

Recuperare il valore storico-filologico del Cultural Heritage con Luce di Qualità. L'esempio della Chiesa di San Niccolò Oltrarno

Recovering the Historical and Philological Value of Cultural Heritage with Quality Light: The Example of the Church of San Niccolò Oltrarno

Carla Balocco
carla.balocco@unifi.it

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italy

Ilaria Summa
ilaria.summa12@gmail.com

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italy

pagina a fronte

Fig. 1

Progetto di illuminazione di qualità. Immagine della chiesa nello stato attuale (in alto), proposta di progetto (in basso).

Abstract

Designing light and with light in historic buildings, especially in churches, is a topic that has not yet been addressed and is particularly complex. This topic is part of the search for correct lighting and therefore quality light, developed for long time by Prof. Carla Balocco of Environmental Applied Physics at the University of Florence (Balocco, Carbone, 2022; Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018; Summa, 2025). The lighting design proposed in this work is based on a fundamental concept, namely the design of light and with light for the enhancement of the historical-artistic heritage, for the recovery of the historical-philological value that this same heritage possesses. The light is conceived and designed through the optimal combination of natural light with artificial light, to recover the original shape and layout, the semantic and historical thickness of the work, of the building. The lighting project must therefore allow us to re-read, re-interpret, re-see and perceive with our eyes (of the mind) the historical memory that we have often lost (Balocco, Carbone, 2022; Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018).

Keywords

Quality of light; Vision and perception; Lighting churches; Lighting for historical-philological value; Cultural heritage.

Introduzione

Questo lavoro che prende le mosse da un tema di ricerca ampiamente trattato e sviluppato (Balocco, Carbone, 2022; Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018), concerne lo studio dell'illuminazione di una chiesa di Firenze, la chiesa di San Niccolò Oltrarno¹. Per illuminare le chiese è di fondamentale importanza considerare il valore spirituale che in ambito ecclesiastico viene attribuito soprattutto alla luce naturale, che ogni proposta progettuale non può quindi ignorare. Trattare le chiese storiche richiede particolare attenzione all'edificio (il contenitore) e alle opere (il contenuto), che differiscono per tipologia, materiali ed esigenze di conservazione. Inoltre, la vastità di

¹ Gli autori ringraziano per dati, indicazioni ed informazioni fornite: la Diocesi di Firenze, la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le Province di Pistoia e Prato, Firenze Smart-SILFI, gli Architetti Floriano Poli e Valeria Prateselli, l'Arch. Francesca Giannelli, l'Ing. Maurizio Seracini.



tipologie e casi riscontrabili in ambito architettonico ecclesiastico rendono l'illuminazione ecclesiastica un tema molto complesso anche perché strettamente connesso all'esigenza di soluzioni ottimali di compromesso tra esigenze visivo-percettive, liturgico-cerimoniali e di conservazione.

Le chiese ed in genere i luoghi di culto, possono differire nello stile architettonico e per le trasformazioni, aggiunte e sostituzioni che sono avvenute nel corso della storia, per adattamento sia allo spirito del tempo, sia rispetto alle riforme liturgiche. Concetto chiave è dunque pensare e realizzare un concept del progetto della luce e con la luce per la valorizzazione del patrimonio storico-artistico, per il recupero del valore storico-filologico che questo stesso possiede.

Se pensiamo alla storia dell'architettura, esempi emblematici di architetture che fanno luce e di luce che fa architettura sono ad esempio Kahn e Tadao Ando. Kahn parla di spazi significativi, di temi architettonici distinti secondo la loro funzione profonda, per mezzo di struttura e luce. Questi concetti caratterizzano l'impianto architettonico in funzione della luce, come ad esempio nella Prima Chiesa e Scuola Unitaria di Rochester a New York, USA, 1959-1967. Tadao Ando definisce la luce come materiale di costruzione: nella Chiesa della luce – Ibaraki, Osaka, Giappone, 1987-1989, applica questo concetto incidendo in una delle pareti minori una croce per tutto lo spessore della muratura. L'asse longitudinale della pianta dell'edificio è orientato in modo che l'altare e la croce di luce siano a Sud per ricevere luce solare diretta durante tutta la giornata. In questo modo il fascio luminoso proiettato nello spazio interno produce un'interessante tensione spaziale tra luce e ombra. Più specificatamente, la fisica della luce come radiazione spettrale di un corpo nero (il Sole) di cui solo alla finestra ottica il nostro occhio è sensibile (370 nm a 780 nm di lunghezza d'onda), spiegata da Einstein si basa sul rapporto tra luce e tempo: se la quarta dimensione è il tempo, la luce può essere considerata la quinta dimensione dell'architettura (Keller O., 2014; Rossi E., 2023; Giusfredi G., 2015; Palladino P. et al., 2026).

In questo senso questa ricerca considera e tratta la luce come elemento fisico capace di esaltare le architetture, la scansione ritmica di elementi verticali, di masse scavate e piene dove il perfetto equilibrio tra luce e ombra genera una qualità volumetrica anche per mezzo del passaggio di una luce filtrata. La luce può dunque assumere un carattere centrale di progettualità fino a delineare con la propria espressività ottenuta attraverso i fenomeni fisici ad essa connessi (dispersione e diffusione isotropa, rifrazione e riflessione diffusa e/o speculare) un ruolo fondamentale all'interno dello spazio architettonico esaltandone quando una chiesa o luogo di culto il carattere di sacralità.

La luce viene pensata e progettata in questo lavoro di ricerca, per recuperare la forma e l'assetto originari, lo spessore semantico e storico dell'opera, dell'edificio. Il progetto di luce deve permettere dunque di ri-leggere, re-interpretare, ri-vedere e percepire con gli occhi (della mente), che oggi ci possiamo permettere grazie allo sviluppo di tecnologie ed applicazioni molto avanzate, la memoria storica che abbiamo spesso perduto (Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018). Questo processo molto complesso che costituisce di fatto una ricerca pratico-operativa, che ha come obiettivo la proposta di luce di qualità, per la qualità della visione e della percezione, è stato applicato al rinnovamento dell'illuminazione della Chiesa di San Niccolò a Firenze. La ricerca è stata orientata al progetto di nuova luce dedicato ad un esempio storico-architettonico singolare, mostrando come sia possibile con la corretta illuminazione, cioè qualità della luce, rivitalizzare quelle piccole e locali realtà fatte non solo di chiese, ma spesso anche di musei, edifici storici, testimonianze architettoniche comunque di alto valore storico-ambientale, sociale e culturale, ma

spesso ‘dimenticate’ (Balocco, Carbone, 2022; Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018).

Il controllo e la progettazione della luce e con la luce (naturale ed artificiale) costituisce una sfida sotto diversi aspetti propri dell’architettura, dalla fisica, alla tecnica e tecnologia, alla valorizzazione, financo dell’arte (Balocco, Carbone, 2022; Balocco, Cecchi, 2020; Balocco et al., 2020; Balocco, Volante, 2019; Balocco et al., 2018; Balocco, Volante, 2018).

La luce nella chiesa viene dunque pensata/progettata per valorizzare il significato e valore liturgico, ma anche museale-espositivo del luogo di culto studiato.

Il progetto per una nuova luce è finalizzato alla valorizzazione dell’architettura della chiesa nella sua espressione liturgica e cerimoniale, e della fruizione museale dello spazio come definiti in [Decreto Legislativo 42/2004. Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137. (GU n.45 del 24-02-2004 - Suppl. Ordinario n. 28] ed in linea con i principi di conservazione e tutela. Anche i sistemi di illuminazione proposti nel progetto illuminotecnico, garantiscono la conservazione preventiva dei materiali presenti. Il progetto è complesso: ha richiesto un’approfondita ricerca, sviluppata su fonti cartacee e disponibili in rete, accompagnata da sopralluoghi ed incontri/confronti con esperti del settore del restauro conservativo, storici-archivisti, progettisti della luce, aziende produttrici di sistemi di illuminazione artificiale.

Sono state realizzate una serie di campagne di misura, strutturate sulla definizione di set-up e protocolli sperimentali, non solo per la misura della quantità di luce (naturale ed artificiale) presente, ma anche delle caratteristiche ottiche, fotometriche e colorimetriche delle superfici (comprese quelle delle opere) e delle principali grandezze termofisiche della struttura. I dati sperimentali dopo una fase di post-processing hanno permesso di calibrare i modelli di simulazioni transienti dedicate. La ricerca si è orientata poi, sullo studio della possibilità di utilizzo di soluzioni tecnologiche innovative, di materiali nano-strutturati, di tessuti in fibra ottica, di matte-surfaces, di sistemi di illuminazione allo stato solido con nuovi materiali nano-conduttori, nonché applicazioni di IoT per il controllo e la regolazione dei gruppi DALI e COB degli apparecchi LED. Il progetto per una nuova luce per la Chiesa di San Niccolò, parte dall’analisi e dalla valutazione, in relazione alla normativa vigente (CEI, UNI-EN, CIE, MiBAC), del clima luminoso allo stato attuale. Con il progetto di nuova luce si propongono due scenari integrati e dinamici: museale-espositivo e liturgico-cerimoniale, attraverso luce dinamica di qualità che, con un approccio progettuale adattivo e percettivo, modella l’illuminazione di base e quella di accento. La proposta di nuova luce per la Chiesa di San Nicolò Oltrarno offre punti di riflessione, di ulteriori indagini, di ragionamento ed approfondimento per un Lighting Design nell’ottica dello Human Centric Lighting e della transizione alla sostenibilità energetica e ambientale, che richiede l’utilizzo qualitativo dell’energia, nonché l’interdisciplinarietà tra materie scientifiche e umanistiche, ovvero la fisica, fisica tecnica, ottica, chimica, insieme alla storia (dell’arte e dell’architettura) e al restauro.

