

IN BREVE

Il nuovo apparecchio di illuminazione è stato concepito e realizzato per poter dare al ritratto della Gioconda la miglior qualità possibile di luce. Il progetto è stato finanziato dalla società Toshiba Lighting. Il nuovo apparecchio, composto da 34 led di potenza in tecnologia mista multichip e single chip, è posto nello stesso mobile progettato nel 2005 dall'architetto Lorenzo Piqueras dove si trovava la precedente lampada che sfruttava il flusso di 7 led di potenza single chip ed emette flusso dal basso verso l'alto. Per ottenere una focalizzazione precisa ed un'uniformità ottimale sull'area del ritratto, sono stati disegnati e realizzati tre differenti sistemi ottici: l'ottica primaria a livello dei singoli led e array, un sistema detto "Schaib" con funzione di color mixing ed un terzo sistema composto da una doppia lente con filtro integrato per la focalizzazione. L'apparecchio è anche dotato di un sagomatore. Un'altra caratteristica peculiare della lampada è la possibilità di variare la temperatura cromatica mantenendo l'indice di resa cromatica (CRI) >95 in un ampio spazio di colore (gamut) seguendo le più recenti ricerche della International Lighting Commission.

Tutto ciò è stato realizzato, annullando praticamente il contenuto di infrarossi e ultravioletti, tramite un software specificamente progettato per l'ottimizzazione dello spettro di emissione (distanza Duv dalla curva planckiana) e facilmente interfacciato con i sistemi di controllo del Museo del Louvre.

La possibilità di modificare lo spettro di emissione è particolarmente importante ai fini della resa cromatica sul dipinto poiché permette agevolmente di compensare le distorsioni cromatiche introdotte dalla luce dell'ambiente e dal vetro frontale di protezione.

Da ultimo l'apparecchio dispone di un sistema di raffreddamento integrato che mantiene i led a temperatura costante per stabilizzare il color mixing e garantire una durata di vita superiore a 80.000 ore. La potenza complessiva della lampada nella sua modalità operativa standard è di soli 20 watt.

INTRODUZIONE

Nell'ambito del patronato di Toshiba Lighting per il Museo del Louvre, è stato costituito un consorzio internazionale di imprese, guidate dalla società tedesca Arkanz GmbH, con lo scopo di progettare e realizzare la nuova illuminazione della Gioconda. Nel seguito dell'articolo viene descritto il progetto e la soluzione finale inaugurata al Louvre il 4 giugno 2013.

MonnaLisa_bestangle_on



Figura 1: L'apparecchio Toshiba del 2013 con 34 led di potenza per l'illuminazione del dipinto della Monna Lisa

Principi dell'illuminazione originale e requisiti funzionali del nuovo apparecchio.

Marc Fontoyntont, Consultant, Professeur, Aalborg University, Copenhagen, Denmark.

Nel 2005 l'architetto Lorenzo Piqueras ricevette l'incarico per il rinnovo della sala della Gioconda del Museo del Louvre e Marc Foyntonont assunse la responsabilità del progetto illuminotecnico. Al termine delle valutazioni tecniche fu deciso che il ritratto doveva essere illuminato con una sorgente non visibile al pubblico posta il più vicino possibile al dipinto. La particolare posizione del quadro, posto da solo su una grande parete e la contestuale presenza di uno spesso vetro di protezione frontale, richiesero il progetto di un sistema di illuminazione specifico che permettesse la modifica della temperatura di colore per compensare le distorsioni cromatiche introdotte. La lampada trovò la sua collocazione finale in uno specifico mobile posto di fronte al quadro ed fu inclinata dal basso verso l'alto per ridurre i rischi di riflessioni (fig. 3).



Figura 2: la lampada a 7 led installata nel 2005

Il progetto della lampada , completato nel 2005, utilizzò 7 sorgenti led a colorazione multipla per poter efficacemente gestire le correzioni cromatiche necessarie per compensare sia la luce esterna sia le deviazioni introdotte dallo spesso vetro frontale conservando, nel contempo, un ottimo indice di resa cromatica. Dati gli spazi ristretti a disposizione, fu sviluppata una soluzione molto compatta mostrata in fig. 2.

