

IL PROGETTO ILLUMINOTECNICO DELLA CHIESA DI SAN DOMENICO A SPOLETO: COMFORT VISIVO, CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DELLE OPERE D'ARTE, RISPARMIO ENERGETICO

M. Barbanera, C. Buratti, R. Mariani

CIRIAF, Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento da Agenti Fisici, Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti, 67, 06125 Perugia

SOMMARIO

La chiesa di San Domenico a Spoleto, edificata nel 1200, è attualmente in fase di restauro strutturale a seguito del sisma del 1997. Del progetto di recupero fa parte anche la progettazione illuminotecnica, sia dell'ambiente esterno che dell'ambiente interno. Nel presente lavoro si è affrontato l'aspetto dell'illuminazione interna; gli obiettivi che hanno guidato la progettazione sono stati:

- rispondere alle esigenze di una corretta visione;
- rispondere alle esigenze di conservazione delle opere contenute all'interno della chiesa;
- valorizzare le opere stesse e l'architettura della chiesa;
- perseguire il risparmio energetico prevedendo l'accensione parziale degli apparecchi.

La soluzione progettuale atta al raggiungimento degli obiettivi preposti è stata individuata mediante l'impiego di un opportuno programma di calcolo, Litestar 6.0. Una volta realizzato il modello tridimensionale dell'ambiente da illuminare, è necessario inserire alcuni dati di input quali le proprietà illuminotecniche dei materiali presenti, le tipologie di apparecchio illuminante, di lampade e la loro disposizione all'interno dell'ambiente. Al termine della simulazione è possibile ottenere una mappatura dell'illuminamento dell'ambiente, effettuare le verifiche di uniformità e, utilizzando un'opzione di rendering, ottenere un effetto fotorealistico dell'ambiente illuminato.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la tecnologia ha messo a disposizione del mercato nuove sorgenti di luce, nuovi materiali, ottiche più raffinate e sistemi di regolazione e controllo elettronici.

La richiesta da parte dell'utente di una illuminazione capace di garantire condizioni di benessere visivo e di sicurezza è divenuta più esigente e diversa; da qui la necessità di un impianto di illuminazione in grado di dare una risposta adeguata alle diverse esigenze.

Il progetto illuminotecnico della chiesa di San Domenico a Spoleto (1200), in corso di restauro strutturale, è stato rivolto sia all'ambiente interno che esterno. Nel presente lavoro si è affrontato l'aspetto dell'illuminazione interna, con l'obiettivo di:

- rispondere alle esigenze di una corretta visione, mediante una illuminazione di tipo generale adeguata a garantire i valori di illuminamento medio consigliati dalla norma UNI 10380 [1];
- rispondere alle esigenze di conservazione delle opere contenute all'interno della chiesa, mediante la scelta di opportune tipologie di lampade;
- valorizzare le opere stesse e l'architettura della chiesa, per mezzo di una illuminazione di tipo particolare;
- perseguire il risparmio energetico prevedendo l'accensione parziale degli apparecchi, al fine di adattare l'illuminazione alle attività da svolgere.

La soluzione progettuale che meglio rispondesse agli obiettivi prefissati e al rispetto dei valori di illuminamento consigliati dalla normativa vigente è stata individuata mediante l'impiego di un opportuno programma di calcolo, Litestar 6.0.

2. IL PROGETTO ILLUMINOTECNICO DEI LUOGHI DI CULTO

L'illuminazione dei luoghi di culto è un esempio di progettazione interessante, ma anche impegnativa. La chiesa è individuata, racchiude e definisce uno spazio sacro, ma non si può non tenere in conto nella progettazione illuminotecnica della dimensione liturgica e architettonica.

Attraverso l'uso della luce artificiale la chiesa deve da una parte essere funzionale (illuminazione generale dell'assemblea e del presbiterio), dall'altra rispettare, e nel caso sottolineare, le valenze simboliche dei vari spazi speciali e degli elementi strutturali della liturgia (luce d'accento per l'altare, la mensa, l'ambone). Non bisogna dimenticare inoltre che l'edificio chiesa, soprattutto quando è antico, è portatore anche di significati culturali: a partire da se stesso, in quanto è un'opera d'arte architettonica, per arrivare alle altre opere scultoree, pittoriche, decorative che racchiude e conserva. Anche a questi oggetti va fornita una sottolineatura luminosa corretta, nel pieno rispetto dello spazio sacro che li ingloba. Tutto ciò è necessario che avvenga senza dimenticare i vincoli di qualità e quantità di luce imposti dalle normative vigenti per la tutela e la conservazione delle opere d'arte.

