

Per un rinascimento cromatico. Gli interventi di nuova illuminazione nel Cenacolo Vinciano (Milano) e nella Cappella degli Scrovegni (Padova)

Piergiovanni Ceregioli

Abstract

Light is Back represents iGuzzini's commitment to Social Innovation through Lighting. Leonardo da Vinci's Last Supper (Milan) and the Scrovegni Chapel (Padua) are two of the masterpieces of modern art recently adopted by iGuzzini. Replacing the old fluorescent lighting system, a new LED lighting with the latest generation of luminaires was designed for the best visibility and conservation of these artworks. This new system highlights the chromatic richness and splendid details of both wall paintings, guarantees the control of light distribution, and reduces the heat dissipated inside the room and the absorbed power. Thermographic assessment and spectramorphic values are even lower than those stipulated by Italian and European standards for highly sensitive artworks. All the photometric values (both thermal and microclimatic) have been conducted and certified by the Photometry Laboratory for the Higher Institute for Conservation and Restoration (ISCR). Finally, a solution has been developed for integrating artificial with natural light inside the Scrovegni Chapel.

Gli interventi di rinnovo degli impianti di illuminazione per lo spazio architettonico e le pitture parietali di due contesti di eccellenza del patrimonio culturale italiano, quali sono il Cenacolo Vinciano¹ e la Cappella degli Scrovegni,² traggono origine dalla rivoluzione introdotta dal LED (Light Emitting Diode) nel campo della luce artificiale. Questa sorgente appartiene di fatto alla cultura digitale per concezione tecnologica degli apparecchi e loro interazione col mondo del web. Tra i suoi principali vantaggi sono l'efficienza energetica, che consente una notevole riduzione dei consumi, e la longevità delle sorgenti stesse, fino a 10 volte quella delle sorgenti tradizionali; inoltre, la composizione dello spettro visivo, che può migliorare la qualità della resa dei colori, e l'assenza di raggi ultravioletti ed infrarossi, che sono i principali fattori di rischio legati alla luce per le pitture, conferiscono alla tecnologia LED una notevole importanza nelle applicazioni per i beni culturali, in particolare per le opere pittoriche.

La qualità dei colori che percepiamo, infatti, è essenzialmente il prodotto delle caratteristiche spettrali del colore stesso (che in fisica si chiama 'fattore di riflettanza spettrale'), delle capacità percettive dell'osservatore e della qualità della luce che lo illumina. Se non cambiano le prime due, è la terza grandezza, la fonte di illuminazione, che determina la qualità del colore che percepiamo, ossia la sua tinta, il suo grado di saturazione (purezza) e di luminosità rispetto all'ambiente circostante. Attualmente gli

indici con i quali viene effettuata la verifica di quanto una luce rappresenti i colori di una superficie dipinta tengono conto di due parametri: uno è la c.d. fedeltà cromatica, l'altro è l'estensione del numero di colori percepibili (Gamut), che concorre a distinguere meglio i particolari di scene dipinte. L'arricchimento del numero di frequenze emesse dalla luce di una sorgente LED permette di attivare una risposta cromatica dei pigmenti pittorici più simile a quella che produce la luce naturale, e ciò consente di avere, da un lato, una maggior fedeltà cromatica, dall'altro, di incrementare il numero dei colori percepibili, migliorandone anche il contrasto.

Le attuali progettazioni sfruttano appieno le tecnologie illuminotecniche ed informatiche al fine di accordare la luce naturale e quella artificiale nel modo più opportuno, ottimizzando la fruizione delle opere nel proprio contesto storico-architettonico. Le tecnologie digitali, sia relative alle sorgenti luminose che ai sistemi di controllo delle sorgenti stesse, permettono infatti un sostanziale avvicinamento della luce artificiale alle caratteristiche di qualità e variabilità proprie della luce naturale; i risultati sono controllabili con strumentazioni idonee e valutabili con nuovi e più accurati modelli di calcolo.

L'intervento nel Cenacolo Vinciano e quello nella Cappella degli Scrovegni, entrambi attuati in stretta collaborazione con il Laboratorio di Fotometria dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro di Roma,³ sono stati legati da un medesimo obiettivo: migliorare la qualità percettiva dei colori al fine di ottimizzare la visione delle pitture. Non solo, però.

La luce artificiale è esente da UV e IR, il LED riduce ulteriormente la propria influenza sul deterioramento dei pigmenti, come pure il carico termico dissipato dall'impianto d'illuminazione. Tutto ciò costituisce quella che da tempo definiamo nel nostro campo 'conservazione preventiva'.