Nel 2013, con i progressi della tecnologia LED e il contemporaneo sviluppo delle tecniche colorimetriche, è stato possibile lanciare una nuova sfida rispondendo a nuove e più stringenti specifiche:

- Miglioramento dell'efficienza luminosa e della distribuzione spaziale
- Miglioramento della precisione ottica per conseguire una maggior uniformità sulla superficie del dipinto
- Miglioramento delle caratteristiche di riquadramento del sagomatore
- Miglioramento della gestione del colore tramite software con interfaccia user friendly
- Miglioramento dell'area del Gamut di colore per estendere la qualità del rendering (in relazione ai lavori CIE)
- Ottimizzazione delle configurazione per permettere un rapido adattamento a diverse esigenze in ambito museale

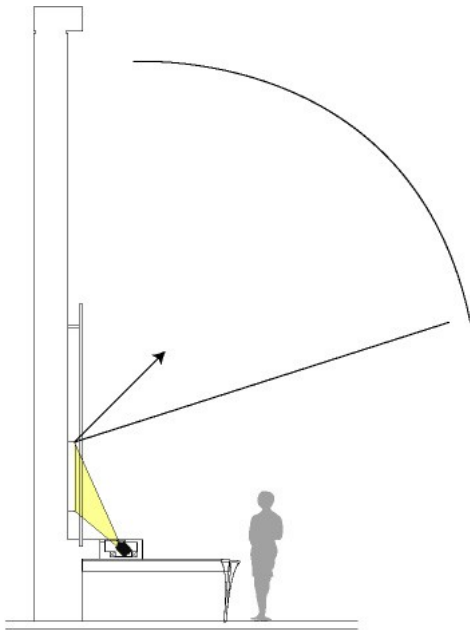


Figura 3: Il principio di illuminazione dal basso verso l'alto usato per la Gioconda nel 2005 (Architetto Lorenzo Piqueras, Lighting design Marc Foyntonont)

Un apparecchio di illuminazione che racchiude il meglio della tecnologia a stato solido .

Jean-Pierre Miras, CEO, Arkanz Lighting GmbH / Sklaer GmbH , Francfort, Germany

Il primo apparecchio di illuminazione a stato solido per La Gioconda fu sviluppato nel 2005 da un Team guidato dalla società tedesca Sklaer GmbH (affiliata di Arkanz GmbH) che comprendeva Fraen Corporation Srl and DEF Srl. Utilizzava 7 power LEDs, color mixing modello FOCON a fibra ottica, e un sistema di raffreddamento ad aria forzata sempre attivo. Ciascuno dei 7 canali era indipendentemente pilotato a corrente costante. L'apparecchio rimase in funzione ininterrottamente per 70.000 ore senza una sola avaria.

Lo sviluppo del nuovo modello di lampada, curato dalla società Arkanz GmbH, in cooperazione con Toshiba Lighting, ha introdotto tre nuove soluzioni tecniche che andremo ad esporre.

I led di potenza sono saliti a 34 e posizionati con configurazione a stella per assicurare la massima omogeneità cromatica sul dipinto. La distribuzione spettrale è stata attentamente selezionata dopo numerose rilevazioni al fine di assicurare un indice di resa cromatica (CRI) superiore a 95 in ogni possibile condizione di temperatura cromatica scelta dal curatore.

La dissipazione di calore è stata aumentata grazie all'uso di un massiccio radiatore in rame raffreddato da un sistema di ventilazione per garantire parametri termici costanti e, di conseguenza, nessuna importante variazione nello spettro (color shifting) durante la vita attesa della lampada.

La sfida principale si è però concentrata sul mixing dei sei colori in uno spazio di soli 120 mm. Questo è stato possibile grazie agli studi condotti da Fraen Srl che hanno saputo integrare al meglio le caratteristiche del mixer Schaib con un sistema di filtering e proiezione di nuova concezione (*vedi successivo articolo*) .