La normativa di riferimento per il corretto svolgimento del compito visivo è la Norma UNI 10380, che consiglia valori di illuminamento compresi tra 50 e 150 lux per l'illuminazione generale, con una resa del colore compresa tra 60 e 80, mentre per la zona dell'altare sono consigliati valori di illuminamento compresi tra 150 e 300 lux.

La Conferenza Episcopale Italiana, nelle disposizioni emanate nel 1993 attraverso una specifica Nota Pastorale, non indica dei valori precisi, ma fornisce delle linee guida da seguire nella progettazione. Si sottolinea che la luce artificiale

deve rispecchiare il più possibile le funzioni della luce naturale, assicurare le esigenze fondamentali di luminosità, al fine di soddisfare le richieste liturgiche più frequenti (liturgie feriali, festive), ma anche garantire condizioni per affrontare eventi più rari (veglie di preghiera, rappresentazioni sacre). Il progetto illuminotecnico della chiesa di San Domenico è stato sviluppato seguendo i criteri generali sopra esposti.

3. LA CHIESA DI SAN DOMENICO A SPOLETO

La chiesa di San Domenico fu edificata tra la fine del XIII sec. e l'inizio del XIV secondo lo stile gotico. Attualmente è oggetto di un restauro conservativo che comprende interventi sull'architettura, sulle opere d'arte e sull'illuminazione.

La facciata principale della chiesa è semplice, a due spioventi, priva dei consueti ornamenti del rosone e del portale (fig. 1a). Nel fianco destro della navata si apre un elegante portale a fasci di colonnine e nella lunetta si trova un dipinto datato 1591. Presso il transetto si eleva la massiccia torre campanaria, coronata da una loggia cinquecentesca. Nella figura 1b è mostrata una vista in pianta della chiesa.

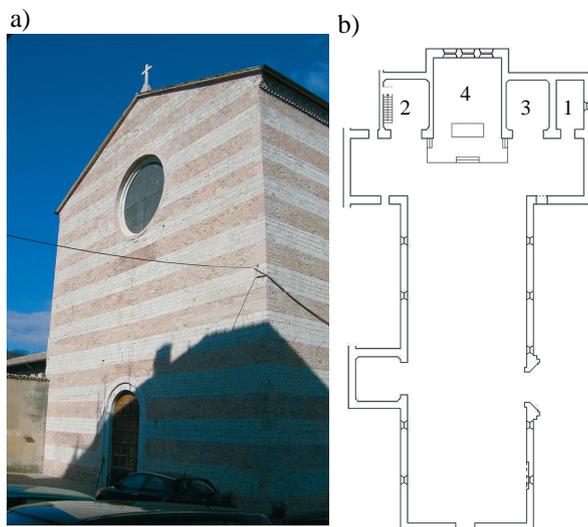


Fig. 1: Chiesa di San Domenico: a) vista dall'esterno; b) pianta (1: Cappella della Maddalena, 2: Cappella Benedetti di Montevecchio, 3: Cappella Collicola, 4: Presbiterio)

L'interno segue lo schema comune a molte chiese domenicane e francescane: una lunga ed alta navata incrociata da un ampio transetto e conclusa da una tribuna con due cappelle ai fianchi; la copertura è a capriate. Nella figura 2 è mostrata una vista dell'interno.



Fig. 2: Vista della chiesa di San Domenico dall'interno

Di notevole interesse sono le cappelle ed il presbiterio:

- Cappella della Maddalena, interamente affrescata all'inizio del 1400 (fig. 3a);
- Cappella Benedetti di Montevecchio, eretta nella seconda metà del 1600 (fig. 3b);
- Cappella Collicola, decorata di fini stucchi nelle lunette, nei pennacchi e nella cupolina (fig. 3c);
- Presbiterio, leggermente sopraelevato, presenta il muro di fondo affrescato e, appeso sopra l'altare, un grande crocifisso dipinto (fig. 3d).