Un tema fondamentale nel progetto illuminotecnico dedicato ad una Chiesa è il rapporto e l’integrazione tra luce naturale e artificiale, che non può essere affrontato in modo generico o come mera risposta ai valori limite di normativa. Infatti, la Conferenza Episcopale Italiana (CEI) nella Nota pastorale *La progettazione di nuove chiese* (CEI, 1993) sottolinea il ruolo di primaria importanza della luce naturale, dalla quale quella artificiale deve discostarsi il meno possibile, sia per motivi di lettura dello spazio, sia per ridurre il più possibile il consumo energetico dell’impianto e i costi di gestione. Tuttavia, al fine di rendere sicuro lo svolgimento delle

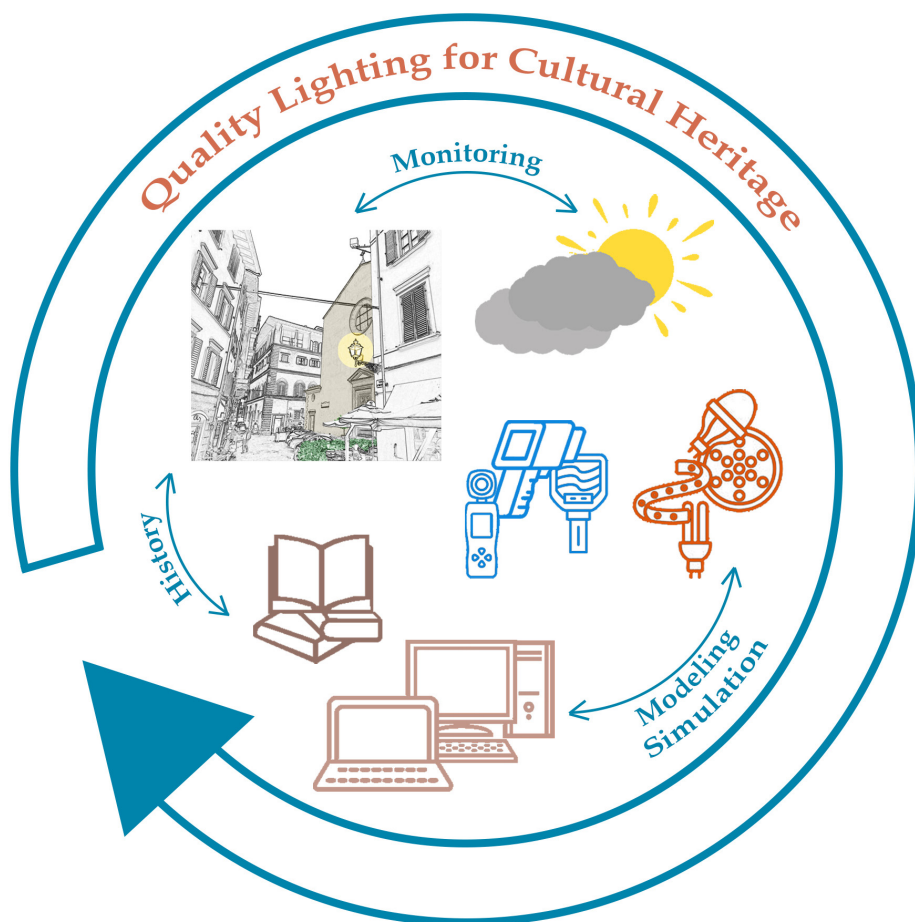


Fig. 2
Graphical abstract del processo
progettuale. Elaborato
realizzato dagli autori. Fonte
della foto ritraente la via di
S. Niccolò a Firenze: Google
Earth, <<https://www.google.it/intl/it/earth/index.html>>,
rielaborata dagli autori.

funzioni liturgiche, la CEI ritiene necessario l'apporto dell'illuminazione artificiale per rispondere alle "esigenze di luminosità" degli utenti all'interno dell'edificio, alle specifiche necessità legate alle liturgie della comunità di riferimento, nonché a quelle per la corretta visione e percezione delle opere, con l'individuazione di scenari di luce dedicati. Oltre a quanto detto, è importante e così è stato considerato nel progetto di nuova luce, trovare un giusto equilibrio tra l'illuminazione dedicata alle funzioni liturgiche, e l'illuminazione volta alla fruizione dei visitatori, specie quando le chiese antiche con grande valore storico-artistico sono collocate in contesti caratterizzati da un'affluenza importante di turisti.

A questo scopo, quindi potranno essere differenziati degli scenari, funzionali alle esigenze dell'utenza, del luogo di culto e di quello di cultura. Costituisce una questione di fondamentale importanza la scelta accurata dei corpi illuminanti, sia per la resa cromatica e la qualità della visione e percezione dei manufatti e più in generale dell'ambiente, sia per la tutela e conservazione preventiva di diversi tipi di materiali fotosensibili che caratterizzano le opere d'arte esposte.

È importante considerare anche i profili temporali di utilizzo per tipo di attività svolta e i livelli di occupazione della chiesa, in particolare nello scenario liturgico-cerimoniale, con lo scopo di limitare i consumi energetici regolando l'accensione degli apparecchi in accordo con l'affluenza dei fedeli.



Il controllo della luce naturale è fondamentale quanto quello della luce artificiale, sia sul lato termico che luminoso: se luce diretta, può risultare dannosa per le opere fotosensibili e le superfici materiche organiche, compromettendone la conservazione. In particolare, spesso, gli impianti di illuminazione degli edifici del Cultural Heritage non sono controllati per un utilizzo ottimale combinato di luce naturale e artificiale, causando condizioni di illuminazione scadenti e talvolta pessime. La questione è complessa perché molti edifici storici in Italia, sono stati spesso convertiti ad usi diversi da quelli originari, e la quantità e la distribuzione della luce naturale nell'ambiente possono sia alterare la percezione dello spazio architettonico rendendolo addirittura irriconoscibile, sia causare deterioramento e danni a materiali e oggetti delicati perché fotosensibili.

D'altra parte, la luce naturale definisce lo spazio e il luogo di culto avendo un ruolo primario dall'orientamento alla simbologia della presenza divina tema imprescindibile che si trova dalle chiese più antiche alle prove moderne e contemporanee. Nella storia e cultura del progetto per le chiese essa dà forma e volume, suscita concentrazione, riflessione, incanto e disincanto enfatizzando ed assecondando il ritmo dei rituali e delle liturgie. La luce naturale scandisce il tempo dentro e fuori la chiesa seguendo il percorso solare al trascorrere delle stagioni, ma proprio perché connessa alle specificità del luogo per altezza ed azimut del Sole, enfatizza quello stesso

Fig. 3
Estratto della mappa interattiva dei vincoli, rielaborata dagli autori. Fonte: Comune di Firenze, Piano Strutturale, <<https://web.ru.comune.fi.it/web/ru/pc/index.jsp#home>>.

Abbazia di San Miniato al Monte

Chiesa di S. Niccolò Oltrarno



Fig. 4

Produzione di una sezione
territoriale dell'area di studio.
Elaborazione degli autori
sulla base di immagine
tridimensionale estrapolata
dal sito Google Earth
<<https://www.google.it/intl/it/earth/index.html>>

pagina a fronte

Fig. 5

Realizzazione da parte degli
autori del prospetto sud della
chiesa su via S. Niccolò.

spazio-luogo-tempo in cui si erge la chiesa, influenzata dalla radiazione solare nella definizione della sua configurazione, come nella scelta dei colori e dei materiali.

Ad oggi l'integrazione della luce naturale e artificiale è resa possibile con la tecnologia LED, permettendo di raggiungere prestazioni elevate, qualità di illuminazione e quindi di visione e percezione, attraverso la possibilità di regolare lo spettro di emissione e la temperatura di colore delle sorgenti in funzione del colore delle superfici. Tanto per fare un esempio, la tecnologia LED permette di produrre luce bianca attraverso due tecniche differenti: la prima che sfrutta la combinazione di colori diversi di LED, i cm-LEDs, come ad esempio quelli in cui è impiegata la tecnologia RGB; e la seconda fondata sulla conversione del fosforo tramite diodi (cp-LEDs). La semplicità nel produrli e il relativo basso costo dei cp-LED, congiuntamente alla difficoltà di generare una luce bianca dalla resa accettabile con i cm-LED, ha fatto sì che nella maggior parte dei casi la scelta ricadesse sui primi.

Il processo progettuale di luce di qualità per edifici del Cultural Heritage è riportato in sintesi in figura 2 come graphical abstract.