Il sistema elettronico di pilotaggio delle sorgenti LED è stato messo a punto dalla società DEF srl di Bareggio (Milano) che ha anche eseguito l'assemblaggio dell'apparecchio, dei sottoassiemi elettronici e supervisionato il complesso iter di certificazione CE condotto presso i laboratori UL di Olgiate Molgora (MB).

Il cuore del sistema di controllo sono due driver PUSH di D-LED a corrente costante con interfaccia DALI . I driver multicanale sono stati progettati per la specifica applicazione, che prevede LED di potenza con tensioni di forward molto differenti tra loro, al fine di evitare problemi di flickering e instabilità anche alle bassissime correnti. Inoltre i driver sono dotati di feedback di temperatura per monitorare il corretto funzionamento dei dispositivi.

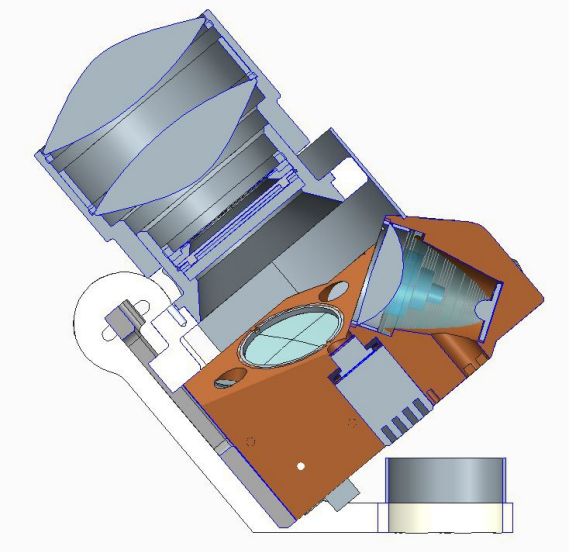


Figura 3: Il nuovo apparecchio TOSHIBA per l'illuminazione della Gioconda (Progetto 2013 Vittorio Ferri)

La scelta del controller DALI è ricaduta sul modello CP64-LX-C della società AELSYS (Regione PACA, France). Le sue funzioni sono quelle di fornire i corretti set-point ai driver led e di immagazzinare i differenti scenari.

Aelsys sviluppa dispositivi DALI e DMX in grado di essere interfacciati con sensori e attuatori esterni oppure, come avviene appunto nel Museo del Louvre, attraverso la rete Ethernet che costituisce il BUS dati principale del museo

Il software di configurazione (WINCIP) è stato opportunamente modificato per integrare il modulo colorimetrico; tramite questo modulo si controllano i sette differenti livelli di corrente dei canali dei driver che sono a loro volta determinati dalla composizione dei seguenti parametri: temperatura di colore risultante, intensità luminosa, e distanza dal luogo planckiano nello spazio dei colori CIE

AELSYS ha inoltre sviluppato un'applicazione per sistema Windows 8 che permette di collegare il controller CP64-LX-C ad un tablet PC Toshiba, via Wifi o USB3.

In questa compatta „concept lamp " Arkanz Lighting e i suoi partner sono riusciti a condensare un gran numero di soluzioni tecnologiche, soggette a brevetto, che hanno tracciato la nuova frontiera dell'illuminazione museale di altissime prestazioni.

Ottimizzazione dell'ottica per un'eccellente uniformità sul dipinto.

Marco Angelini ,MD & CTO Fraen Corporation S.r.l., Italy.

Nel progetto della lampada LED del 2005, la lente di proiezione era asferica con apertura numerica di 0,8. La forma del fascio derivava dal convertitore a fibre ottiche accoppiato ad un sagomatore trapezoidale la cui proiezione sul piano coincideva esattamente con l'area del dipinto.