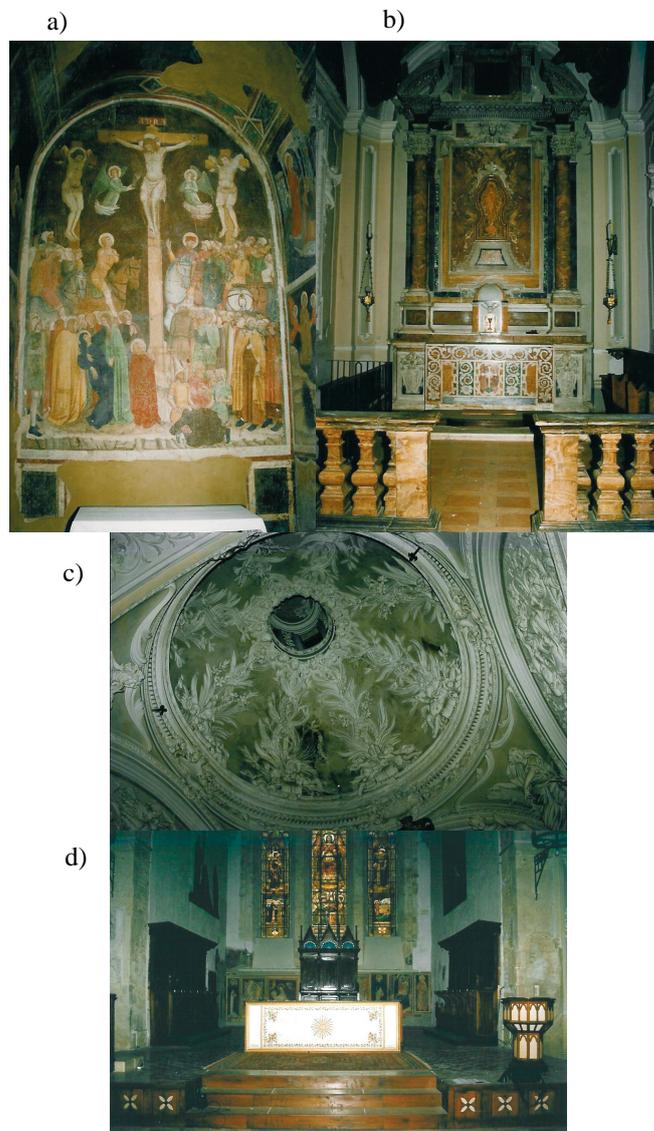


Fig. 3: Chiesa di San Domenico: a) particolare della Cappella della Maddalena, b) particolare della Cappella Benedetti di Montevecchio, c) particolare della Cappella Collicola, d) particolare del Presbiterio

4. IL PROGETTO ILLUMINOTECNICO INTERNO

Il progetto illuminotecnico interno è stato effettuato nel rispetto della normativa vigente, considerando innanzitutto la funzione primaria della chiesa, che è quella di riunire l'assemblea dei fedeli per la celebrazione dei riti religiosi; particolare cura è stata rivolta all'illuminazione nella sua globalità e ai diversi particolari, evitando fenomeni di abbagliamento e riducendo i contrasti luminosi tra zone illuminate con diversa intensità.

Massima attenzione è stata posta nella scelta delle sorgenti luminose, per impedire contrasti di colore, per assicurare una buona resa cromatica e per una corretta conservazione delle pareti affrescate.

Mediante l'impiego di un opportuno codice di calcolo, il Litestar 6.0, è stato possibile verificare che le scelte progettuali adottate rispondessero ai criteri sopra esposti; di seguito saranno descritte le varie fasi che hanno condotto al progetto definitivo.

4.1 Creazione del modello tridimensionale e definizione dei materiali costituenti l'involucro edilizio e gli arredi

Il primo passo consiste nella modellazione 3D della chiesa; il modello, seppur semplificato, deve essere il più possibile fedele alla realtà, al fine di ottenere sia risultati accurati sia un effetto maggiormente verosimile nel rendering. In figura 4 è mostrato il modello 3D della chiesa di San Domenico impiegato nella simulazione.

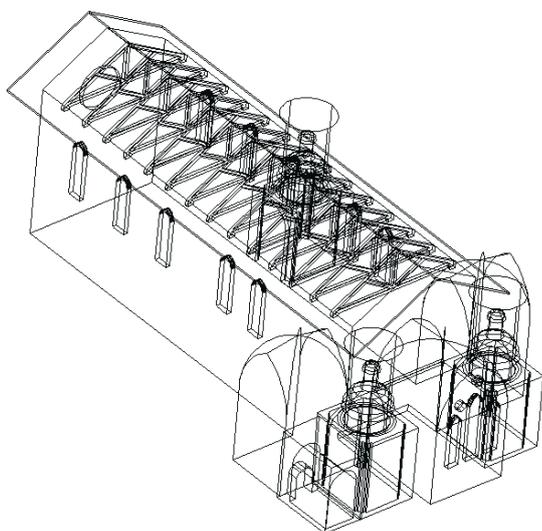


Fig. 4: Modello 3D della chiesa di San Domenico

Successivamente, per ogni materiale presente, sia dell'involucro edilizio che degli arredi, è necessario assegnare le seguenti proprietà:

- coordinate tricromatiche (X, Y, Z);
- coefficiente di riflessione (r);
- coefficiente di trasparenza (t).