Cenni alla Normativa di riferimento

Alla base di un qualsiasi progetto illuminotecnico destinato al Cultural Heritage vi sono aspetti relativi alla tutela-conservazione preventiva dei beni culturali, architettonico-artistici, nonché aspetti inerenti il tipo, per quantità e qualità di luce, di illuminazione liturgica e conservativa (CIE, 1990; CEI, 1992; CEI, 1993; CEI, 1996; UNI EN 12464-1, 2011; UNI EN 12665, 2018; UNI EN 15193-1, 2021; MiBAC, 1998; UNI EN 12464-2, 2008; UNI 11630, 2016; UNI CEN/TS 16163, 2014). Trattasi dunque di trovare il giusto compromesso tra le necessità visive e percettive del visitatore-fedeale, le esigenze di conservazione del manufatto architettonico e delle opere in esso contenute, ma anche delle funzioni ecclesiastiche. In particolare, per quanto riguarda la salvaguardia dei manufatti secondo un approccio finalizzato alla conservazione preventiva, il riferimento è costituito dalle linee guida indicate dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC, 1998). Il Decreto Legislativo affronta il tema della tutela e conservazione dei musei e nei musei, come oggi vengono intesi, introducendo criteri tecnico-scientifici per la tutela e conservazione, prevenzione del rischio e sicurezza, la gestione e il risparmio energetico, nonché standard di funzionamento e sviluppo, annotando che per ragioni storiche e politiche in Italia,



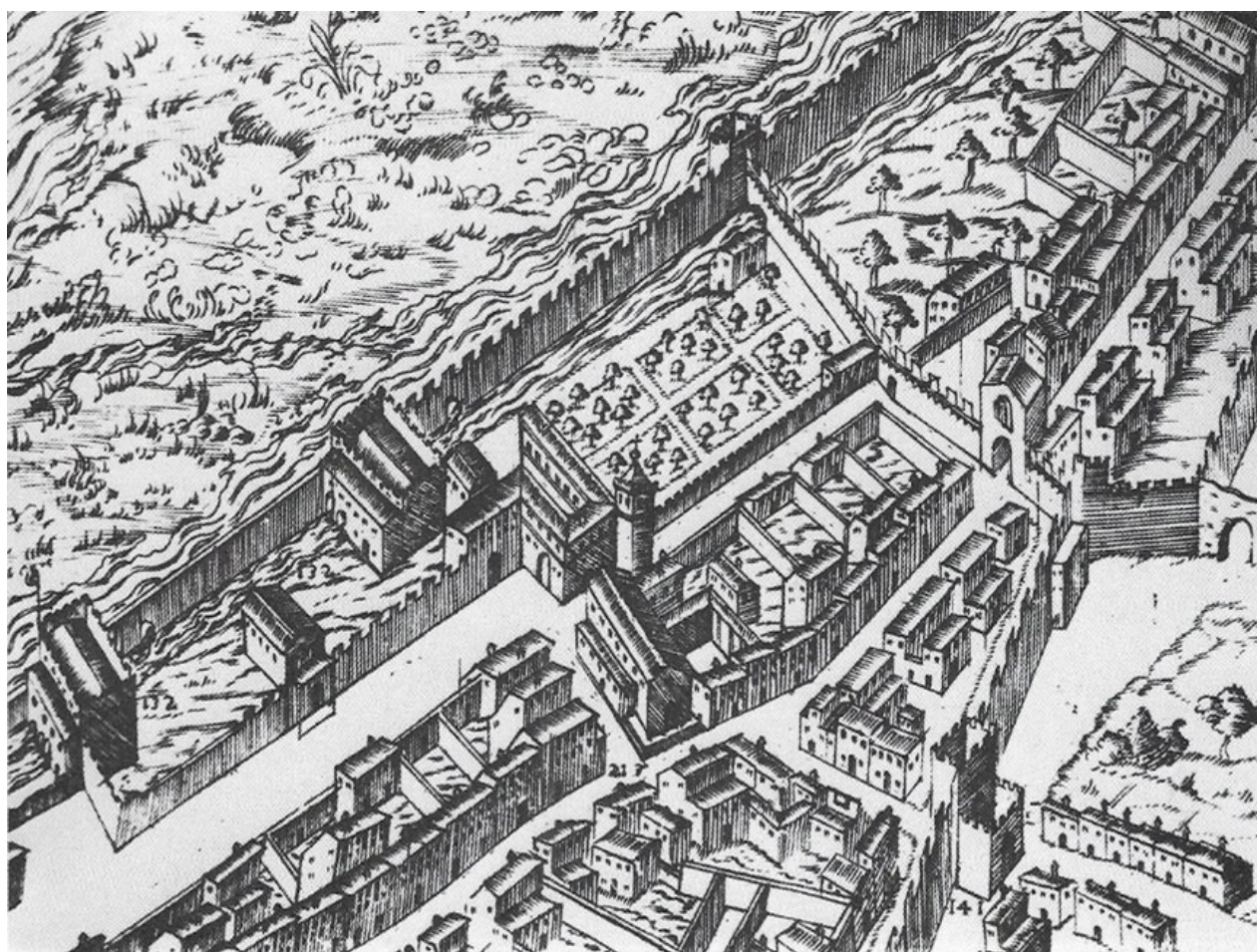


Fig. 6
S. Bonsignori, Pianta prospettica
di Firenze (1584), Fonte:
Laghi & Damiani, 1982.

sono stati il luogo di conservazione e salvaguardia delle opere, denominato “istituto d’antichità e d’arte” (MiBAC, 1998; Misiti, 2010). Infatti, la diffusione del patrimonio artistico nazionale fa sì che le linee guida si possano applicare a manufatti architettonici non esclusivamente museali, in quanto le raccolte d’arte si sono installate all’interno di edifici di diversa natura, anche ecclesiastica. All’*Ambito VI – Gestione e cura delle collezioni*, viene sottolineato come sia compito primario del museo la preservazione dell’integrità delle opere e la promozione della conoscenza anche attraverso la loro pubblicizzazione. In riferimento alla Chiesa di San Niccolò Oltrarno, oggetto di studio, quest’ultimo aspetto è penalizzato dagli orari di apertura che ad oggi scoraggiano la visita del turista/visitatore. Peraltro, al fine di tutelare i beni artistici contenuti nella chiesa, va tenuto di conto della fotosensibilità dei materiali, controllando che i valori di illuminamento e la massima dose di luce annuale siano sempre sotto i limiti massimi definiti dall’Atto di Indirizzo del MiBAC (CIE, 1990; CEI, 1992; CEI, 1993; CEI, 1996; UNI EN 12464-1, 2011; UNI EN 12665, 2018; UNI EN 15193-1, 2021; MiBAC, 1998; UNI EN 12464-2, 2008; UNI 11630, 2016; UNI CEN/TS 16163, 2014). Questo è stato ovviamente fatto per il caso studio presentato in questo articolo. In particolare, trattandosi di un progetto di luce in ambito ecclesiastico, è stato di fondamentale importanza consultare e attenersi alle prescrizioni definite dalla Conferenza Episcopale Italiana (CEI), riportate all’interno delle Note

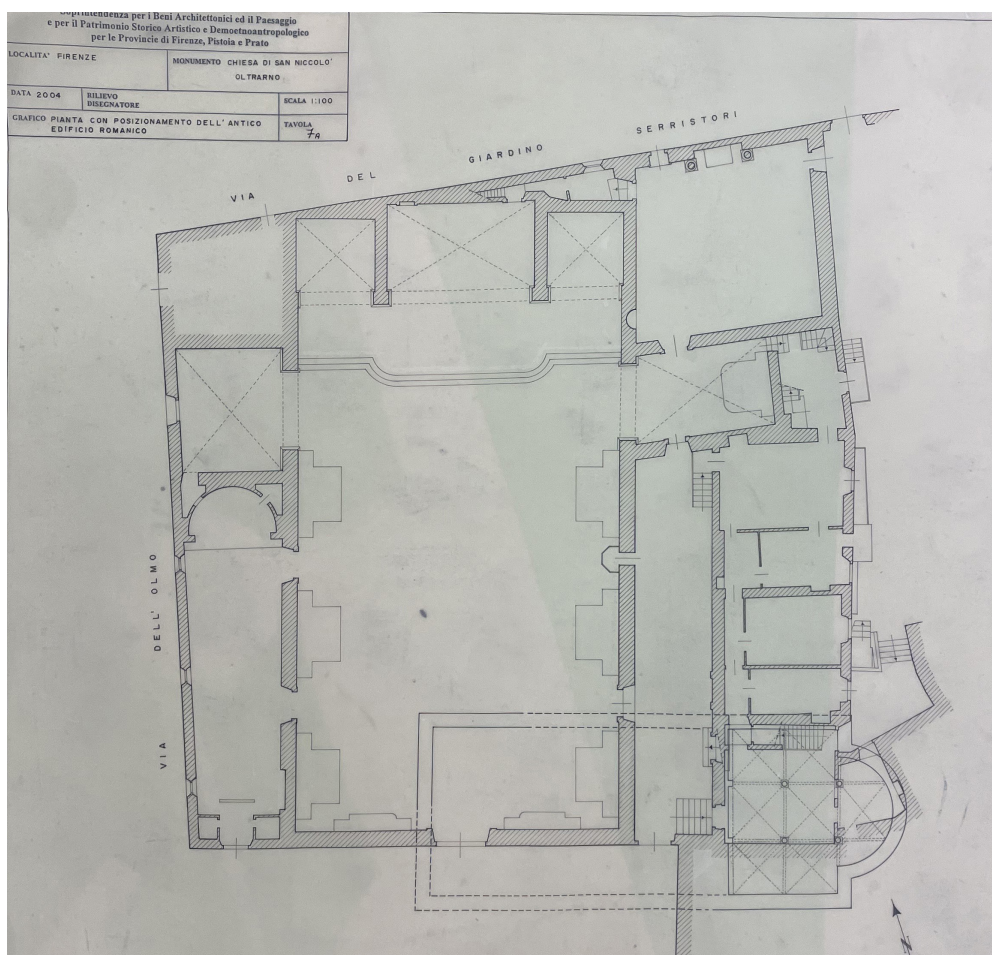


Fig. 7
Posizione della chiesa romanica rispetto a quella gotica.
Fonte: Archivio Disegni della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato.

pastorali pubblicate nel Notiziario della CEI. Infatti, si è fatto riferimento alle Note *La progettazione di nuove chiese* (CEI, 1993), che tratta l'argomento dell'illuminazione naturale e artificiale nei luoghi di culto, *L'adeguamento delle chiese secondo la riforma liturgica* (CEI, 1996) per indicazioni riguardanti il progetto di impianti e gli elaborati necessari all'approvazione del progetto; ed infine *I Beni Culturali della Chiesa in Italia. Orientamenti* (CEI, 1992) per la valorizzazione del patrimonio artistico contenuto ed esposto. Il progetto di nuova luce per un luogo di culto, deve fare riferimento alle normative italiane ed europee, in particolare alla UNI EN 12464-1:2011, UNI EN 12464-2:2008 e UNI 11630:2016. Per il caso di studio è stata anche considerata la specifica tecnica UNI CEN/TS 16163:2014 (UNI EN 12464-2, 2008; UNI 11630, 2016; UNI CEN/TS 16163, 2014), per l'analisi della fotosensibilità dei beni artistico-culturali e dei parametri chiave concernenti il progetto illuminotecnico. Pertanto l'illuminazione dei manufatti artistici contenuti nella Chiesa di San Niccolò Oltrarno si è basata sul controllo dei valori di illuminamento e di dose di luce annuale per restare sotto i limiti massimi definiti dall'Atto di Indirizzo del MiBAC per opere costituite di materiali con "Media" fotosensibilità (MiBAC, 1998). La chiesa di S. Niccolò Oltrarno, in quanto bene ecclesiastico, risulta ricadere nella tutela di interesse culturale "ope legis" e nel vincolo archeologico e nei beni paesaggistici del Piano Strutturale del Comune di Firenze (fig. 3).