Nel nuovo progetto 2013 la struttura multi sorgente è stata, di fatto, mantenuta migliorandone però la distribuzione spaziale per accrescere l'omogeneità del colore e dell'intensità.

Il numero di Led è salito da 7 a 34, in una configurazione che prevede 7 sorgenti "single-chips" e 3 sorgenti "multi-chips" ciascuna delle quali composta da 9 chip.

Il mixing del colore è caratterizzato da un sistema così composto:

- 1) Un primo stadio di "pre-mix" basato sul componente FRAEN colour mixing (FRAEN - FCM-M1+FCX Patent Pending Appl. N. WO2010US23071 20100203),
- 2) Un secondo stadio definito sistema "Scheib" (vedi la sezione colour mixing/Schaib)
- 3) Un terzo stadio composto da un filtro a diffusione spaziale (SF)³.

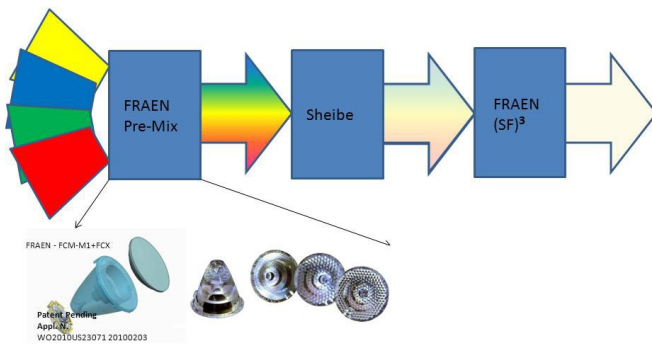


Figura 4: Dettagli del gruppo ottico del color mixing che permette un'alta uniformità sul dipinto

Il sistema ottico di "Pre-mix" permette di focalizzare il fascio proveniente dai 34 led su un disco che diventa uno spot ad alta omogeneità. Le dimensioni dello spot sono calcolate ed ottimizzate in funzione delle misure del dipinto.

A valle del mixer "Scheib" abbiamo scelto di posizionare un sagomatore trapezoidale che lavora come diaframma di cut-off nel piano focale del sistema ottico. Ciò consente la proiezione di uno spot rettangolare su un piano non ortogonale all'asse ottico dell'apparecchio.

Il nuovo progetto utilizza una coppia di lenti asferiche disegnate specificamente per l'applicazione. L'apertura numerica è di 0,7. La modifica, rispetto al progetto 2005, si è resa necessaria per eliminare le distorsioni nella parte superiore della proiezione asimmetrica del fascio, ottenendo così uno spot rettangolare estremamente definito e perfettamente coincidente con il piano del dipinto. Inoltre si è realizzato un sistema di regolazione del doppietto ottico molto sofisticato che permette di monitorare il contrasto tra l'area illuminata e la cornice che, viceversa, non deve essere messa in evidenza.

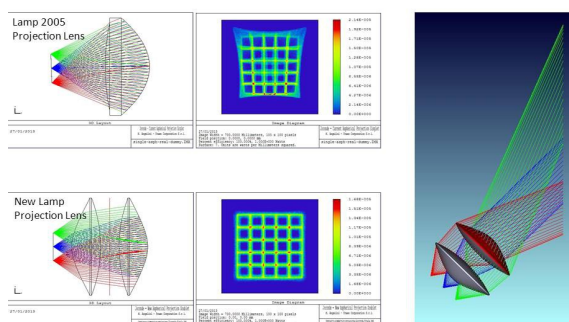


Figura 5: Il sistema a doppia lente asimmetrica che elimina le distorsioni

Per gestire al meglio il passaggio tra l'area illuminata, il dipinto, e l'area “buia”, esterna alla cornice, si è deciso appunto di sfumare l'illuminazione della cornice mediante un sistema di cut-off “fuzzy”.

Una delle caratteristiche più performanti dell'apparecchio 2013 è l'uniformità dell'illuminamento sull'area del ritratto.