Nella tabella 1 è riportato un prospetto riassuntivo dei valori impiegati nella simulazione.

Struttura o arredo	Materiale	X, Y, Z	r (%)	t (%)
Pareti	Intonaco	211,139,58	50	0
Pareti	Affresco	189,119,43	40	0
Pavimento	Mattonelle	250,125,14	45	0
Copertura	Legno	225,189,45	55	0
Vetrare	Vetro	6,132,255	35	60
Cap. Maddalena	Stucchi con affreschi	196,126,64	45	0
Cap. Collicola	Stucchi con affreschi	140,174,106	45	0
Cap. Benedetti	Stucchi con affreschi	131,114,80	35	0
Ingressi	Legno	130,65,0	25	0

Tab. 1: Prospetto riassuntivo delle proprietà dei materiali

4.2 Scelta, posizionamento e puntamento dei corpi illuminanti

Gli apparecchi illuminanti sono stati scelti in modo da garantire una corretta illuminazione, senza tralasciare l'aspetto estetico, la non dannosità del flusso luminoso per le opere di interesse storico – artistico ed il risparmio energetico.

Sono state scelte lampade alogene, a ioduri metallici e fluorescenti.

Le lampade alogene sono caratterizzate da una resa cromatica prossima a 100, permettono una regolazione molto precisa del fascio luminoso, non sono dannose per le opere d'interesse storico - artistico in quanto non emettono nell'ultravioletto e nell'infrarosso e infine possono essere dotate di dimer.

Le lampade a ioduri metallici permettono un'ottima illuminazione generale, con potenze ridotte, soprattutto se utilizzate con un'ottica flood e hanno inoltre un'elevata resa cromatica.

Le lampade fluorescenti possono essere utilizzate per l'illuminazione indiretta in quanto, essendo lineari e molto diffondenti, garantiscono un'illuminamento uniforme anche se posizionate molto vicino alla superficie riflettente.

Nella tabella 2 è riportato un prospetto riassuntivo dei corpi illuminanti utilizzati.

Apparecchio	Tipo di lampada	Potenza	Temperatura di colore
Applique	Ioduri metallici	50 W	3000 K
Applique	Ioduri metallici	75 W	3000 K
Applique	Alogena	75 W	3000 K
Sistema Sella	Fluorescente	58 W	3000 K
Sistema Cestello sospensione	Alogena	9 x 75 W	3000 K
	Ioduri metallici	2 x 150 W	3000 K
Sistema Cestello da terra	Alogena	6 x 75 W	3000 K
Gabbiano	Alogena	70 W	3000 K
Isa 2	Alogena	250 W	3000 K
Tray 56	Fluorescente	3 x 18 W	3000 K
Radius	Ioduri metallici	70 W	3000 K
Platea	Ioduri metallici	70 W	3000 K

Tab. 2: Prospetto riassuntivo dei corpi illuminanti

Per quanto riguarda il posizionamento dei corpi illuminanti, è necessario distinguere varie zone all'interno della chiesa:

- **Navata e transetto:** è stata adottata una illuminazione di tipo diretto e una di tipo indiretto, al fine di garantire un'illuminamento di circa 100 lux. L'illuminazione diretta è stata effettuata per mezzo di proiettori ad applique a ioduri metallici, caratterizzati da una curva fotometrica simmetrica, fortemente concentrata, e un flusso luminoso diretto interamente verso il basso. Sono stati posizionati in corrispondenza della travatura del tetto. L'illuminazione indiretta è stata effettuata mediante apparecchi equipaggiati con lampade fluorescenti lineari da 58 W, con una temperatura di colore di 3000 K. Questi apparecchi sono caratterizzati da una curva fotometrica fortemente asimmetrica, un'ottica piuttosto diffondente e, grazie al tipo di lampada montato, sono adatti a integrare l'illuminazione fornita dalle applique. Sono stati posizionati tra le travi del tetto, tra le applique, con il flusso diretto verso l'alto, al fine di valorizzare la travatura. Il transetto è stato illuminato con due sistema Cestello del tipo cilindrico a sospensione; si tratta di un sistema modulare di

illuminazione d'accento di tipo cilindrico, finalizzato all'impiego di nove lampade Superspot. L'apparecchio, costituito da una struttura in alluminio estruso, può essere ruotato di 45° rispetto all'asse orizzontale e verticale delle sorgenti. I cestelli, montati a sospensione, sono destinati esclusivamente all'illuminazione generale della chiesa.