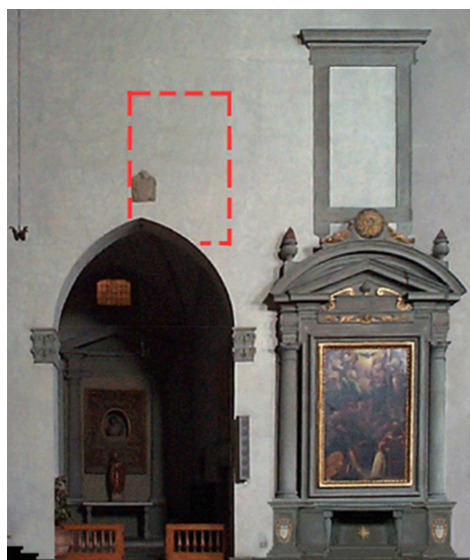


Fig. 8
Immagini dell'analisi
termografica nell'area di
ingresso della cappella
Uguccioni. Fonte:
Seracini, 1999-2000.

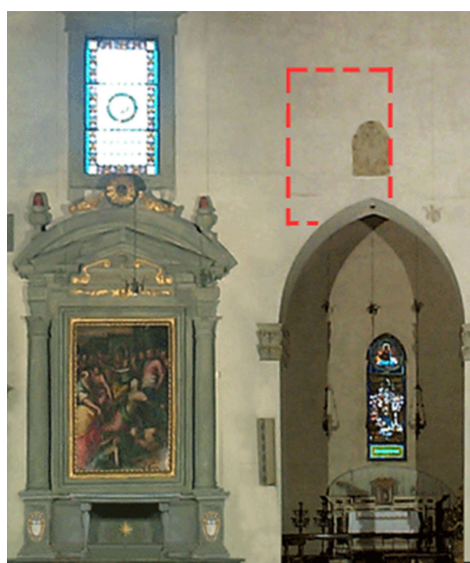
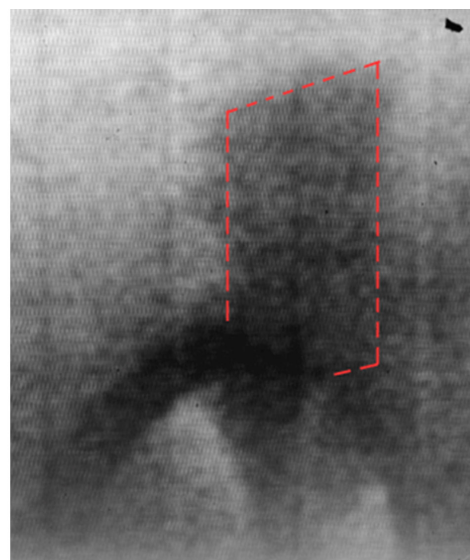
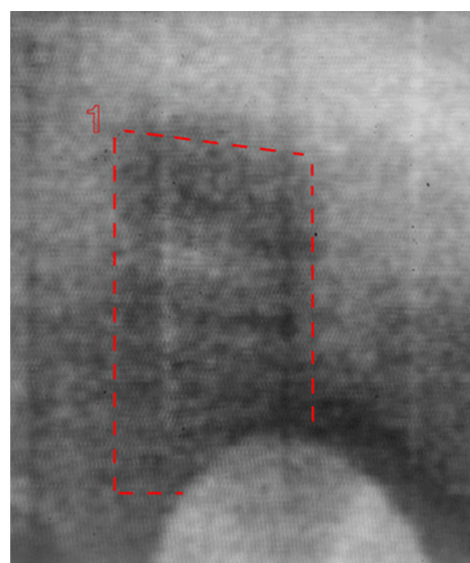


Fig. 9
Immagini dell'analisi
termografica nell'area di
ingresso della cappella
Guardini. Fonte: Seracini, 1999-2000.



pagina a fronte

Tab. 1
Valori di illuminamento
del giorno 29 maggio nelle
tre condizioni di luce.

Tab. 2
Valori di illuminamento
del giorno 30 maggio nelle
tre condizioni di luce.

Tab. 3
Valori di illuminamento
del giorno 31 maggio nelle
due condizioni di luce.

La Chiesa di San Niccolò Oltrarno. Cenni storici

Lo studio del manufatto ha necessitato ricerche preliminari su fonti d'archivio² e bibliografiche, congiuntamente all'analisi, comparazione e rielaborazione del materiale messo a disposizione da progettisti e ricercatori che si sono occupati, negli anni, delle indagini e degli interventi riguardanti la Chiesa ed il suo contorno (PAI dissesti, 2024; Giuliani, 1990; Contessa, 2013; Contessa, 2021; Fortino, Laghi, 1982; Giannelli, 2014; Laghi, 1982; Moretti, 1972-1973; Seracini, 1999-2000; Sznura, 1975; Zaffanelli, 1982; Zerial, 2015-2016; Villani, Aquilecchia, 1979). La chiesa di San Niccolò Oltrarno si erge nell'omonimo quartiere di Firenze, un'area compresa tra la collina di Monte alle Croci e il fiume Arno. La zona circostante la chiesa è caratterizzata da una forte pendenza del terreno e da un elevato rischio idrogeologico e di pericolosità di frana. Il quartiere di San Niccolò, nella zona dell'Oltrarno orientale, si è definito storicamente rispetto a tre elementi, il fiume Arno, che lo delimita sul

² Si vedano le fonti REGIONE TOSCANA, Banca dati del Servizio Idrologico Regionale (SIR-Toscana), doi:<https://www.sir.toscana.it/>; ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE, Catalogo generale dei Beni Culturali, Scheda Opere/oggetti d'arte Altare di Vasari Giorgio, Francesco da Sangallo detto Margotta – bottega fiorentina (sec. XVI), codice di catalogo nazionale 0900283012, doi: [44](https://catalogo.beniculturali.it/detail/Histori-</p>
</div>
<div data-bbox=)

Giorno	Cielo	Luce	Ora	min.	Max.	Medio	Mediana	r Pearson su tutti i dati	Errore percentuale
29 maggio	Cielo intermedio	Luce naturale + artificiale (non liturgica)	16:00 - 16:34	4	156	37,346	27,5	0,990	4,069
29 maggio	Cielo intermedio	Luce naturale	16:45 - 17:20	1	123	19,3	10	0,998	6,321
29 maggio	Cielo intermedio	Luce naturale + artificiale (liturgica)	18:00 - 18:42	6	129	39,48	35	0,997	3,115

Giorno	Cielo	Luce	Ora	min.	Max.	Medio	Mediana	r Pearson su tutti i dati	Errore percentuale
30 maggio	Cielo coperto	Luce naturale + artificiale (non liturgica)	16:00 - 16:39	1	88	13,993	8	0,945	6,217
30 maggio	Cielo coperto (pioggia)	Luce naturale	16:45 - 17:20	0,25	26	3,250	2	0,971	7,922
30 maggio	Cielo coperto (pioggia)	Luce naturale + artificiale (liturgica)	18:00 - 18:38	5	58	26,986	29	0,983	1,963

Giorno	Cielo	Luce	Ora	min.	Max.	Medio	Mediana	r Pearson su tutti i dati	Errore percentuale
31 maggio	Cielo variabile	Luce naturale + artificiale (non liturgica)	10:20 - 11:22	5	207	29,693	18,5	0,952	6,802
31 maggio	Cielo variabile	Luce naturale + artificiale (liturgica)	11:30 - 12:20	9	230	48,75	39	0,960	4,533
31 maggio	Cielo variabile	Luce naturale + artificiale (non liturgica)	16:45 - 17:14	7	272	68,375	40,5	0,647	3,875

lato ovest; l'antica cinta muraria, che ne segna il confine ad est; e la collina di Monte alle Croci, che sovrasta la zona e ne ha influenzato lo sviluppo urbano. Il quartiere, compreso tra il Ponte alle Grazie e la Torre di San Niccolò, ha conservato nei secoli la sua struttura a borgo altomedievale, sebbene caratterizzato da trasformazioni nel tempo, legate alla destinazione d'uso acquisite dagli edifici. La ricostruzione della formazione di San Niccolò è stata possibile solo indirettamente, attraverso il confronto di materiale cartografico del catasto attuale e storico (1830 e 1884) e dei rilievi murari con documenti archivistici e storici, dai quali sono state formulate ipotesi sui processi che hanno portato alla definizione della configurazione e morfologia attuali del quartiere³ (fig. 4; PAI dissesti, 2024; Giuliani, 1990; Contessa, 2013; Contessa, 2021; Fortino, Laghi, 1982; Giannelli, 2014; Laghi, 1982; Moretti, 1972-1973; Seracini, 1999-2000; Sznura, 1975; Zaffanelli, 1982; Zerial, 2015-2016; Villani, Aquilecchia, 1979).

