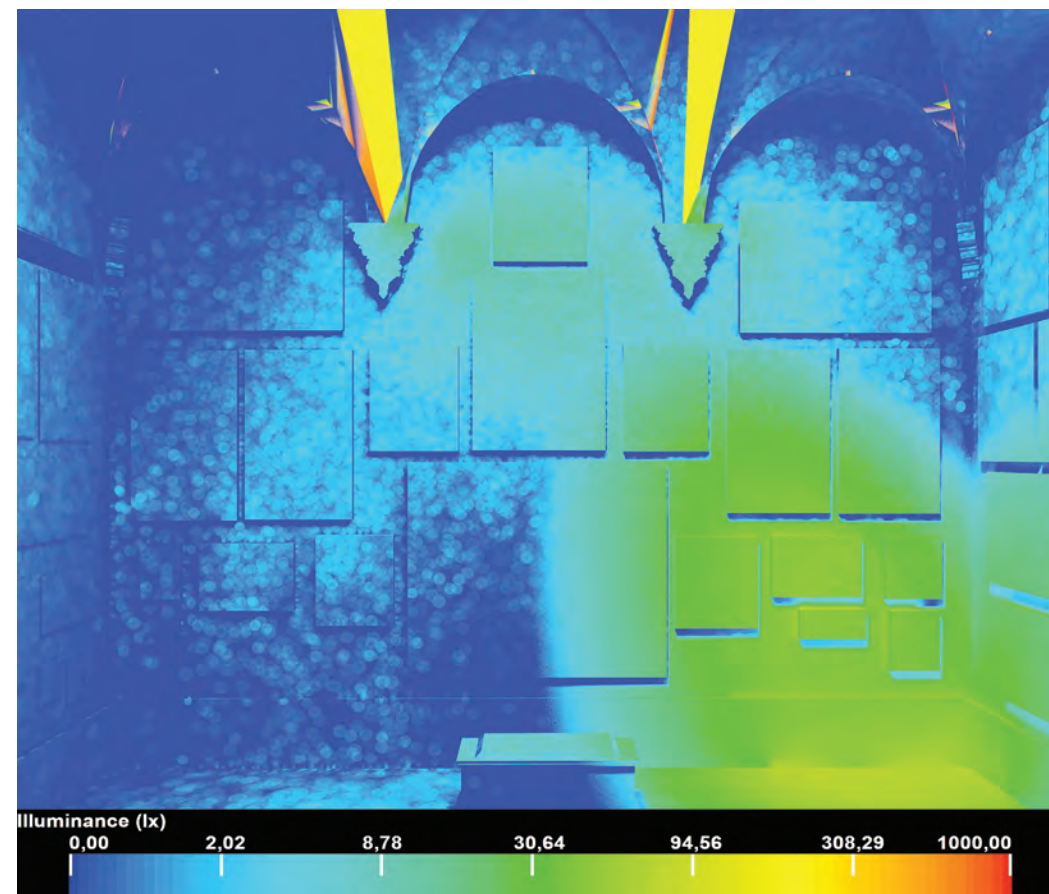
Tipo	Flusso max (lm)	Temp. colore (K)	Ra	Angolo di apertura	Curva fotometrica	Potenza assorbita (W)	Efficienza (lm/W)
FARETTI LED	A	928	4000	80.6	14°	30	32.2
	B	966	4000	80.6	23°	30	32.2
PROIETTORI LED	C	989	4000	80	40°	17	41.2
	D	1483	4000	80	40°	24	61.79
	E	1584	4000	80	25°	24	66
	F	1483	4000	80	13°	24	61.79