- Zona dell'altare: l'illuminazione generale, diretta e indiretta, della zona dell'altare, è stata ottenuta per mezzo di un sistema Cestello cilindrico, simile a quello utilizzato nel transetto. Sono stati inoltre utilizzati due sistemi Cestello da terra a sei vani, dotati di lampade alogene da 75 W, con una temperatura di colore di 3000 K. Si tratta di un sistema di illuminazione d'accento per interni, in ambienti in cui non sono possibili installazioni a parete o a soffitto.

- Cappelle: l'illuminazione delle cappelle Collisola e Benedetti di Montevercchio è stata effettuata con due apparecchi sistema Cestello speciali da terra, come quelli utilizzati per la zona dell'altare, posti uno alla destra e l'altro alla sinistra dell'ingresso delle cappelle. Delle sei lampade componenti l'apparecchio, due sono orientate per illuminare la parete di fondo, quattro per la parete opposta. Le lampade sono facilmente orientabili e poiché sono dotate di dimer è possibile regolare l'intensità del flusso luminoso in modo da ottenere uniformità di illuminamento sulla parete. Sulla cornice alla base delle cupole delle cappelle sono stati posizionati quattro proiettori Gabbiano con ottica flood, che montano lampade alogene da 70 W a 3000 K. I sistema Gabbiano hanno il compito di illuminare la cupola e contribuire all'illuminamento della cappella con illuminazione indiretta. La cappella della Maddalena, essendo molto piccola, è stata illuminata con due lampade a piantana a luce diffusa; questi apparecchi, che montano lampade alogene da 250 W a 3000 K, oltre ad essere dimerabili, permettono di ottenere un'illuminazione a tutto tondo.

E' prevista inoltre una illuminazione di tipo particolare su affreschi, quadri e vetrate.

Per l'illuminazione d'accento dei quadri e degli affreschi posti lungo la navata si sono scelti apparecchi che montano lampade alogene da 75 W, con una temperatura di colore di 3000 K e un angolo di uscita del flusso luminoso di 8°. L'apparecchio può essere ruotato di 340° sull'asse verticale e inclinato di +/- 100° rispetto al piano orizzontale. I movimenti di rotazione ed inclinazione possono essere bloccati meccanicamente, per garantire il puntamento dell'emissione luminosa. Gli apparecchi sono stati posizionati sotto ogni monofora, al fine di illuminare gli affreschi e i quadri posti sulla parete opposta della navata; il fascio molto stretto e il posizionamento alto evitano fenomeni di abbagliamento.

Per evitare che nei periodi in cui la chiesa non necessita di essere molto illuminata si lasci la zona dell'altare troppo scura, è stata posta sulla trave su cui è appoggiato il dipinto raffigurante il Cristo un'applicazione alogena da 75 W, uguale a quelle previste sotto le monofore, ma con un angolo di uscita del flusso luminoso di 5°.

Per quanto riguarda il rosone e le monofore, sarebbe stato preferibile illuminarli dall'esterno; a causa della presenza di grate a protezione delle vetrate per la prevenzione di atti vandalici, questo non è possibile per cui si è deciso di illuminare ciascuna monofora e il rosone con un apparecchio chiamato Radius da 70 W posto sulla cornice degli stessi.

Nonostante i Radius siano apparecchi nati per l'illuminazione di esterni, risultano adatti perché montano lampade a ioduri metallici, adatte anche per interni.

4.3 Simulazioni e rendering

La chiesa di San Domenico è attualmente in fase di restauro; con il procedere dello stesso è emersa la possibilità di recuperare degli affreschi che si trovano lungo le pareti della navata. Per questo motivo, in fase di simulazione delle condizioni di illuminamento, si è scelto di considerare due possibili situazioni:

- pareti della navata intonacate;
- pareti della navata affrescate.

E' stata scelta una altezza del piano di lavoro pari a 0,85 m dal pavimento su cui verificare i valori di illuminamento consigliati dalla UNI 10380 ed effettuare le verifiche di uniformità.

Nella prima simulazione, relativa all'ipotesi di pareti intonacate, per l'illuminazione diretta sono state utilizzate applique da 50 W, l'illuminamento medio è risultato essere pari a 102 lux; per quanto riguarda le verifiche di uniformità, devono essere rispettati i rapporti forniti dalle relazioni (1) e (2):

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} > 0,2 \quad (1)$$

$$\frac{E_{\text{med}}}{E_{\max}} > 0,5 \quad (2)$$

Sono stati ottenuti valori rispettivamente di 0,23 e 0,6, dunque congruenti con le verifiche.