Lo sviluppo del borgo si accentua nel XII secolo, in concomitanza alla ripresa economica di Firenze, e avviene lungo tre diramazioni aventi origine nel Ponte Vecchio, elemento urbano cardine in quanto unico punto di attraversamento del fiume fino al Duecento, e dirette verso Siena, Pisa e Arezzo, quest'ultima ripercorrendo il tracciato della Cassia Nova, fatta costruire dall'Imperatore Adriano nel 123. La Chiesa di San Niccolò Oltrarno riflette i mutamenti del quartiere, e le vicende storiche, culturali, artistiche e sociali che lo hanno caratterizzato. Infatti, nel corso del Duecento, il quartiere e la sua popolazione si è andata costituendo intorno al luogo di culto fondato dal Monastero di San Miniato, in quanto la parrocchia ebbe anche un ruolo protagonista nella gestione degli immobili nel XIV secolo. Solo nel 1164 si ha per la prima volta testimonianza dell'esistenza della chiesa in una bolla papale⁴ (PAI dissesti, 2024; Giuliani, 1990; Contessa, 2013; Contessa, 2021; Fortino, Laghi, 1982; Giannelli, 2014; Laghi, 1982; Moretti, 1972-1973; Seracini, 1999-2000; Sznura, 1975; Zaffanelli, 1982; Zerial, 2015-2016; Villani, Aquilecchia, 1979). Tuttavia, dell'originaria chiesa romanica ad oggi ne rimane unicamente la cripta, posta al di sotto dell'esercizio commerciale situato alla destra della chiesa, e le fondazioni, che vennero alla luce durante il restauro della pavimentazione della chiesa, avvenuto a seguito dell'alluvione del 1966 (figg. 5, 6).

La chiesa presenta una configurazione a croce latina, in quanto le due cappelle laterali individuano il transetto. L'ambiente si estende per circa 33 metri in direzione nord-sud, 17 metri da est a ovest, e si eleva per un'altezza massima al colmo di circa 20 metri (fig. 15). La facciata è a capanna, rifinita a intonaco, e caratterizzata da un portale di ingresso realizzato in pietra forte, e sovrastato da un rosone a circa 11 metri di altezza. Al suo interno presenta una copertura lignea a capriate, sormontata all'esterno da un tetto a tegole; un pavimento in cotto e pareti in pietra mista rivestite da intonaco bianco.

A queste ultime sono addossati gli altari vasariani e le cornici delle aperture, in pietra serena cinquecenteschi, che, sebbene con forme, dimensioni ed epoca differenti, si ritrovano anche nelle cappelle laterali dell'area presbiteriale, rialzata rispetto al piano di calpestio della zona centrale della chiesa. Queste ultime sono voltate e individuate da archi d'accesso a sesto acuto, con capitelli, lesene e pilastri rivestiti in pietra forte. Anche le cappelle del transetto presentano gli stessi elementi architettonici, ma la loro datazione risulta differente. Infatti, l'apertura dell'arco acuto a sinistra del transetto avvenne nel Cinquecento, rifacendosi a quello della cappella Uguccioni, posta di fronte ad essa⁵ (PAI dissesti, 2024; Giuliani, 1990; Contessa, 2013; Contessa, 2021; Fortino, Laghi, 1982; Giannelli, 2014; Laghi, 1982; Moretti, 1972-1973; Seracini, 1999-2000; Sznura, 1975; Zaffanelli, 1982; Zerial, 2015-2016; Villani, Aquilecchia, 1979). I capitelli sono realizzati in pietra serena, probabilmente aggiunti in un in-

cOrArtisticProperty/0900283012; ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE, Catalogo generale dei Beni Culturali, Scheda Opere/oggetti d'arte Altare di Vasari Giorgio, Francesco da Sangallo detto Margotta - bottega fiorentina (sec. XVI), codice di catalogo nazionale 00282911, doi: <<https://catalogo.beniculturali.it/detail/HistoricOrArtisticProperty/0900282911>>.

³ *Ibidem*.

⁴ *Ibidem*.

⁵ *Ibidem*.



tervento, scarsamente documentato, avvenuto nell'Ottocento, durante il quale fu realizzato anche l'altare della cappella destra del transetto (fig. 7).

L'altare della cappella sinistra venne demolito tra l'Ottocento e il Novecento, e sostituito da una finestra gotica, dedicata a San Niccolò e chiusa da una vetrata realizzata nel 1930 in concomitanza e dallo stesso autore di quella del rosone in facciata, rappresentante San Nicola di Bari. Scarsa è invece la documentazione riguardante le tre finestre laterali, che l'Arch. Giannelli (2014) nella *Relazione storico-critica* ipotizza siano databili dopo il 1944, in quanto sarebbero andate distrutte a causa delle vibrazioni dovute ai bombardamenti dei ponti. È inoltre molto importante sottolineare che dalle indagini diagnostiche per mezzo della termografia condotte dall'Ing. Seracini (1999-2000) è stato reso noto il fatto che le finestre che oggi vediamo nella chiesa in realtà non erano quelle originarie dell'edificio. Infatti dalle immagini ricavate con la termocamera è possibile identificare delle aperture preesistenti oggi tamponate e rese invisibili dall'intonaco, poste ad un'altezza tale da non intercettare gli edifici adiacenti, addossati alle pareti (figg. 8, 9).

L'ipotesi della presenza di finestre antecedenti è avvalorata anche dal fatto che due di esse vengono attraversate dagli archi delle cappelle del transetto, testimoniandone la loro anteriorità (Seracini, 1999-2000). Gli altari si trovano su un piano sopraelevato rispetto al pavimento, sopra uno scalino, rivestito anch'esso in cotto, su cui poggia la mensa tramite due colonne di sostegno. Al di sopra di essa, l'altare incornicia, tramite due mezze colonne tosco-doriche, la trabeazione, un timpano ad arco

Fig. 10
Griglia per la campagna di misure in loco. Individuazione delle 5 zone più significative. Pianta realizzata dagli autori.

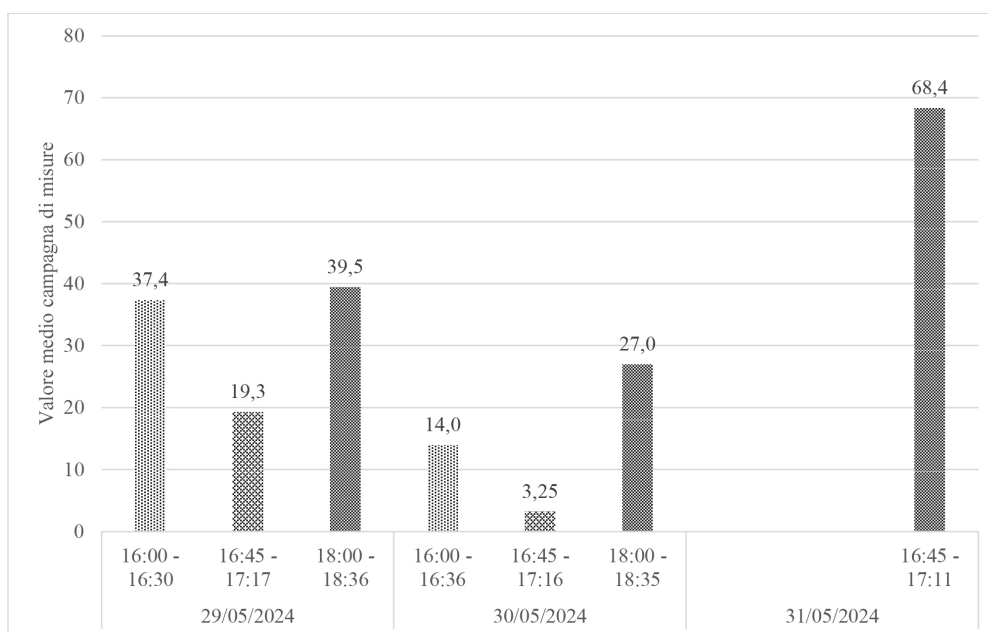


Fig. II

Andamento dei valori medi della campagna di misure.

e una cornice triangolare spezzata, le tavole pittoriche cinquecentesche. Per quanto concerne l'altare principale, quest'ultimo ha subito delle modifiche negli interventi che hanno seguito l'alluvione del 1966, sebbene siano stati impiegati elementi dell'epoca cinquecentesca. I lavori in quest'area della chiesa hanno portato alla riscoperta della lastra tombale Quaratesi, oggi visibile al centro della navata, di poco discostata dagli scalini del presbiterio; e della colonna in pietra serena dell'odierno ambone (Giannelli, 2014). In chiesa, ad oggi, sono ancora presenti manufatti artistici risalenti al Quattrocento. Infatti, S. Niccolò conserva gli affreschi, staccati e non, e le relative sinopie, rinvenuti durante gli interventi di restauro dopo il 1966. Troviamo poi, il Crocifisso del Michelozzo, esposto nel secondo altare laterale destro della chiesa, e le tre lastre tombali, quella Quaratesi e quelle presenti nella cappella laterale sinistra del presbiterio e in quella destra del transetto, oltre ad altre quattro lapidi poste all'interno della cappella Guardini, dopo gli interventi dell'alluvione, dalla originaria collocazione non definita. La chiesa ospita, presso il portale di ingresso, due acquasantiere, realizzate in marmo e risalenti all'Ottocento (Giannelli, 2014; Laghi, 1982; Moretti, 1972-1973).