Nei contesti musealizzati anche l'illuminotecnica è soggetta ai criteri di monitoraggio e controllo delle condizioni ambientali e dei fattori di degrado legati alla presenza di gas inquinanti e di polveri disperse: il fine è accordare al meglio conservazione e fruizione. In questo senso le nuove metodologie illuminotecniche affiancano ed integrano gli obiettivi perseguiti da ogni restauro: potenziare la conservazione e la percezione di un'opera, contrastando per quanto possibile i segni che il trascorrere del tempo inevitabilmente lascia dietro di sé.

Il Cenacolo Vinciano

L'adozione del Cenacolo da parte di iGuzzini alla fine del 2014 ha comportato l'offerta di un nuovo impianto di illuminazione inclusivo di tutto il contesto entro cui è l'Ultima Cena, dunque anche della Crocifissione del Montorfano, del Refettorio e degli spazi esterni di accesso per i visitatori.⁴ L'installazione del nuovo sistema è stata preceduta da analisi accurate condotte dal laboratorio di Fotometria dell'ISCR per valutare le criticità relative all'impianto preesistente e favorire la definizione di obiettivi di progetto che tenessero

Summary result

Metric	Test	Reference	Notes	Metric	Test	Reference
R_f	94	100	IES TM-30-15 Fidelity index	CCT	3384	3384
R_g	104	100	IES TM-30-15 Gamut index	D_{uv}	-0.0082	0.0000
CIE R_2	96	100	CIE Test Color Method General Index	x	0.4030	0.4120
R_9	90	100	CIE Test Color Method Sample Nine Score	y	0.3713	0.3940
LER	261	177	Luminous Efficacy of Radiation	u	0.2424	0.2387
				v	0.3350	0.3424
$R_{t,skin}$	96	100	Average of CES15 and CES18 (skin)	u'	0.2424	0.2387
				v'	0.5025	0.5136

Fig. 1: Cenacolo Vinciano: sinossi dei risultati relativi alla resa del colore secondo la metodologia TM30.

conto, oltre che della valorizzazione dell'opera di Leonardo, anche dell'interazione con gli altri parametri ambientali in modo da ridurre al minimo l'impatto di ogni nuova soluzione illuminotecnica sul Refettorio e gli altri dipinti.

L'Ultima Cena che vediamo ora emerge dal difficile e paziente restauro eseguito da Pinin Brambilla tra 1977 e 1999. Tuttavia, nell'impianto installato nel 2002, con le lampade fluorescenti dallo spettro discontinuo, l'abbinamento tra i bassi livelli di illuminamento sulle pitture (30-50 lux) e nella sala (10 lux) e la temperatura di colore di 4200 K generava la sgradevole sensazione di una luce dominante blu-verde livida, riducendo palesemente la brillantezza dei colori caldi della pittura, in particolare degli incarnati, rispetto ai colori freddi. Si trattava cioè di una condizione di visione quasi mesopica (quella che si ha quando il livello di illuminazione è intermedio e consente di rilevare le differenze di colore). Per ovviare a questo inconveniente bisognava tornare a una temperatura di colore più vicina ai 3000 K: così sono stati testati, sia nel laboratorio di Fotometria dell'ISCR a Roma sia nel Cenacolo stesso, due diversi tipi di LED COB (Chip On Board) caratterizzati da una CCT (Temperatura di Colore Correlata) diversa, pari rispettivamente a 3384K e 2950 K, entrambi con Ra (Indice di Resa Cromatica) rispettivamente di 95 e 92. La scelta, condivisa con la direzione museale e la restauratrice Brambilla, è caduta sul COB con CCT 3384 K, che permetteva di ovviare al meglio anche ai problemi percettivi dei pigmenti usati nel restauro. Infatti, nell'Ultima Cena i pigmenti per l'integrazione erano stati scelti valutandone la vicinanza con quelli originali alla luce di una sorgente fluorescente da 5500 K e di conseguenza nell'impianto del 2002 furono mantenute lampade fluorescenti per evitare effetti di metamerismo, ossia che i pigmenti integrati, illuminati da una lampada di differente natura, potessero essere percepiti come diversi da quelli originali, apparendo come una sorta di 'toppe' sul dipinto parietale. Le sorgenti luminose a spettro continuo, nel nostro caso il LED COB, ottengono invece non solo una resa del colore superiore a quella degli spettri discontinui tipici delle lampade a scarica o delle lampade fluorescenti, ma eliminano anche i problemi di metamerismo.