Nelle figure 5, 6 e 7 sono mostrati un diagramma a spot dell'illuminamento ottenuto sul corpo centrale della chiesa, un rendering della chiesa dal fondo ed un particolare della travatura.

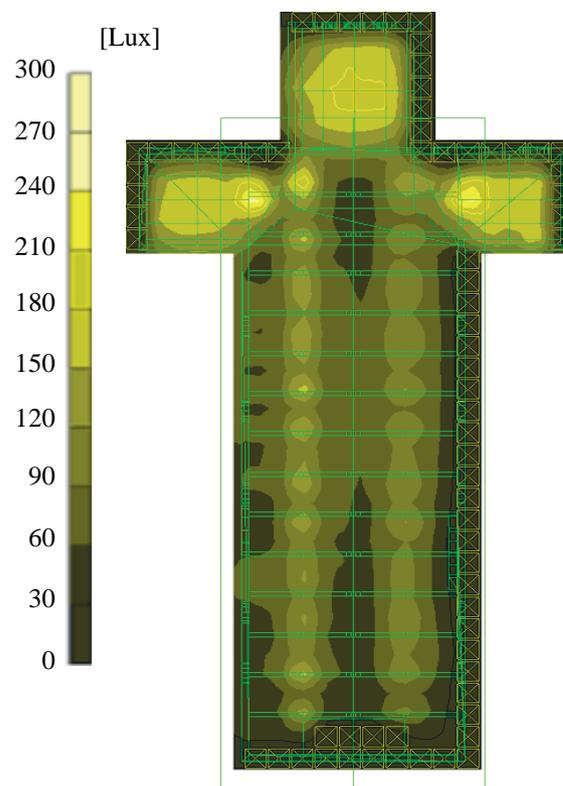


Fig. 5: Diagramma a spot dell'illuminamento ottenuto sul corpo centrale della chiesa



Fig. 6: Rendering dal fondo della chiesa illuminata

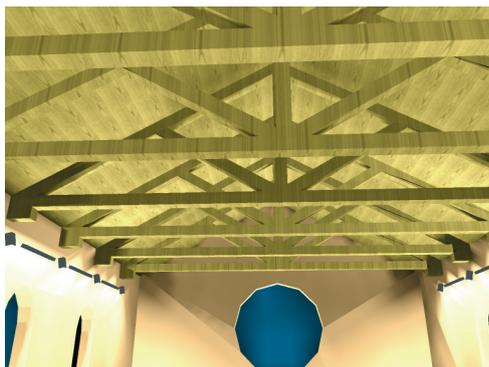


Fig. 7: Particolare dalla travatura illuminata

Nella seconda simulazione, relativa all'ipotesi di pareti affrescate, per l'illuminazione diretta sono state utilizzate applique da 75 W; in questo caso è stato ottenuto un valore di illuminamento medio pari a 112 lux. Per quanto riguarda l'uniformità dell'illuminamento sono stati ottenuti rispettivamente i valori di 0,26 e 0,65, dunque conformi con le verifiche. Nelle figure 8 e 9 sono mostrati un diagramma a spot dell'illuminamento ottenuto sul corpo centrale della chiesa ed una vista del lato sinistro della navata dalla Cappella Collicola.

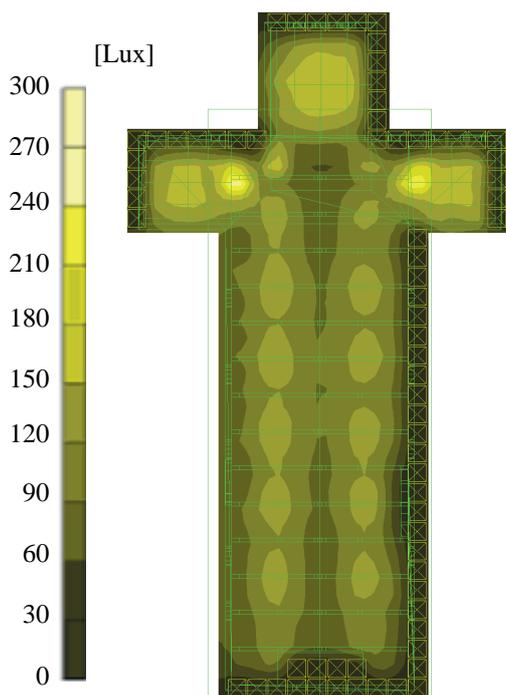


Fig. 8: Diagramma a spot dell'illuminamento ottenuto sul corpo centrale della chiesa