Il Metodo: quality and sustainable lighting

L'approccio metodologico proposto, applicabile a tutti i casi simili, cioè a beni storici artistici di valore architettonico e culturale, è basato sulla contestualizzazione fisica del manufatto nel quartiere, dal punto di vista morfologico, territoriale, microclimatico e climatico iperlocale, della tipologia del suolo, dello sviluppo urbano, sociale ed economico, e sulla ri-lettura, recupero e ricostruzione dei cambiamenti storici, architettonici e funzionali più significativi della chiesa e del quartiere. Per questo è stata realizzata una matrice di review processing necessaria ad evidenziare i cambiamenti fisici, strutturali, funzionali-distributivi ed illuminotecnici significativi nel corso del tempo. L'approccio metodologico per il progetto di luce di qualità per la Chiesa parte dalla identificazione e definizione del clima luminoso esistente attraverso campagne di misure in situ, condotte in

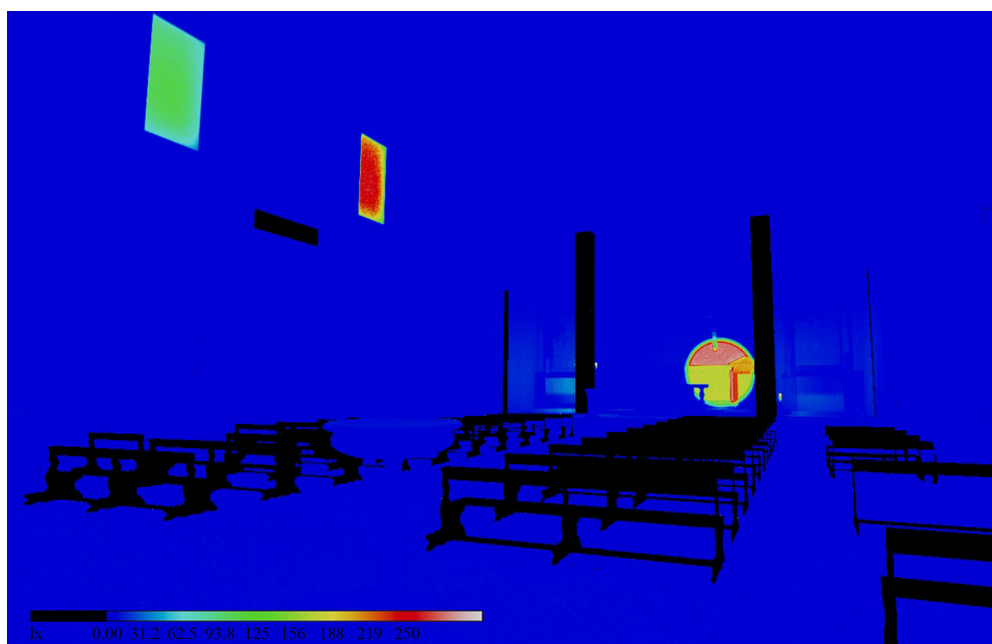


Fig. 12
Mappa in falsi colori dei
valori di illuminamento allo
stato di fatto, zona centrale
della chiesa: 21 dicembre ore
14:00 - cielo sereno. Mappa
realizzata dagli autori.

diverse condizioni di cielo e di Sole, nonché per diversi periodi di tempo. L'analisi e la modellazione transiente della luce presente nella chiesa ha consentito l'individuazione delle criticità presenti e di due fondamentali funzioni, quella museale-espositiva e quella liturgica-cerimoniale. La conoscenza del clima luminoso allo stato attuale ha messo in evidenza la necessità di valorizzazione del manufatto e delle opere, la garanzia della loro conservazione e tutela preventiva, così come il massimo utilizzo e controllo della radiazione solare, per aspetti termici e luminosi ai fini di limitare i danni dovuti al fotodegrado.

Rilievo e misure sperimentali

È stato realizzato un rilievo architettonico dell'edificio attraverso il confronto delle fonti archivistiche, relative a elaborati grafici storici della chiesa, con misure sperimentali di tipo architettonico-dimensionale. A questo è seguita la definizione di un set-up sperimentale e del protocollo di misura al fine di garantire riproducibilità, sequenzialità e accuratezza delle misure. Le misure di luce sono state affiancate ed integrate con misure di tipo termofisico, termoigrometrico, ottico e colorimetrico per ciascun tipo di superficie e quindi di materiale. Le misure termofisiche e termoigrometriche, condotte attraverso l'impiego di una termocamera Flir ad infrarossi, sono state necessarie per verificare l'assenza di qualsiasi fenomeno di condensazione superficiale ed interstiziale, nonché di fenomeni fisici-strutturali, biochimici e biologici di degrado. Per le misure illuminotecniche e colorimetriche, di tipo puntuale/manuale eseguite utilizzando luxmetri, colorimetri e luminanzometri, è stata definita una griglia sperimentale in riferimento alla normativa UNI EN, nella quale sono state individuate cinque zone caratteristiche e caratterizzanti, in relazione all'edificio e alle sue funzioni, ai materiali e ai campi di colore dominante. I dati raccolti sono stati elaborati applicando l'analisi statistica inferenziale e dell'errore. In particolare, è stata definita una griglia virtuale avente le maglie quadrate di lato 2 metri, secondo le indicazioni della normativa vigente (UNI EN 12464-1, 2011; UNI EN 12464-2, 2008), a partire da 0,50 metri dalle pareti. Sono state poi individuate 5

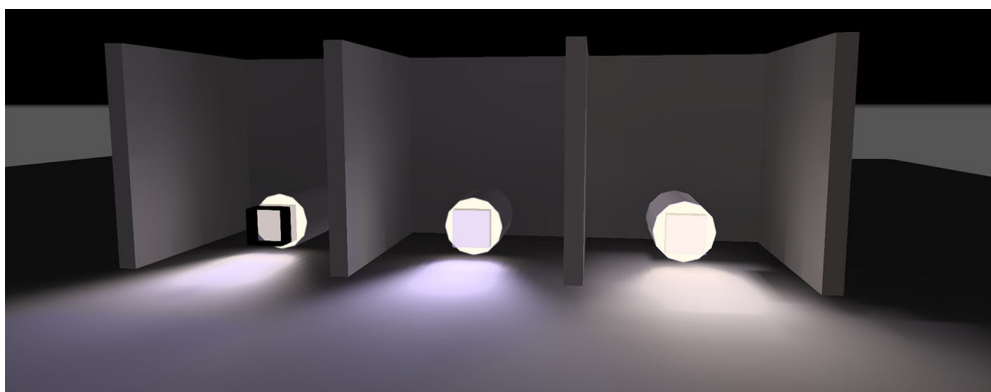


Fig. 13

Prototipazione del pacchetto vetro. Distinzione delle tre casistiche, da sinistra a destra: vetro con pellicola e matte surface; vetro con pellicola; vetro esistente. Immagine realizzata dagli autori.

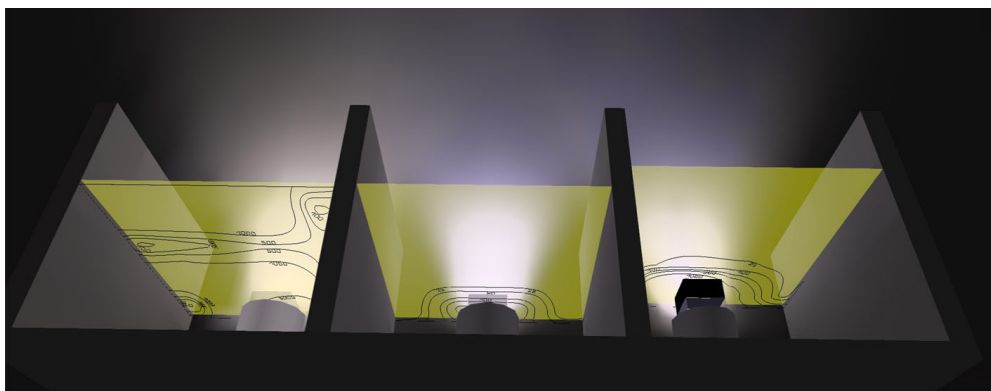


Fig. 14

Lettura dei risultati della simulazione attraverso le linee isolux, sulle tre differenti superfici di calcolo. Immagine realizzata dagli autori.

pagina a fronte

Tab. 4
Apparecchi scelti.

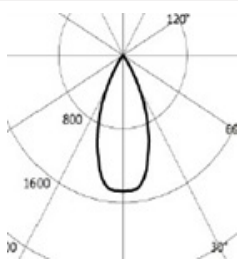
zone significative e più importanti, all'interno della griglia, ognuna composta da 4 maglie e comprendente 5 punti, nelle aree più significative dello stesso ambiente, cioè: l'ingresso, la navata centrale, l'altare e le due navate laterali (fig. 10).