Inoltre, al fine di una migliore valorizzazione dell'opera restaurata, era indispensabile ampliare la restituzione visiva dei colori, in particolare riguardo alla gamma cromatica dei rossi. L'occhio umano, infatti, percepisce queste radiazioni a margine dello spettro

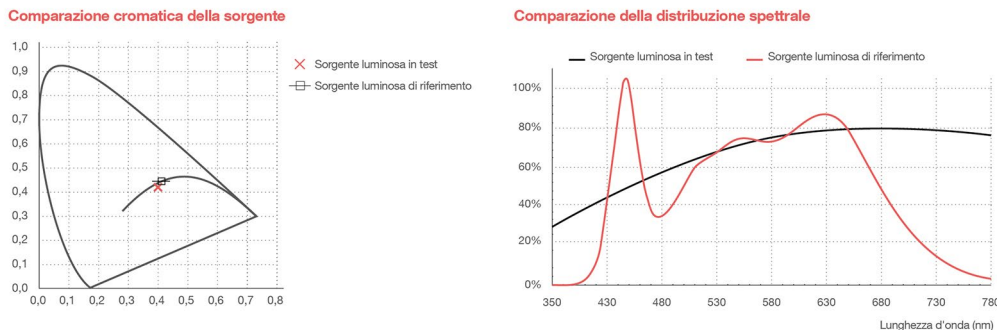


Fig. 2: Cenacolo Vinciano: comparazione cromatica della sorgente e comparazione della distribuzione spettrale.

visivo fino a 740 nm ca: la luce naturale con presenza della radiazione solare diretta ha una forte emissione in tutto il range dei rossi. I LED di uso generico abbattano quasi completamente la loro emissione nella gamma dei rossi a 680 nm ca, limitando così la risposta spettrale sugli incarnati, che esprimono la loro caratterizzazione cromatica proprio in questa specifica regione del visibile. Il LED COB scelto per L'Ultima Cena ha invece uno spettro che non solo determina una resa dei colori ottimale in tutto il campo del visibile, ma migliora anche quella dei rossi e in particolare nella gamma che connota le figure (fig. 1).

Per caratterizzare i parametri oggettivi, che risultano modificati dalla nuova illuminazione rispetto alla precedente, sono state effettuate acquisizioni colorimetriche, a qualche metro di distanza, da entrambi i dipinti nel Refettorio, utilizzando l'apparecchiatura DELTA ICAM per colorimetria d'immagine dell'ISCR. Il dispositivo, una sorta di occhio elettronico calibrato capace di effettuare rilevamenti estesi a tutta un'area dipinta, permette di analizzare punto per punto se cambiano le caratteristiche cromatiche sotto una certa luce rispetto ad un'altra e quali parametri sono mutati (lunghezza d'onda dominante, purezza del colore etc.). Ogni acquisizione consente di rilevare contemporaneamente una matrice di 700.000 punti di misura colorimetrica (Tristimulus) correlati con l'immagine del dipinto; in particolare, questo genere di operazione permette di quantificare e comparare le differenze di luminanza, saturazione e lunghezza d'onda dominante dei colori percepiti, impiegando come fonte di illuminazione da un lato i LED, dall'altro i tubi fluorescenti. Questa metodologia permette anche di registrare le variazioni di estensione della fascia di colore percepito (Gamut) nello spazio cromatico fisico CIE 1931 (figg. 2. 3). Complessivamente le differenze tra le due illuminazioni non riguardano soltanto l'estensione dell'area quanto piuttosto la purezza del colore: utilizzando i LED COB il Gamut si sposta sulla destra del diagramma tricromatico (fig. 4). Confrontando punto a punto sulla tavolozza, la purezza di eccitazione aumenta per quasi tutti i colori – anche sugli incarnati – tranne che per il blu, dove diminuisce. È questo probabilmente il motivo per il quale, nella scena, si ha la sensazione visiva che le singole figure emergano maggiormente nell'illuminazione con i LED.