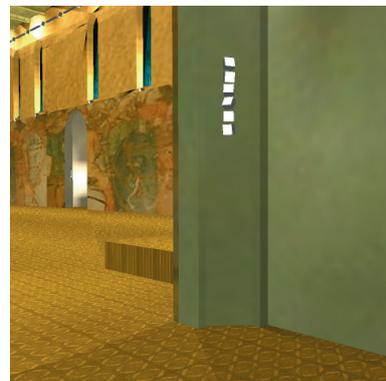


Fig. 9: Rendering del lato sinistro della navata dalla Cappella Collicola

Inoltre è stata effettuata una simulazione dedicata alla zona dell'altare, ponendo il piano di lavoro ad una altezza pari a 1,25 m dal pavimento; è stato ottenuto un valore di illuminamento medio pari a 190 lux, rispetto al parametro di progetto di 200 lux. Per quanto concerne le verifiche di uniformità sono stati ottenuti rispettivamente i valori di 0,2 e 0,5. Nella figura 10 è mostrato un diagramma a spot dell'illuminamento relativo alla zona dell'altare.

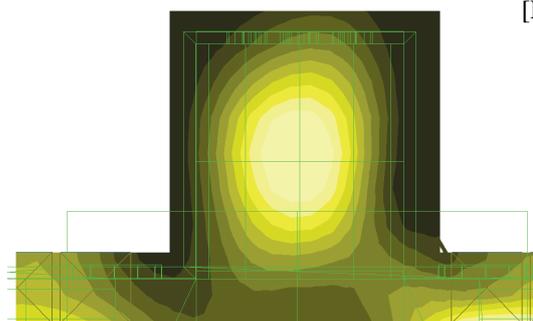
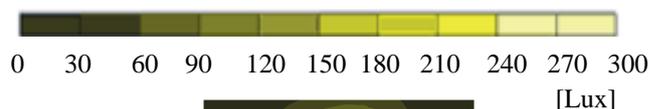


Fig. 10: Diagramma a spot dell'illuminamento ottenuto sulla zona dell'altare

In due cappelle è stato ottenuto un valore di illuminamento medio pari a 93 lux su un piano di lavoro posto ad una altezza di 1,5 m dal pavimento, valore congruente con il dato di progetto di 100 lux; solo nella Cappella della Maddalena si è ottenuto un valore più basso, di 68 lux.

Nella tabella 3 è riportato un quadro riassuntivo relativo all'illuminamento medio sul piano di lavoro nelle diverse zone della chiesa.

	h (m dal pavimento)	E_{med} (lux)
Chiesa con navata intonacata	0.85	102
Chiesa con navata affrescata	0.85	112
Zona dell'altare	1.25	189
Cappella Collicola	1.50	93
Cappella Benedetti di Montevicchio	1.50	93
Cappella della Maddalena	1.50	68

Tab. 3: Quadro riassuntivo relativo ad E_{med} sul piano di lavoro nelle diverse zone della chiesa

5. IL SISTEMA EIB (EUROPEAN INSTALLATION BUS)

Il risparmio di energia elettrica può essere ottenuto in vari modi; il più semplice è la limitazione dell'uso della luce artificiale, che deve essere oggetto di attente e realistiche valutazioni, che comprendano i molteplici aspetti delle funzioni assolute da un impianto di illuminazione. Tuttavia penalizzare il comfort visivo e la sicurezza d'uso dell'ambiente a favore del contenimento energetico può comportare costi sociali più elevati del risparmio energetico.

Provvedimenti che si dimostrano utili sono gli interruttori per la parzializzazione dell'impianto, i regolatori del flusso luminoso, i temporizzatori e le fotocellule. Si tratta di comandi e automatismi che rendono razionale l'uso dell'impianto, unendo le effettive esigenze dei fruitori con il razionale impiego dell'energia elettrica. Il progetto dell'impianto di illuminazione deve pertanto essere dotato di uno o più programmi di accensione e di spegnimento, con regolazioni manuali ed automatiche.

Per ottenere quanto sopra descritto, l'impianto in oggetto sarà collegato con un sistema EIB (European Installation Bus); si tratta di un sistema di controllo di tutti gli apparecchi con una linea Bus a basso voltaggio e una linea di potenza per l'alimentazione.

I dispositivi "bus" vengono generalmente suddivisi in:

- sensori: ricevono un segnale dall'esterno (ad esempio la pressione di un pulsante), lo codificano come messaggio "bus" e lo trasmettono agli attuatori;
- attuatori: ricevono il messaggio, lo decodificano e agiscono secondo quanto previsto dal loro programma.

Il messaggio inviato contiene l'indirizzo del dispositivo mittente, l'indirizzo destinazione e l'informazione da trasmettere.