Considerando poi gli orari in cui vengono celebrate le liturgie, alle ore 11:00 e alle ore 18:00, sono stati identificati i lassi temporali durante i quali svolgere le misure: la mattina, prima delle 11:00, sono stati acquisiti i dati sperimentali sull'illuminamento dovuto all'integrazione della luce naturale con quella artificiale, tenuta accesa per assicurare "le esigenze fondamentali di luminosità" (CEI, 1993). Alle ore 11:00 sono state effettuate le misure di illuminamento durante la liturgia, quando tutti i corpi illuminanti delle navate vengono accesi. Nei pomeriggi, sono sempre state condotte tre campagne di misure, due prima delle 18:00, per acquisire i valori di illuminamento rispettivamente, in condizione di sola luce naturale, di luce naturale insieme a quella artificiale (tenuta accesa quando non vi sono liturgie) e in condizioni di sola luce artificiale (alle ore 18:00) durante le funzioni cerimoniali religiose. Il protocollo sperimentale di misura definito ed adottato, è dunque il seguente: partendo dall'ingresso, passando dalla navata centrale, per poi giungere all'altare, le misure sono state condotte all'interno di ogni zona nominando per lettera i 5 punti e misurando, seguendo l'ordine alfabetico, i valori di illuminamento al livello del pavimento, ponendo il sensore del luxmetro sul punto della griglia segnato a terra. Sono state eseguite tre serie di misure, in senso orario, antiorario e nuovamente orario, considerando il punto centrale della maglia come ultimo. Le misure sono state ripetute due volte, seguendo l'ordine: ingresso, navata centrale, altare; altare, navata centrale, ingresso, questo per garantire ripetitività e sequenzialità delle misure, abbassandone l'errore percentuale.

Luce di base

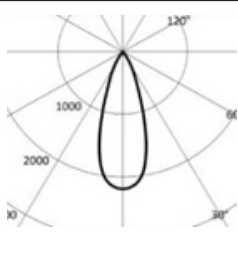
CORO grande | Targetti

Proiettore professionale orientabile a LED per installazione a parete o su cornicione con apertura di fascio fisso

	Potenza [W]	Flusso [lm]	Temperatura di colore [K]	Spettro di emissione	Efficienza [lm/W]	Rendimento ottico [%]	Indice di resa cromatica
Fascio ampio	49	6557	3000		117	87	90



N. apparecchi 20 (1° capriata) | 10 (3° capriata) | 20 (6° capriata) | 10 (7° capriata)

	Potenza [W]	Flusso [lm]	Temperatura di colore [K]	Spettro di emissione	Efficienza [lm/W]	Rendimento ottico [%]	Indice di resa cromatica
Fascio medio	49	6557	3000		114	85	90

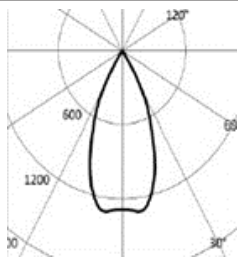


N. apparecchi 20 (1° capriata) | 10 (3° capriata) | 20 (6° capriata) | 10 (7° capriata)

Luce d'accento

CORO piccolo | Targetti

Proiettore professionale orientabile a LED per installazione a parete o su cornicione

	Potenza [W]	Flusso [lm]	Temperatura di colore [K]	Spettro di emissione	Efficienza [lm/W]	Rendimento ottico [%]	Indice di resa cromatica
Fascio stretto	18	2267	4700		102	79	90



N. apparecchi 16 (altari laterali – zona centrale chiesa) | 1 (rosone) | 4 (altari laterali presbiterio) | 4 (zona dell'altare)



Fig. 15
Render scenario museale,
zona centrale della chiesa: 21
dicembre ore 14:00 - cielo
coperto. Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.

Questo stesso protocollo è stato applicato anche per le navate laterali, seguendo i medesimi passaggi, partendo dalle maglie di sinistra guardando l'altare. L'intera campagna inoltre è stata svolta cercando di impiegare il minor tempo possibile, al fine di ottenere misure affidabili ed accurate. Le tabelle 1, 2 e 3 nonché la figura 11 mostrano l'analisi dei dati, dell'errore e la distribuzione dei valori medi di illuminamento per tutta la campagna di misure. Dall'analisi dei dati sperimentali acquisiti nei giorni di maggio, si deduce la stabilità del clima luminoso interno e quindi l'uniformità dei valori misurati, trascurando le giornate di cielo variabile, che non sono state prese in considerazione per la variabilità ed impulsività delle forzanti esterne. È stato pertanto modificato il protocollo misuristico, riducendo il numero delle serie da condurre, da sei a quattro totali, a favore di una maggiore velocità nella misura, ed individuando due condizioni di cielo: cielo sereno stabile e cielo coperto stabile, allo scopo di evitare l'ampia oscillazione dei valori. Dai risultati dell'analisi statistica inferenziale è possibile valutare la qualità delle misure: accuratezza, affidabilità, ripetitività e sequenzialità sono garantite. Gli errori percentuali sui dati misurati sono bassi e nel range di accettabilità. L'indice r di Pearson è risultato pari a 0,99, mostrando sequenzialità, ripetitività di ciascuna misura e serie ben correlate.

Costruzione del modello solido architettonico

La costruzione di un modello tridimensionale solido-architettonico è stata effettuata attraverso la modellazione digitale tridimensionale dell'edificio e dei manufatti in esso contenuti con il software commerciale Autodesk 3ds Max, a cui è stato associato il motore di rendering V-ray e Mental-ray per la simulazione illuminotecnica. Alla costruzione del modello 3D è seguita la caratterizzazione delle superfici degli oggetti architettonici e degli arredi, che è avvenuta per mezzo della calibrazione del modello illuminotecnico, utilizzando i dati misurati. Sono stati modellati ad hoc



i parametri di diffusione, riflessione, rifrazione, lucentezza, ruvidezza/scabrezza e porosità, nonché trasparenza dei materiali, facendo riferimento per il colore e le sue tonalità, alla colorimetria standard-CIE seguendo la scala RGB e il modello di spazio colore HVS che restituisce la sensazione visiva e quindi la percezione del colore da parte dell'occhio umano-campione.

Fig. 16
Render scenario liturgico,
zona centrale della chiesa:
21 dicembre ore 11:00 - cielo
coperto. Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.

Simulazione illuminotecnica allo stato di fatto. Il clima luminoso esistente

La simulazione della luce allo stato di fatto è stata condotta utilizzando il modello calibrato in riferimento all'ora del giorno e condizione di cielo perfettamente corrispondenti a quelle reali delle misure. Al fine di ottenere risultati attendibili nello studio del clima luminoso esistente, si è ritenuto opportuno considerare anche le ostruzioni esterne presenti nel contesto urbano, data l'accentuata prossimità e l'altezza degli edifici che circondano la chiesa. La calibrazione è stata effettuata in condizioni di: sola luce naturale e cielo mediamente coperto, stabilità; sola luce artificiale; luce dovuta alla combinazione tra naturale e artificiale. La simulazione della luce naturale è la più complessa, perché legata alla variabilità delle condizioni del cielo e conseguentemente della radiazione solare, specie alle medie-basse latitudini come quella di Firenze che spesso si aggirano su tempi dell'ordine del minuto.

Il controllo tra queste due condizioni di luce (artificiale e la loro combinazione) è stato condotto successivamente, nelle fasi di modellazione e simulazione transiente, che hanno mostrato un errore medio più basso del 5% che è assolutamente accettabile. Tale valore è dovuto alla mancanza di informazioni e schede tecniche dei corpi illuminanti presenti in loco, che hanno reso necessaria l'adozione di apparecchi per le simulazioni che hanno dato gli stessi risultati di illuminamento rilevati durante la campagna di misure. Nello specifico, le lampade che sono state scelte per l'analisi e la modellazione della luce artificiale esistente sono state selezionate in

modo che si avvicinassero il più possibile alle prestazioni e caratteristiche di quelle di una lampadina incandescente a filamento di tungsteno, fermo restando che per la Direttiva Europea contro il mercurio sono sparite dal mercato dal 2006. L'insieme delle operazioni sopracitate hanno reso possibile la validazione del modello illuminotecnico, verificando la robustezza e l'attendibilità dei risultati.

Risultati

La simulazione della luce naturale è risultata la più complessa, perché legata alla variabilità delle condizioni del cielo e conseguentemente della radiazione solare, specie alle medie-basse latitudini come quella di Firenze che spesso si aggirano su tempi dell'ordine del minuto.

Dai risultati delle simulazioni allo stato di fatto della luce artificiale e della sua combinazione con quella naturale è stato ottenuto un errore medio più basso del 5%, assolutamente accettabile, dovuto all'assenza di informazioni sui corpi illuminanti esistenti, e alla conseguente adozione di apparecchi che hanno dato gli stessi risultati di illuminamento rilevati durante la campagna di misure.

È stato possibile individuare alcune scelte illuminotecniche di compromesso, in condizioni cautelative, tra la luce naturale dovuta alla posizione del Sole, cioè il valore dell'azimut e dell'altezza sul piano orizzontale, e la luce artificiale il cui utilizzo è sempre legato alle funzioni liturgiche della chiesa che ovviamente possono essere condotte in assenza di Sole o in condizioni di cielo completamente coperto. Sono dunque risultate evidenti le condizioni in cui è necessaria l'integrazione con la luce artificiale nell'ottica di un progetto di nuova luce e con la luce, per qualità di illuminazione e visione. Lo studio del clima luminoso esistente ha permesso di individuare due proposte progettuali: la prima poggia sulla funzione museale-espositiva, quindi di ricostruzione storico-filologica della chiesa, delle opere e del contesto ambientale e urbano circostante; la seconda poggia sulla funzione cerimoniale-liturgica, il quid cioè il vero significato della chiesa e della sua funzione. A titolo esemplificativo in figura 12 è mostrata la mappa dell'andamento dell'illuminamento in falsi colori del clima luminoso esistente, il giorno 21 dicembre, alle ore 14, in condizioni di cielo sereno.