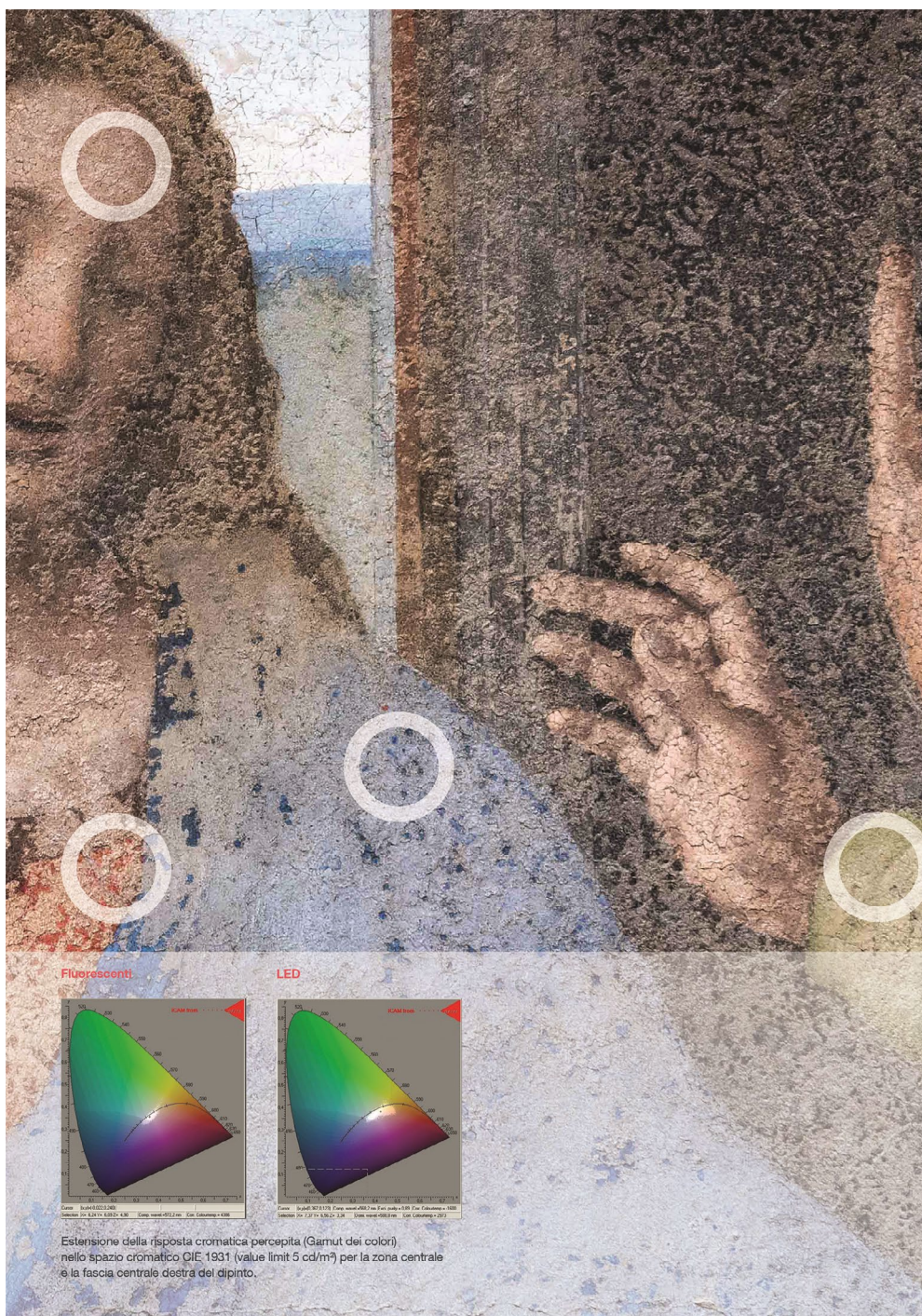


Fig. 3: Cenacolo Vinciano: Estensione della risposta cromatica percepita (Gamut dei colori) nello spazio cromatico CIE 1931 (value limit 5 cd/m²) per la zona centrale e la fascia centrale destra del dipinto. A sinistra la vecchia illuminazione a lampade fluorescenti, a destra la nuova a LED.

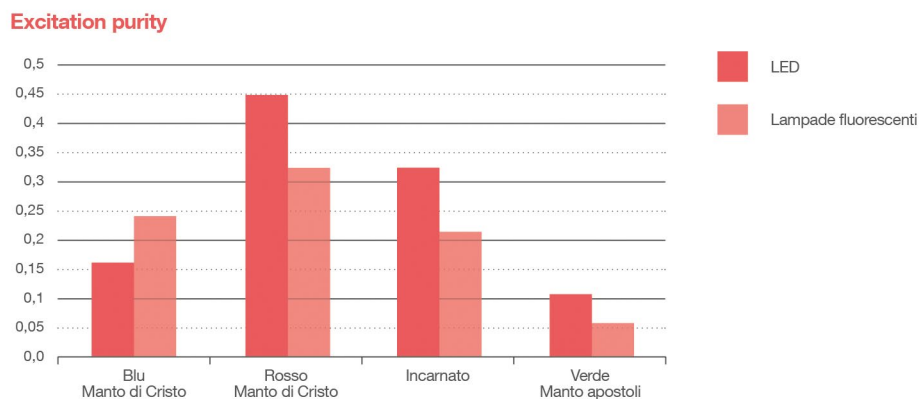


Fig. 4: Cenacolo Vinciano: Purezza di eccitazione di un singolo pigmento (rosso chiaro=lampade fluorescenti, rosso scuro=LED): maggiore è l'altezza dell'istogramma, maggiore è la saturazione del colore percepito.