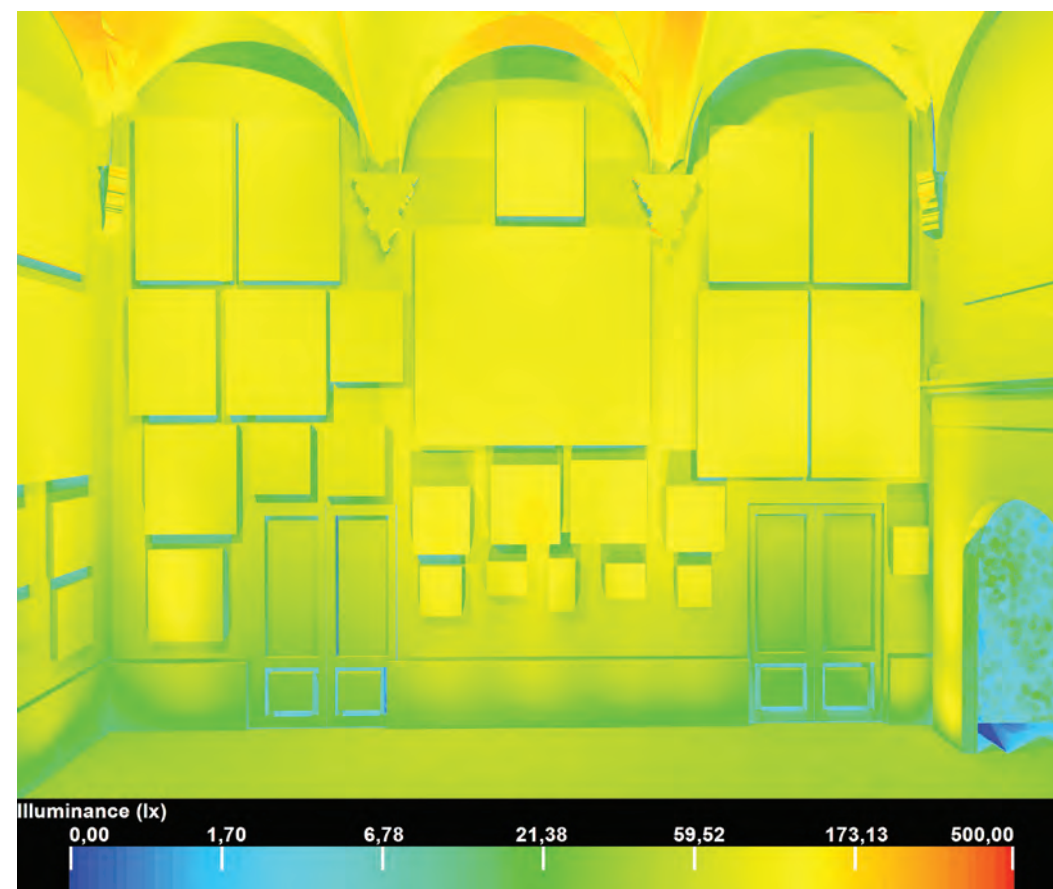
Tabella 3

Dati fotometrici ed ottici delle lampade e sorgenti utilizzate - Farette e proiettori con sorgenti LED