Dato che l'asse ottico della lampada forma un angolo di circa 60° con la normale al piano del dipinto, vi era il concreto rischio che vi fosse una differenza significativa tra l'illuminamento della parte inferiore rispetto a quella superiore.

Per evitare il problema, oltre allo stadio di pre miscelazione, lo Scheib e il doppietto ottico, si è reso necessaria la progettazione e l'installazione di un filtro speciale, denominato (SF)³, per bilanciare con maggior precisione la distribuzione della luce sul ritratto. Il filtro (SF)³ può essere realizzato per angoli differenti, con differenti distribuzioni X,Y e in funzione delle specifiche ottiche.



Figure 7. La distribuzione luminosa mostra un indice di uniformità pari a 0.85 con il contributo della sola lampada. Sale a 0,92 considerando anche la luce ambiente.

Il mixing dei colori: la tecnologia di proiezione a fasci paralleli («Scheib») con l'uso di fibre ottiche

Leonid Novakovsky, Pharos-Alef, Moscow

Il color mixing dei 34 led di potenza (6 colori diversi) della nuova lampada della Gioconda si basa su un dispositivo che riduce le dimensioni dello spot mediante la combinazione di fibre ottiche e un'ottica a fascio parallelo detto “scheib”. Il principio è simile a quello denominato FOCON,

introdotta con il progetto 2005, ma con un progetto di diaframma più evoluto. Esso consiste in un fascio di fibre ottiche di 4 mm di spessore che presenta terminazioni con un'apertura numerica elevata e un'alta densità di accoppiamento. Grazie all'apertura numerica di 0,5, il cono risultante dalla combinazione dei 34 led presente un angolo di divergenza molto ampio pari a $\pm 32^\circ$.

Le prove condotte sul dispositivo hanno poi dimostrato che all'interno del fascio il color mixing avviene in modo eccellente garantendo un'uniformità prossima al 95%.

La tecnologia Scheib si presta particolarmente in quelle applicazioni di trasmissione ottica dove è richiesta una precisa distribuzione del fascio in spazi molto ristretti. Questa elegante soluzione è stata introdotta con successo nella tecnologia di costruzione dei proiettori abbaglianti delle autovetture ed è oggetto di brevetto Pharos-Alef Ltd. e Sklaer GmbH (patent N 2283986).



*Figure 8: Il dispositivo a fibre ottiche "Scheib"
(Foto Sklaer GmbH)*

Il controllo dello spettro e della potenza radiante

Christophe Marty, Gregory Duchêne, INGELUX, Lyon France

Per il progetto della lampada della Gioconda 2013 si sono identificati due differenti approcci: il primo dedicato alla caratterizzazione cromatica delle sorgenti prima dell'assemblaggio, il secondo per le operazioni di regolazione fine del colore, una volta completate le operazioni di installazione, mediante il protocollo DALI utilizzato nel Museo del Louvre.

Il primo aspetto fu particolarmente pregnante e ricco di contenuti innovativi. Il nostro team ha progettato uno strumento colorimetrico software in linea con le ultime indicazioni della International Council of Museums (ICOM) e l'International Lighting Commission (CIE). Questo strumento ci consente di navigare nello spazio dei colori, di controllare liberamente le coordinate cromatiche della luce emessa massimizzando in qualsiasi momento l'indice di resa cromatica (CRI) e l'area di Gamut.

Per raggiungere l'obiettivo è stato necessario disporre dell'esatta distribuzione spettrale delle sorgenti utilizzate per procedere poi con la calibrazione di ogni canale cromatico e all'introduzione di fattori di correzione dovuti alla misura in sfera integratrice.

Infine, la Conservatoria del Museo del Louvre ha deciso il set-up finale al termine di una sessione di fronte al dipinto originale dopo aver elaborato, di comune accordo, un protocollo di valutazione e di adattamento cromatico on-site.

Le decisione finale è stata presa dal Curatore, Sig. Vincent Delieuvin, con l'assistenza dell'architetto progettista della sala della Gioconda, Lorenzo Piqueras, dopo un'attenta valutazione con differenti condizioni di luce esterna (sorgenti fluorescenti con una piccola porzione di luce naturale).