La Cappella degli Scrovegni

L'intervento nella Cappella degli Scrovegni,⁵ eseguito fra 2016 e 2017, è stato parimenti indirizzato a incrementare la resa cromatica dei colori e la percezione visiva delle scene, migliorando innanzitutto gli spettri luminosi emessi dalla luce artificiale. Anche in questo caso, si è effettuato il passaggio da un impianto con lampade fluorescenti ed alogenuri metallici discontinui, installato nel 2003, ad un'illuminazione a LED, capace di avvicinarsi notevolmente alla luce naturale e contenente nello spettro continuo tutti i colori del visibile. Ma rispetto al Cenacolo Vinciano, si è potuto operare con una nuova, ulteriore risorsa tecnologica, che permette di modificare dinamicamente anche la temperatura di colore (CCT) e quindi la tonalità della luce, per renderla più vicina alla variazione dello spettro della luce solare; questa penetra infatti nella Cappella dall'esterno e cambia continuamente i suoi equilibri a seconda delle condizioni meteorologiche e dell'angolo di incidenza dei raggi. L'ambiente degli Scrovegni è molto diverso da quello del Cenacolo, privo di luce naturale; nella Cappella invece non solo ci sono ampie vetrate, ma queste sono persino collocate su un'unica parete, creando contrasti visivi che possono diventare molto forti in alcune ore del giorno, a discapito di un pieno godimento dell'opera da parte dei visitatori, poiché le pitture della parete finestrata si trovano contro luce (e le finestre non possono essere schermate), mentre quelle della parete di fronte sono investite da una notevole luminosità. L'impianto LED, però, è in grado di ridurre l'apporto di illuminazione artificiale su quest'ultima parete, pur rimanendo nei limiti imposti per la corretta conservazione degli affreschi. E lo stesso vale, benché per un arco di tempo più limitato nella giornata, anche per la parete con il Giudizio Universale sulla controfacciata, dove si trova una grande trifora.

Quindi, la temperatura di colore scelta come riferimento è stata proprio quella della luce naturale proveniente dalla trifora di sud-ovest nelle ore intermedie del pomeriggio, considerata la migliore – più bella e suggestiva – dai visitatori e dalla direzione del

complesso, la quale in termini numerici corrisponde a 3840 K. Le sorgenti LED, selezionate tra quelle con maggiore completezza dello spettro e con emissione nell'area cromatica dei rossi estesa ad oltre 740 nm (rispetto al limite di 690nm dell'impianto precedente) hanno notevolmente migliorato la 'fedeltà cromatica' delle pitture ed ampliato l'area dei colori distinguibili.

Inoltre, con il nuovo impianto, la composizione cromatica delle emissioni luminose ha ridotto di circa il 25% la propria influenza sul deterioramento dei pigmenti e ciò permette di incrementare sia la dose di luce annuale restando nei limiti ammessi dalle normative europee, sia la durata dell'esposizione delle pitture. La Cappella degli Scrovegni è aperta al pubblico 10 ore al giorno per 363 giorni l'anno, si stimano circa 3500 ore di illuminazione degli affreschi ai fini della fruizione e valorizzazione del complesso. Tradotto in termini di prestazione tecnica significa che il valore di illuminamento medio su entrambi le pareti è di 87 lux, che determina un valore di 304.500 lux/ore/anno prodotto dalla sola luce artificiale: circa il 50% di quella considerata ammissibile dalle norme. Inoltre, l'uniformità di illuminamento si attesta su valori E_m/E_{max} superiori 0,8.

Anche la riduzione del carico termico dissipato dall'impianto d'illuminazione è cospicua – nell'attuale condizione, circa il 60% dell'energia elettrica assorbita – il che genera una diminuzione del carico di lavoro pure per l'impianto di climatizzazione.

Nella Cappella degli Scrovegni sono stati effettuati rilevamenti sia di natura classica, riguardanti i livelli di illuminamento, la composizione di ultravioletto e infrarosso dello spettro della sorgente luminosa, sia di controllo cromatico utilizzando acquisitori spettrofotometrici. I dati sono stati elaborati con modalità di calcolo messe a punto dallo IES (Illuminating Engineering Society) con lo standard TM30 le quali permettono di ricalcolare la qualità della risposta del colore sottoposto ad un determinato spettro di eccitazione; il calcolo con TM30 è effettuato per una gamma di colori più ampia di quella utilizzata nel calcolo del Color Rendering Index e quindi produce un valore numerico più significativo della fedeltà cromatica su pitture.

Sono stati realizzati anche i controlli sui pigmenti reali presenti negli affreschi giotteschi, effettuando rilevamenti a mezzo di strumentazione per colorimetria di immagine. Nello specifico sono stati indagati i pigmenti di incarnati, aureole, cielo, abiti etc., verificando che, con il tipo di luce scelta per la base d'illuminazione, la purezza del colore dei cieli è rimasta invariata rispetto alle precedenti fonti di luce artificiale, mentre il livello di saturazione di tutti gli altri colori (in particolare delle tonalità calde) ha registrato un incremento significativo, cioè: le vesti, i volti dei personaggi, gli sfondi, le aureole appaiono più distinti e percepibili (fig. 5).