Fotografia 6

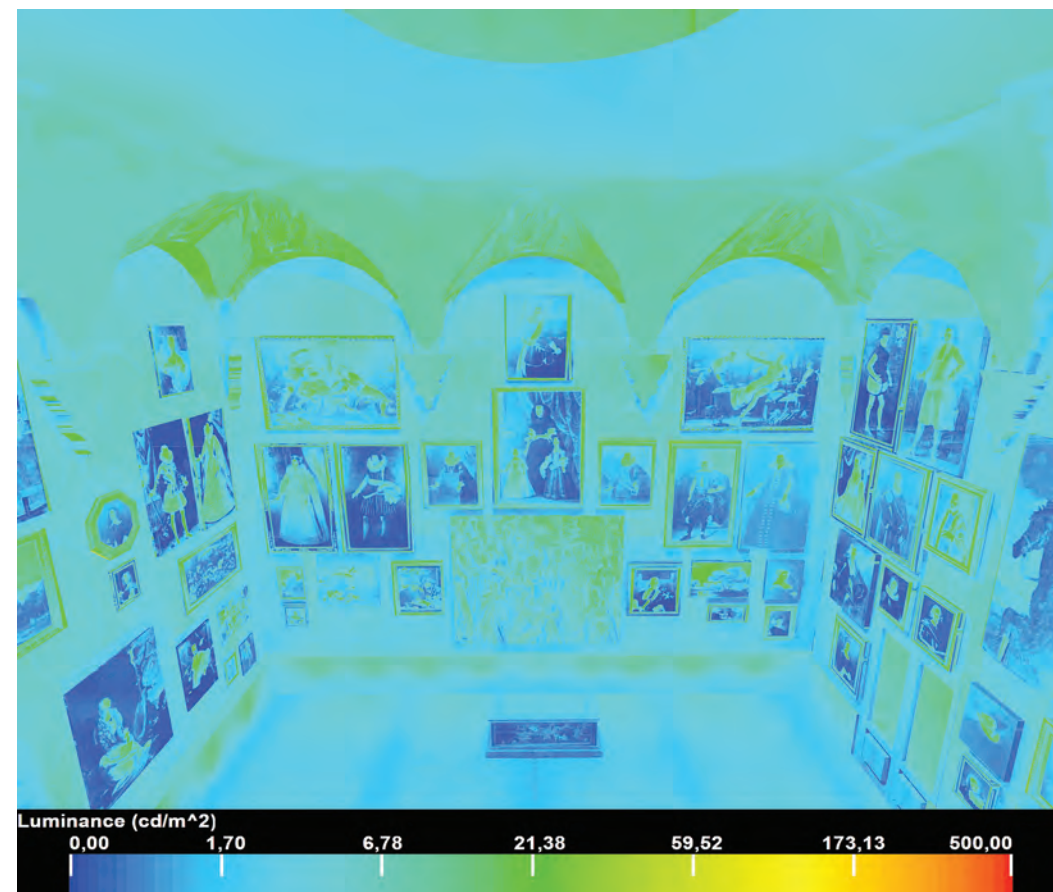
Valori di illuminamento ottenuti con simulazione transitoria di sola luce naturale e con presenza di schermatura e con i tre farette LED posti sul pavimento tenuti spenti, per la parete Ovest nel mese di giugno alle ore 10:00.





**Fotografia 7**  
Valori di illuminamento ottenuti con simulazione transitoria di commistione tra la luce naturale con luce artificiale e con presenza di schermatura, per la parete Nord nel mese di marzo alle ore 10:00.

**Fotografia 8**  
Distribuzione della luminanza all'interno della Sala, ottenuta con simulazione transitoria di commistione tra la luce naturale e la luce artificiale con presenza di schermatura per il mese di giugno alle ore 13:00 - Vista dal balconcino.



normativa per la conservazione e tutela. Si può notare in tabella 4, il limite sulla dose di luce annuale imposto dalla normativa di 5Mlux ora/anno per i dipinti e di 150 klux ora/anno per l'arazzo viene ampiamente rispettato. Inoltre per tutte le situazioni studiate si ottiene la rispondenza ai valori dei rapporti di Emax/Emin prescritti per le opere piane [5,9], per evitare anche fenomeni di tensionamento: per i dipinti il rapporto risulta 0.2 e per l'arazzo 0.5. Il posizionamento dei faretti a terra e dei proiettori in alto non produce abbagliamento né riflessioni multiple, poiché è stata scelta un'inclinazione rispettivamente superiore a 85° e inferiore a 45°. Per i 3 proiettori ad altezza intermedia, pur avendo trascurato la verifica delle curve limite di luminanza in quanto per i musei non è possibile definire una classe di qualità, i risultati delle simulazioni mostrano la totale assenza di fenomeni di abbagliamento e di effetto di velo. La qualità della visione è stata valutata attraverso il calcolo del fattore ELI (Ergonomic Lighting Indicator; [10]) che permette di valutare la qualità della luce attraverso 5 parametri: prestazione visiva, aspetto d'insieme, comfort visivo, vitalità, individualità e flessibilità. I requisiti minimi necessari risultano dunque più che soddisfatti. Il sistema di illuminazione proposto contribuisce ad un apprezzabile risparmio energetico come riduzione del consumo annuo e dei costi di manutenzione, in buona parte dovuto all'impiego dei LED [3]. È stato calcolato il fattore LENI (Lighting Energy Numeric Indicator; [10]) che è risultato di 40.13 kWh/m2 anno, tenendo conto di 25 faretti e di 18 proiettori con potenza assorbita rispettivamente di 24 W e 30 W, valutando circa 8 ore di accensione al giorno per 6 giorni settimanali, ma anche l'ulteriore consumo dovuto alla motorizzazione del sistema di schermatura e a quello di regolazione e dimmeraggio delle lampade.