Desideriamo ancora una volta mettere in evidenza il contenuto innovativo della soluzione che ha permesso al curatore la ricerca e la definizione del mix ottimale delle sorgenti led che rendesse con maggiore fedeltà lo splendore dei colori originali del ritratto.

Il processo elaborato è ovviamente esportabile nell'ambito di diverse opere e musei dove i curatori desiderino apportare migliorie all'illuminazione per:

1. compensare il deterioramento della pittura
2. compensare eventuali condizioni di illuminazione esterna non ottimali

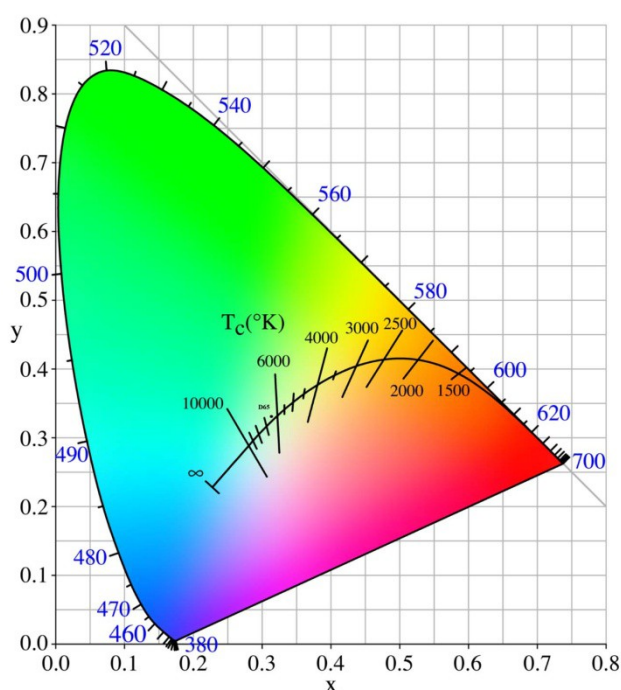


Figure 9: Il sistema di controllo permette di muoversi all'interno dello spazio dei colori CIE con la massima qualità di resa cromatica. L'ampia area del Gamut è ottenuta grazie alle 34 sorgenti led presenti nella lampada. La modalità di navigazione all'interno del diagramma è stata progettata dalla società Ingelux.

L'apparecchio di illuminazione con la maggior qualità al mondo

Kazuaki Makita, TOSHIBA Corporation, Chief Specialist

Nel 2010 il gruppo Toshiba ha dato il via al progetto per creare una nuova cultura mondiale dell'illuminazione. All'interno del primo gruppo di interventi di rinnovamento dell'illuminazione che hanno visto coinvolta la parte esterna dell'edificio, Toshiba ha firmato un contratto di partenariato con il Museo (dal 30 Giugno 2010 al 31 Dicembre 2013). L'illuminazione della Piramide, dei Pyramidions e del Padiglione Colbert è stata completata in tecnologia LED il 6 dicembre 2011, mentre il retrofitting a led degli apparecchi di Cour Napolé è stata inaugurato il 24 Maggio 2012. Oggi sono ancora in corso i lavori per Cour Carrée che vedranno termine per la fine del 2014.

Il progetto di rinnovamento degli esterni non si limita ad un puro supporto tecnologico ma mira a mantenere l'eredità culturale, insita anche nell'illuminazione, coniugandola con le moderne

tematiche del risparmio energetico e della sostenibilità ambientale per creare la giusta fusione di arte e tecnologia.

Il Museo del Louvre ha riconosciuto in Toshiba le capacità e le qualità per valorizzare le arti a tutto benefico dell'ambiente e ha quindi ampliato, nel maggio 2012, la partnership estendendola all'illuminazione delle opere d'arte all'interno del Museo.