L'adozione nella Cappella degli Scrovegni di LED Tunable White, gestibili con un sistema di controllo, permette una regolazione attenta della miscelazione degli spettri continui dei singoli LED e consente di definire sul posto lo spettro di emissione ottimale sia con misurazioni della variazione della purezza del colore che con la comparazione visiva direttamente sull'opera (figg. 6. 7). Per i controlli sono state adottate, oltre alle tradizionali tecniche di misurazione spettrofotometriche (spettrometro a fibre ottiche Ocean Optics,

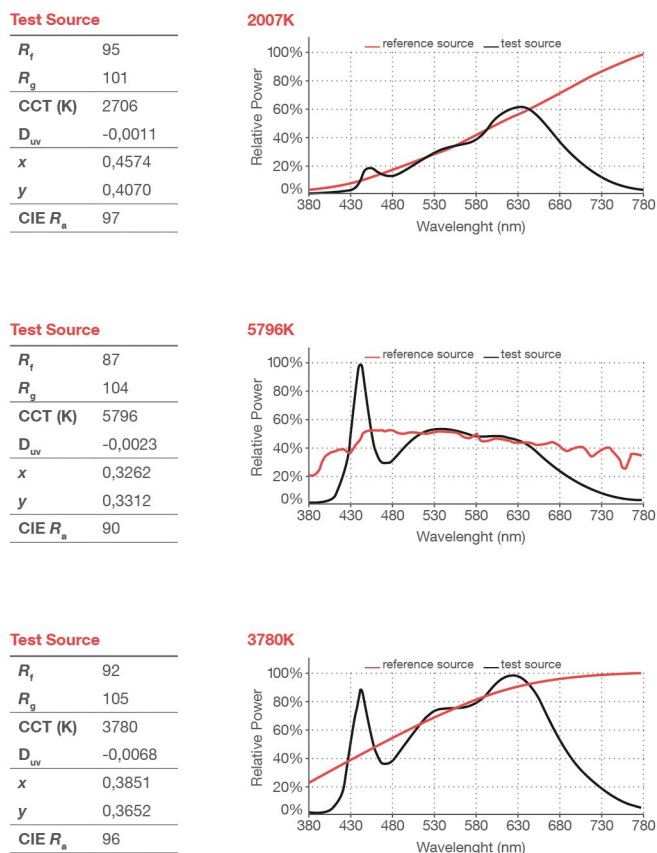


Fig. 5: Cappella Scrovegni: distribuzione spettrale degli apparecchi Laser Blade Tunable white nella configurazioni: 2706K-5796K-3780K.

spettrofotometro Konica Minolta CL500a), anche acquisizioni con tecniche di colorimetria d'immagine, con l'utilizzo di un colorimetro/luminanziometro 2D ICAM Delta (fig. 8).

Grazie ai due limiti 2700 K e 5700 K degli apparecchi di illuminazione a LED Tunable White si possono ottenere, in momenti determinati, condizioni di luce di temperatura intermedia, compresa quella individuata come ottimale (3800k): ad esempio durante le visite accompagnate da attori in costumi d'epoca è possibile accogliere il pubblico 'a lume di candela' (2700k) per poi rivelare i colori sotto una luce di più elevata fedeltà cromatica e simile a quella che filtra dalle finestre in un giorno di sole (4500K).

L'integrazione di luce naturale e luce artificiale è realizzata con tecnologia IoT. L'unità di sensing sviluppata da WiSense⁶ per la Cappella degli Scrovegni, posta a bordo di ogni nodo della Wireless Sensor Network (WSN) per Internet of Things e basata su un'architettura IPv6 (Internet Protocol version 6) di nodi sensori, misura l'illuminamento e la temperatura di colore per tutto il tempo di presenza della luce naturale. Il cuore delle soluzioni proposte è costituito dal WSNode, un concentrato di tecnologia che permette la connessione ad Internet di qualsiasi oggetto associando ad esso un indirizzo IP univoco a livello globale.