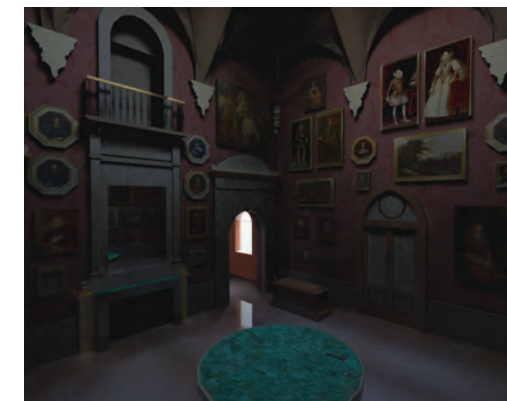
**Conclusioni**

Il meccanismo fisico della visione oggi è ben noto, come si sa che l'uomo non ha sempre visto nella stessa maniera: i Greci, ad esempio, non avevano una parola per il colore "blue" e forse non lo vedevano come lo vediamo noi oggi. Certo è che non vediamo la luce, né vediamo "la realtà", ma "la nostra visione della realtà". Sappiamo anche come la percezione sia il risultato, del tutto soggettivo, di una sequenza complessa di elaborazioni mentali in cui entra in gioco la nostra esperienza passata, la nostra sensibilità, la nostra creatività. La proposta di illuminazione per la Sala della Malachite, è basata sull'idea di poter recuperare attraverso la luce la lettura filologica e storica del museo. La proposta si basa sull'adattamento visivo alla luminanza di fondo e sul contrasto nella percezione, per mezzo dell'uso di luce modulata con livelli di intensità crescenti per condizioni di cielo coperto e per le zone buie dei dipinti; ciò per produrre campi visivi dinamici e quindi la visione d'insieme della sala, e campi visivi statici, per la corretta visione di ciascuna opera. Il nuovo sistema di illuminazione permette di recuperare e restituire alla Sala, dall'interno della quale peraltro non è consentita una visione diretta dell'ambiente

esterno, con un nuovo percorso luminoso, il suo significato e valore storico-filologico. Come si può notare anche dal confronto tra la restituzione fotorealistica ottenuta per la situazione attuale (figura 9), con quella ottenuta per la soluzione proposta (figura 10), la scelta per una luce dinamica e commista tra naturale e artificiale, con tonalità naturali e calde consente di recuperare la "memoria storica" del museo e del luogo restituendo alla Sala della Malachite il suo carattere ed impressione originari, pensata e voluta come Quadreria. Non è possibile restituire la visione, né tanto meno la percezione che Stibbert aveva della sua casa e di questa particolare stanza; è stato però possibile fare apparire l'intento, il gusto, le tendenze e passioni di questo grande collezionista, progettando la luce in funzione della qualità di percezione e visione, della capacità di riconoscimento combinando tra loro quegli spazi di luce, zone di colore e superfici caratterizzati da spettri semplici o addirittura monocromatici. Si è voluto consentire attraverso la combinazione di luce dinamica naturale e artificiale la possibilità di compresenza per l'osservatore di campi visivi statici e dinamici, in altre parole permettere quel "colpo d'occhio" con cui è possibile percepire, non solo vedere, ma dunque anche sentire all'interno di questo nuovo clima luminoso un tempo diverso, il tempo della riflessione e del pensiero sulla nostra memoria storica, che non sempre è esplicita in quanto esperienza, ma che permette conoscenza, capacità ed approfondimento di pensiero.