Il progetto di rinnovamento prevede la sostituzione di sorgenti tradizionali con sorgenti a stato solido e il miglioramento della qualità dell'illuminazione di famosi dipinti, primo fra tutti il tesoro del Louvre, la Gioconda di Leonardo, e di altri grandi tele della Sala Rossa, per esempio *Couronnement de l'Empereur et de l'Imperatrice*.

Nello specifico la sostituzione della lampada della Monna Lisa era prevista per giugno 2013 assieme alle lampade della Sala Rossa mentre l'illuminazione della sala di Napoleone saranno rinnovate nella prima metà del 2014.

L'approccio di Toshiba è stato, quindi, quello di sviluppare una nuova lampada per la Gioconda che sostituisse quella installata nel 2005 e sviluppata dal consorzio Italo-tedesco composto da D.E.F. Srl, Fraen srl e ARKANZ-SKLAER.

Si è giunti così a definire le specifiche per una lampada a led dall'alto contenuto innovativo, che sfrutti il massimo delle caratteristiche che la tecnologia a stato solido sia in grado di offrire e che contempli un raffinato progetto ottico. Il nuovo sviluppo, lanciato nella primavera del 2012, ha visto un team di esperti lavorare assieme per ottenere, con passione e con l'uso sapiente della tecnologia, la miglior illuminazione possibile del capolavoro di Leonardo. Oggi, grazie a Toshiba, noi possiamo ammirare la Gioconda sotto una nuova luce.

La supervisione del Team

T. Moriyama, TOSHIBA Lighting & Technology Corporation Corporation Senior Specialist

All'inizio del 2012 Toshiba cominciò a considerare la possibilità di sviluppare una nuova lampada per la Monna Lisa. Lo scopo era quello di migliorare le prestazioni della precedente lampada costruita nel 2005. Per lo studio di fattibilità fu incaricata la società ARKANZ GmbH che portò a termine il lavoro dopo due mesi, nel giugno 2012. Dall'analisi dei positivi risultati fu lanciato lo sviluppo vero e proprio che prevedeva i seguenti punti:

- 1) sperimentare e approvare nuove tecnologie per il controllo dei parametri di flusso, della CCT, del Duv e del CRI
- 2) ricercare soluzioni tecniche per migliorare l'uniformità dell'illuminamento, così come l'uniformità della distribuzione spettrale, sul dipinto
- 3) ricercare soluzioni ottiche migliorative per la precisa definizione dell'area illuminata
- 4) identificare metodi per l'ulteriore riduzione della radiazione UV e infrarossa sulla tela.

Il primo prototipo vide la luce nel gennaio 2013. L'operatività della lampada fu verificata, alla presenza del curatore della pittura italiana del XV secolo, Vincent Dieulevin, e dell'architetto responsabile del rinnovo della sala della Gioconda, Lorenzo Piqueras, nelle condizioni reali di fronte al quadro originale esposto al Museo.

In febbraio fu definita, dopo una serie di ulteriori prove, la distribuzione spettrale finale che oggi tutti noi possiamo ammirare.

Il contributo del Curatore della pittura Italiana del XV secolo al Louvre

Vincent Delieuvin,

Al Louvre la corretta illuminazione delle opere è da sempre considerato un fattore imprescindibile per la valorizzazione degli oggetti. Ciascun dipinto ha il diritto di essere osservato sotto la luce migliore per poter apprezzare la tecnica pittorica dell'artista o per ammirare la squisitezza delle sfumature di colore.

Tuttavia la luce deve sottostare a molteplici limiti. Il tempo, per esempio, potrebbe avere deformato la struttura o alterato la pigmentazione o danneggiato la tinta originale dell'opera.

Il vetro, presente a protezione di diverse opere, altera la percezione originale dei colori e può disturbare la visibilità riflettendo particolari dell'ambiente circostante.

Tutti questi limiti sono presenti in forma più o meno accentuata nella Monna Lisa.