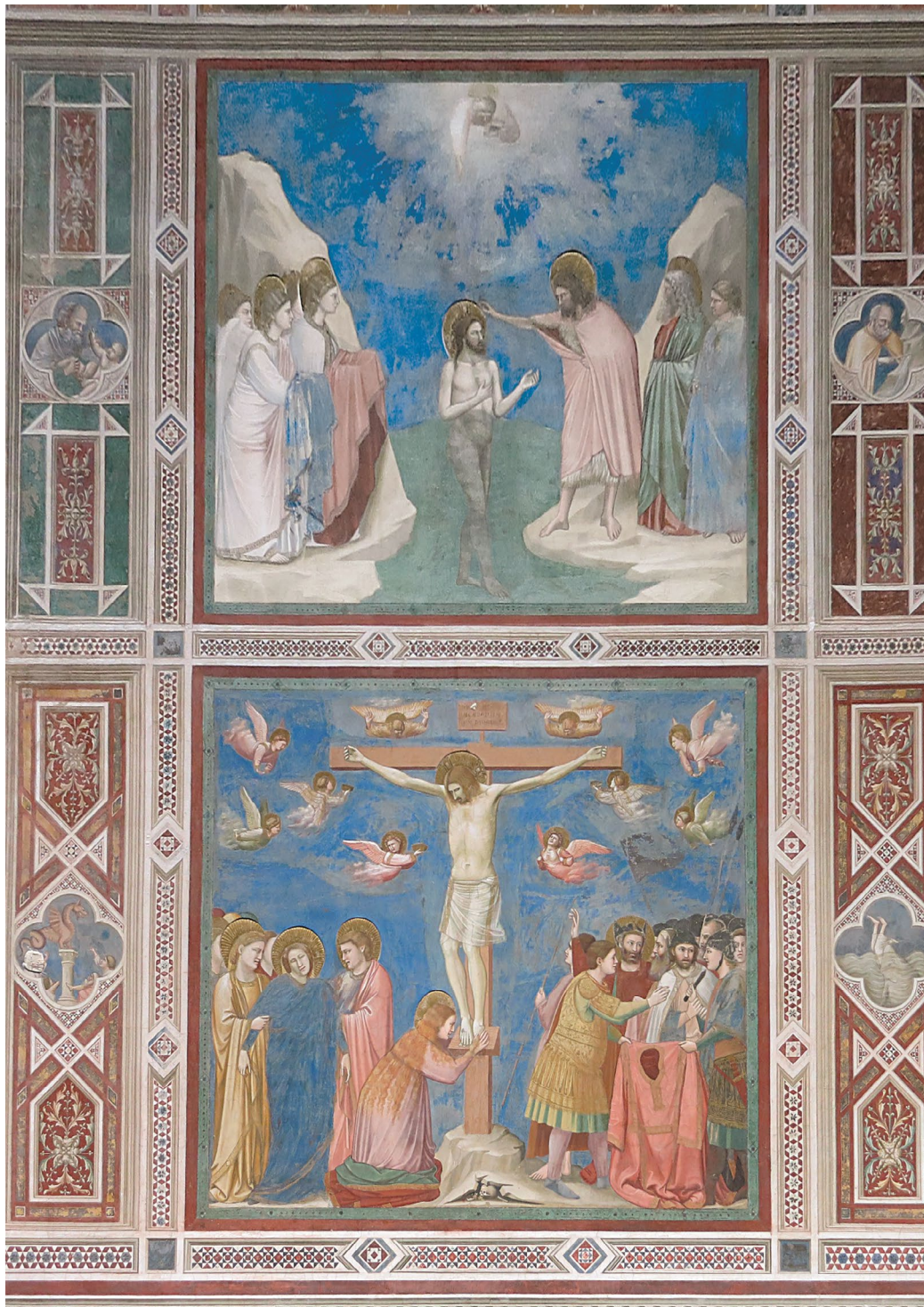


Fig. 6: Cappella degli Scrovegni: Battesimo di Cristo e Crocifissione.

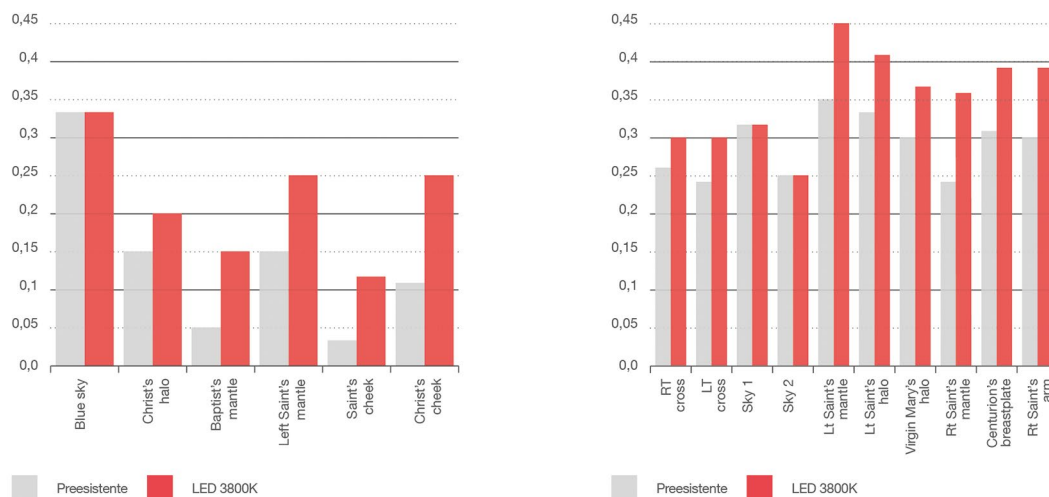


Fig. 7: Cappella Scrovegni: Variazione della purezza del colore nel Battesimo di Cristo e nella Crocifissione (grigio=illuminazione precedente; rosso: LED).