I sensori sono generalmente collegati al solo cavo bus, mentre gli attuatori sono collegati sia al cavo bus che all'alimentazione a 230 V. Tutti i dispositivi sono collegati al cavo bus in parallelo, con notevole semplificazione del cablaggio e sono distinti, gli uni dagli altri, grazie ad un indirizzo fisico che li individua in modo univoco.

Un sistema di questo tipo permette di nominare e memorizzare varie scenografie, rendendo facile ed immediata la scelta più adatta alle esigenze del momento; è inoltre possibile modificare in qualsiasi momento le configurazioni predisposte. L'impianto può essere monitorato e comandato via internet o intranet. Le opere murarie nella realizzazione del progetto sono minimizzate in quanto è minore l'impiego di cavi, cosa di particolare importanza quando si opera in ambienti di interesse storico - artistico.

6. CONCLUSIONI

Il progetto illuminotecnico della chiesa di San Domenico a Spoleto è stato finalizzato alla realizzazione di un impianto d'illuminazione capace di rendere fruibile la chiesa nel miglior modo possibile.

Il progetto è stato sviluppato a partire dalle varie esigenze che dovranno essere soddisfatte dall'impianto d'illuminazione e dall'analisi dell'edificio come elemento architettonico e contenitore di opere d'arte, nel rispetto dei valori delle grandezze fotometriche consigliati dalla norma UNI 10380.

La scelta delle tipologie di apparecchi e delle sorgenti luminose è stata effettuata considerando tutti quei parametri che possono influire sulla conservazione di eventuali opere di interesse storico - artistico presenti nella chiesa, sulla necessità

dello svolgimento delle funzioni liturgiche, sulle opere di manutenzione e pulizia, senza dimenticare l'aspetto del risparmio energetico.

Per quanto riguarda le lampade, ne sono state utilizzate di tre tipologie distinte:

- lampade a ioduri metallici, poiché oltre all'elevata resa cromatica permettono l'uso di potenze ridotte;
- lampade alogene, perché oltre ad avere una resa cromatica prossima a 100 permettono, se utilizzate con un'ottica spot, un puntamento molto preciso e non sono dannose per le opere d'arte;
- lampade fluorescenti, poiché garantiscono un'alta uniformità di illuminamento e possono intervenire come illuminazione di soccorso.

Utilizzando un programma di calcolo, si è realizzato un modello tridimensionale dell'ambiente da illuminare e si è ottenuto un effetto fotorealistico dell'ambiente, così come apparirebbe una volta illuminato dall'impianto. Il modello è stato realizzato e caratterizzato dopo un'attenta ricerca delle proprietà dei materiali costituenti la chiesa, in modo da assicurare un comportamento rispondente alla realtà. Dopo numerose simulazioni si è raggiunta la configurazione ottimale degli apparecchi illuminanti, del tipo di sorgente, del loro posizionamento e puntamento.

L'impianto è stato progettato prevedendo l'accensione parziale degli apparecchi, adattando cioè l'impianto all'attività da svolgere; ciò è stato possibile grazie all'uso di un sistema EIB (European Installation Bus), consistente nel collegamento delle lampade mediante cavo bus e collegamenti in parallelo.

I risultati ottenuti si sono rivelati rispondenti alle condizioni di confort visivo, alla valorizzazione e conservazione di opere di interesse storico artistico e al conseguimento del risparmio energetico.

BIBLIOGRAFIA

1. UNI 10380, *Illuminotecnica – Illuminazione di interni con luce artificiale*, 2000.
2. Conferenza Episcopale Italiana, *Nota Pastorale*, 1993.
3. G. Forcolini, *Illuminazione di interni*, Hoepli, 1992.
4. ENEL CESI, *Guida tecnica per l'illuminazione degli interni*.
5. AIDI, *Illuminazione delle opere d'arte: selezione di articoli italiani e stranieri pubblicati tra il 1990-1993*.
6. G. De Angelis, B. Toscano, *Spoleto, argomenti di storia urbana*, 1982.
7. G. Monello, *I software per la progettazione illuminotecnica: tecnologie avanzate per la simulazione*, Rivista Luce n. 5/2002, AIDI.
8. G. Moncada Lo Giudice, A. de Lieto Vollaro, *Illuminotecnica*, ESA Milano, 1996.
9. Litestar 6.0, *Manuale per l'utente*, 2003.

LISTA DEI SIMBOLI

h = distanza dal pavimento [m];
r = coefficiente di riflessione [%];
t = coefficiente di trasparenza [%];
E = illuminamento [lux];
X, Y, Z = coordinate tricromatiche.