Durante gli ultimi 500 anni il pannello in legno ha modificato la sua forma accentuandone la convessità. Come risultato della deformazione si può notare come una fitta ragnatela abbiano danneggiato la paziente opera di Leonardo da Vinci. I differenti strati di pittura che formano il ritratto sono ossidati, anneriti e ingialliti nelle tinte.

Da ultimo, lo spesso vetro protettivo frontale tende a far virare il colore e il sistema di illuminazione deve tenerne conto.

Il Museo del Louvre ha quindi richiesto una tecnica di illuminazione che consentisse di attenuare questi difetti riportando il capolavoro il più vicino possibile al suo originale splendore.

Noi siamo estremamente soddisfatti del lavoro svolto dal team promosso da Toshiba e dai risultati ottenuti con l'ausilio delle nuove tecnologie. Questo approccio è parte dello spirito di sperimentazione che anche Leonardo avrebbe senz'altro apprezzato.

Il contributo del Direttore del Dipartimento di Architettura del Museo del Louvre

Sophie Lemonnier

L'edificio del Museo del Louvre è in perenne cambiamento. Anche oggi, l'evento speciale per l'inaugurazione della nuova illuminazione della gioconda è il risultato di una collaborazione tra numerosi specialisti.

Come nel 2005 quando la Monna Lisa fu illuminata per la inaugurazione della rinnovata *Salle des États*, oggi, grazie agli sforzi di Toshiba, gli stessi specialisti di allora si sono ritrovati per darci quello che di meglio la tecnologia della luce a stato solido ha saputo produrre negli ultimi anni..

Un ringraziamento speciale va al Sig. Jean Baptiste Bellec, Responsabile della Manutenzione presso il dipartimento di architettura del Museo del Louvre, per la sua attiva partecipazione e supervisione all'iniziativa

Parametro	Specificata	TOSHIBA Lamp (English)
-----------	-------------	---------------------------

CCT with high CRI	2700 to 3800 K	Adjustable from 2700 K until 3800 K <i>3200K selected for Mona Lisa</i>
Colour shift from locus	N/A	Adjustable from -0,02 to 0,01
Luminous Flux (lm)	N/A	88 lm selected from Mona Lisa (can be boosted to 400 lm)
CRI	> 90	CRI between 95 and 98 when on locus
Colour Quality Scale (CQS)	> 85	> 95 for Mona Lisa > 85 maintained for various CCT between 2700 K and 3800 K
Ultra Violet radiation	< 5 μ W/lm	<3 μ W/lm
Infra-Red Radiation	< 0.1 W	< 0.05W
Uniformity on painting $E_{min}/E_{average}$	> 0.6	0,85 (with 16 points) > 0,92 with ambient lighting
Vertical Uniformity on painting	> 0.9	0,93 $E_{half\ top}$ over $E_{average}$
Average Illuminance	100-250 lx spot + ambient	180 lx on glass / 108 lx on painting (spot only)
Luminous Flux projected outside frame	<1%	< 0,5%
Lamp Life	>50 000 heures	~ 80,000 hours

Figure 10. Le prestazione della lamapda TOSHIBA

Indirizzi e links utili:

Marc Fontoynt, Consultant and Professor, Aalborg University, Copenhagen, Danemark. mrf.lights@gmail.com

Jean-Pierre Miras, CEO, Arkanz Lighting GmbH,, www.arkanz.com www.sklaer.com

DEF S.r.l., Paolo de Vecchi pdevecchi@defrl.it www.defsrl.it

Aelsys Sarl. Jean Chanussot www.aelsys.fr

Marco Angelini, MD & CEO Fraen Corporation S.r.l. Italy, www.fraen.com

Leonid Novakovskij, CEO Pharos-Alef, Russia www.pharos-alef.ru

Christophe Marty, Gregory Duchêne
Ingélux Lighting Consultants, Vaulx en Velin Lyon,
c.marty@ingelux.com, www.ingelux.com

Kazuaki Makita, Chief Specialist, New Lighting Systems Division, Toshiba, Tokyo, Japan.
kazuaki.makita@toshiba.co.jp