I sensori nella Cappella, oltre a rilevare intensità e caratteristica spettrale della luce naturale presente, sulla base dei dati acquisiti variano automaticamente e in tempo reale la quantità e la qualità della luce artificiale, in modo da integrare quella naturale fino al raggiungimento dei valori definiti in fase di progetto.

Il nuovo impianto, regolabile con l'aggiunta di un dispositivo a microprocessore programmabile e di appositi trasduttori, è ottimizzato per rendere possibili:

- a) la regolazione differenziata dell'illuminazione delle pareti finestrate rispetto a quelle irraggiate (compensazione direttamente proporzionale sulle prime per equilibrare l'abbagliamento ed inversamente proporzionale sulle seconde per evitare una sovra-illuminazione);
- b) l'omogeneizzazione (matching) della temperatura di colore delle sorgenti artificiali a quella del regime di luce naturale.

Ora stiamo studiando le regole affinché un sistema automatizzato determini una tonalità della luce artificiale tale da "intonarsi" quanto più possibile all'illuminazione proveniente dall'esterno. Questi dati consentiranno di studiare le regolazioni utili ad erogare, in qualsiasi momento della giornata, la luce artificiale più opportuna, sempre nei limiti dei livelli massimi ammessi dalla normativa vigente.

È la prima volta che si sviluppa un progetto organico di questo tipo: alcune regole del gioco vanno ancora individuate e probabilmente occorrerà un po' di tempo per definirle.

Note

¹iGuzzini 2017a; <<https://www.iguzzini.com/projects/light-is-back/the-last-supper/>>.

²iGuzzini 2018; <<https://www.iguzzini.com/projects/light-is-back/the-scrovegni-chapel/>>.

³ Aramini 2017; Aramini 2018; Capponi 2018; Gugliemi 2018.

⁴ Sul complesso, Artioli 2017; Bandera 2017; Napoleone 2017; Rostagno 2017.

⁵ Sul complesso, Colasio 2018; Basile 2018; Banzato 2018.

⁶ Start up innovativa nata nel 2014 dall'Università Politecnica delle Marche, <<http://www.wisense.it/>>.

Indice delle figure

Fig. 1-7: © iGuzzini illuminazione.

Bibliografia

Aramini 2017

F. Aramini, Il progetto illuminotecnico, in: iGuzzini 2017a, 55-67.

Aramini 2018

F. Aramini, L'intervento presso la Cappella degli Scrovegni, in: iGuzzini 2018, 51-62.

Artioli 2017

A. Artioli, Le vicende storiche, in: iGuzzini 2017a, 15-29.

Bandera 2017

S. Bandera, L'analisi figurativa, in: iGuzzini 2017a, 33-43.

Banzato 2018

D. Banzato, La luce tra conservazione fruizione, in: iGuzzini 2018, 31-39.

Basile 2018

G. Basile, Giotto, la Cappella e il suo Committente, in: iGuzzini 2018, 15-29.

Capponi 2018

G. Capponi, L'ISCR e la Cappella degli Scrovegni, in: iGuzzini 2018, 42-47.

Colasio 2018

A. Colasio, L'Urbs picta: Giotto e la Padova carrarese, in: iGuzzini 2018, 4-10.

Dall'Aglio 2017

L. Dall'Aglio L 2017, Il restauro e la conservazione, in: iGuzzini 2017a, 69-75.

Guglielmi 2018

Guglielmi A. 2018, L'opinione di un restauratore, in: iGuzzini 2018, 48-50.

iGuzzini 2017a

iGuzzini (ed.), Leonardo. Il restauro percettivo (Recanati 2017).

iGuzzini 2017b

iGuzzini (ed.), Cenacolo Vinciano. Il rinascimento cromatico (Recanati 2017).

iGuzzini 2018

iGuzzini (ed.), Giotto: il recupero percettivo (Recanati 2018).

Napoleone 2017

G. Napoleone, La musealizzazione, in: iGuzzini 2017a, 45-51.

Pierleoni 2018

P. Pierleoni, L'Internet of Things applicato ai Beni Culturali, in: iGuzzini 2018, 69–74.

Rostagno 2017

C. Rostagno, Il Cenacolo del futuro, in: iGuzzini 2017a, 89–93.

Stevan 2018

A.G. Stevan, Conservazione preventiva dei dipinti murali e impianti tecnici, in: iGuzzini 2018, 63–68.