**Bibliografia**

- 1] 3ds Max-Vray-MentalRay, Autodesk Design 2011.
- 2] Bonomo M., Illuminazione d'interni, Maggioli, Ed. 2008.
- 3] Forcolini G., "Illuminazione LED, funzionamento, caratteristiche, prestazioni, applicazioni", in Rivista LUCE n. 4, 2008, pp.70-74.
- 4] Fuchs C.D., Di Marco S., Beccatini M., Il Museo Stibbert, la casa museo, Ed. Sillabe, Livorno 2003.
- 5] Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 - Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei, G.U. 19/10/2001, n. 244 suppl. ord. Serie Generale.
- 6] Ohta N., Robertson A.R., Colorimetry Fundamentals and Applications, J. Wiley and Sons, 2005.
- 7] Piacenti K.A., Sisi C., Di Marco S., Del Francia P.R., "Frederick Stibbert, gentiluomo collezionista, e sognatore", in Rivista Museo Stibbert a Firenze n. 3, Ed. Polistampa 2000.
- 8] Thomson G., The museum environment, II Ed., Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford 1994.
- 9] UNI 10969-2002, Cultural heritage-general principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environments.
- 10] UNI EN 15193-2008, Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.



**Fotografia 9**  
Restituzione fotorealistica dell'interno della Sala, ottenuta con simulazione transitoria di luce naturale senza schermatura per il mese di dicembre alle ore 10 - Vista sulle pareti Sud ed Est - Stato attuale.



**Fotografia 10**  
Restituzione fotorealistica dell'interno della Sala, ottenuta con simulazione transitoria di commistione tra luce naturale e luce artificiale senza schermatura, per il mese di dicembre alle ore 10- Vista sulle pareti Sud ed Est - Soluzione illuminotecnica proposta.

**Tabella 4**

Dose di luce annuale calcolata dai risultati ottenuti dalle simulazioni transitorie per tutto l'arco dell'anno, per soluzione illuminotecnica proposta con commistione di luce naturale ed artificiale, sui dipinti e sull'arazzo - Confronto con i valori suggeriti dalla normativa - Sono rispettati in tutti casi i valori limite.

VALORI LIMITE :									
DIPINTI ≤ 500 000								ARAZZI ≤ 150 000	
PARETE EST		PARETE OVEST		PARETE SUD		PARETE NORD			
OPERA	LUX ORA/ ANNO	OPERA	LUX ORA/ ANNO	OPERA	LUX ORA/ ANNO	OPERA	LUX ORA/ ANNO		
E1	219 500	O1	200 916	S1	293 570	N1	261 584		
E2	220 693	O2	277 404	S2	268 281	N2	255 926		
E3	224 241	O3	267 425	S3	276 728	N3	264 624		
E4	230 979	O4	276 425	S4	291 009	N4	267 401		
E5	223 800	O5	256 117	S5	289 601	N5	241 076		
E6	222 602	O6	260 578	S6	255 192	N6	271 503		
E7	203 197	O7	273 259	S7	243 074	N7	280 928		
E8	207 239	O8	275 574	S8	255 533	N8	247 743		
E9	147 485	O9	296 212	S9	276 317	N9	264 370		
E10	148 078	O10	270 079	S10	267 869	N10	271 243		
		O11	245 073	S11	286 810	N11	262 756		
		O12	241 584	S12	216 176	N12	259 829		
		O13	229 286	S13	235 617	N13	229 119		
		O14	222 013	S14	256 360	N14	235 560		
		O15	236 851	S15	268 116	N15	290 490		
		O16	239.060	S16	262 640	N16	286 207		
		O17	208 234	S17	219 033	N17	285 729		
		O18	227 566	S18	211 175	N18	266.225		
		ARAZZO	145 124	S19	216 085	N19	272 496		
				S20	176 836	N20	210 334		
				S21	171.392	N21	246 222		
						N22	251 189		
						N23	206 692		
						N24	261 085		
						N25	203 435		