Proposta di nuova luce

L'analisi del clima luminoso esistente, del contesto urbano paesaggistico in cui la chiesa è inserita, le sue stesse trasformazioni storiche, e l'individuazione delle due fondamentali funzioni, liturgica-cerimoniale e museale-espositiva, hanno portato a un progetto di luce di qualità, per la qualità della visione e percezione. La mancanza di specifiche normative sui livelli di illuminamento di una chiesa ha reso necessaria l'individuazione di valori indicativi in linea con gli indirizzi della Conferenza Episcopale Italiana (CEI) e le prescrizioni della Normativa europea, in ambito illuminotecnico, riferite ai musei. Diverso è stato per le opere d'arte, per le quali sono stati adottati i valori imposti dall'Atto di indirizzo del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC, 1998). Il primo passo è stato quindi considerare la dismissione dei vecchi apparecchi presenti in chiesa, alla luce delle loro scarse prestazioni, verificate durante le campagne di misura sperimentali e successivamente nel modello tridimensionale dello stato di fatto. Si è resa dunque necessaria la sostituzione delle lampade fluorescenti, dannose per l'ambiente, con lampade LED, perché come mostrano gli studi di letteratura in materia, hanno maggiore efficienza energetica e luminosa (58-173 lm/W rispetto ai 40-100 lm/W delle FL), minore consumo energetico, emissione di una quantità inferiore di gas ad effetto serra, oltre a non necessitare di manutenzioni

Scenario	Rapporti E calcolati		Rapporti E MiBAC	
	$E_{\min}/E_{\text{med}}$	$E_{\max}/E_{\min}$	$E_{\min}/E_{\text{med}}$	$E_{\max}/E_{\min}$
Scenario museale espositivo				
21 dic ore 14				
Cielo sereno – Zona centrale	0,6	2,7		
Cielo sereno – Quadri a ovest	0,8	2,7		
Cielo sereno – Quadri a est	0,8	1,8		
Cielo coperto – Zona centrale	0,8	1,7		
Cielo coperto – Quadri a ovest	0,7	3,2	> 0,5	< 5
Cielo coperto – Quadri a est	0,7	2,5		
Scenario liturgico				
21 dic ore 11				
Cielo coperto – Zona centrale	0,8	1,3		
21 giu ore 18				
Cielo sereno – Zona centrale	0,9	1,3		

frequenti, con durata in ore di vita apprezzabile (20-50 103 h contro le 6-20 103 h delle lampade fluorescenti).

La nuova illuminazione, dinamica, per la chiesa di San Niccolò Oltrarno si basa sull'integrazione della luce naturale, sempre garantita, quando presente, all'interno della chiesa, con quella artificiale, considerate le condizioni di variabilità esterne del cielo, dedotte dai dati climatici, di luminanza e di intensità di illuminazione di quest'ultimo nelle diverse condizioni e stagioni, forniti dalla Banca dati SIR Toscana⁶.

Controllo della luce naturale

Il controllo della luce naturale è una questione molto complessa ma che, se raggiunto, porta a benefici in termini di efficacia dell'illuminazione, minor impatti energetici e ambientali, maggiore comfort visivo. Il controllo della luce naturale proveniente dalle aperture è stato ottenuto progettando per ogni vetrata un pacchetto tecnologico che rispondesse a requisiti illuminotecnici ottimali, costituito di una pellicola adesiva, realizzata con prismi nano-micro-strutturati (principalmente di acrilico o policarbonato). I materiali e le pellicole scelte sono di produzione industriale quindi di facile reperimento, ma anche provvisti delle schede tecniche che forniscono i dati di interesse. La pellicola adesiva è stata utilizzata per reindirizzare la luce naturale verso il soffitto e diffonderla nella navata della chiesa, aumentando il livello di illuminamento di base ma garantendo al contempo l'uniformità a garanzia della mancanza di abbagliamenti diretti e di velo. In particolare, poiché nel pacchetto tecnologico è prevista una *matte surface*, cioè un materiale avente contemporaneamente caratteristiche riflettenti e diffondenti, posta come rivestimento dello strombo delle finestre, la distribuzione omogenea e uniforme della luce naturale, enfatizzando comunque le

Tab. 5
Uniformità di illuminamento

⁶ Le informazioni sono state estrapolate da REGIONE TOSCANA, Banca dati del Servizio Idrologico Regionale (SIR-Toscana), doi: <<https://www.sir.toscana.it/>>.

caratteristiche direzionali del fascio, è sempre garantita in diverse condizioni di cielo. Questa soluzione non solo presenta costi contenuti nelle fasi di produzione e applicazione, che avviene dall'interno e non richiede manutenzione (*3M Daylight Redirecting Film*) ma permette anche di mantenere la direzionalità della luce, necessaria sia per la funzione museale-espositiva che soprattutto, per quella liturgica. Il controllo della luce consente di intervenire sulla sua diffusione e distribuzione che molto probabilmente si sarebbe raggiunta con le finestre oggi chiuse. Testimonianza di questo è il fatto che la presenza in passato di quello che a tutti gli effetti sembra un chiostro, permetteva l'ingresso della luce dal lato orientale della chiesa, che era quindi più equilibrata, bilanciata, equamente distribuita e arrivava maggiormente in profondità. Il pacchetto tecnologico è stato quindi costruito e simulato in funzione del comportamento dei diversi materiali al variare dell'angolo di incidenza della radiazione solare, dell'entità del flusso luminoso per le diverse ore del giorno (cioè per tutti i giorni tipo) in differenti condizioni di cielo, testando e confrontando molti tipi di materiali e pellicole disponibili sul mercato, in funzione degli obiettivi voluti. Per poter simulare la proposta di nuova luce considerando questa soluzione di controllo di quella naturale, è stato necessario prototipare il pacchetto finestra sopra descritto, attraverso uno studio ad hoc con un software dedicato, realizzando le condizioni al contorno, con una sorgente di luce ad incandescenza da circa 100 Watt presa come riferimento standard per l'indice di resa cromatica. Ciò ha permesso di apporre sul vetro esistente la pellicola e la *matte surface*, rendendo questa una soluzione standardizzata e prototipale di riferimento, in quanto anche al vetro può essere associato un indice di resa cromatica (figg. 13, 14).

Controllo e progettazione della luce artificiale

La progettazione di luce di qualità attraverso la combinazione ottimale di luce naturale e con luce artificiale è stata realizzata controllando lo spettro di emissione, cioè il colore della luce e la temperatura di colore in funzione del colore delle superfici dei materiali e delle superfici nonché degli effetti ottici e termici/radianti. Tutti i materiali e le superfici sono stati identificati per caratteristiche ottiche fotometriche e colorimetriche così come le sorgenti di luce artificiale sono state selezionate secondo questi parametri, parimenti ai materiali del pacchetto finestra fortemente tecnologico. Il progetto di nuova luce ha implicato la dismissione dei vecchi apparecchi presenti in chiesa, date le loro scarse prestazioni emerse durante la campagna di misure sperimentali e dalle simulazioni del clima luminoso esistente, e la loro sostituzione integrale con LED costituiti di materiali semi-conduttori di altissima qualità.

Il progetto illuminotecnico della parte centrale della chiesa ha previsto l'utilizzo di apparecchi aventi ottiche e caratteristiche tecniche differenti e specifiche per generare i due diversi scenari prestabiliti, controllati per mezzo dell'implementazione dei sistemi DALI e COB, con cui far variare lo spettro di emissione e la temperatura di colore delle sorgenti in relazione al colore delle superfici e dei materiali e all'oggetto da illuminare nello scenario, per raggiungere la combinazione ottimale di luce naturale e con luce artificiale senza bisogno della presenza di operatori specializzati.

Sono state individuate due tipologie di illuminazione: di base e d'accento. La prima, per illuminare l'ambiente ai sensi della Normativa per la visibilità in chiesa (UNI EN, CEI, CIE), è stata regolata e controllata; la seconda, anch'essa regolata, controllata e integrata a quella di base in relazione all'ora del giorno, il periodo dell'anno e all'attività svolte, per le opere d'arte e i manufatti legati alla liturgia esposti in chiesa, con riferimento agli indirizzi per la conservazione e la tutela preventiva indicati dal MiBAC. È stato condotto lo studio per il corretto posizionamento dei corpi illuminanti,

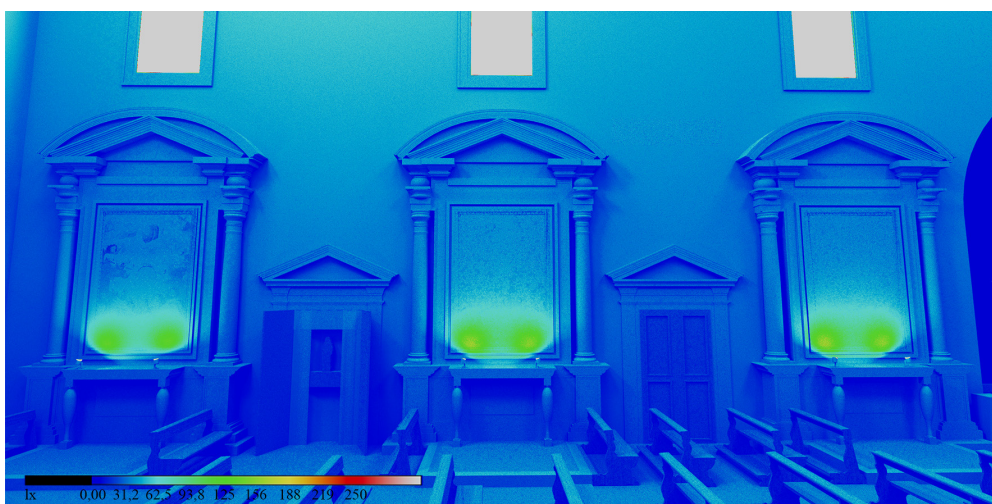


Fig. 17
Mappa in falsi colori dei
valori di illuminamento
scenario museale, altari laterali
a ovest: 21 dicembre ore
14:00 - cielo sereno. Mappa
realizzata dagli autori.

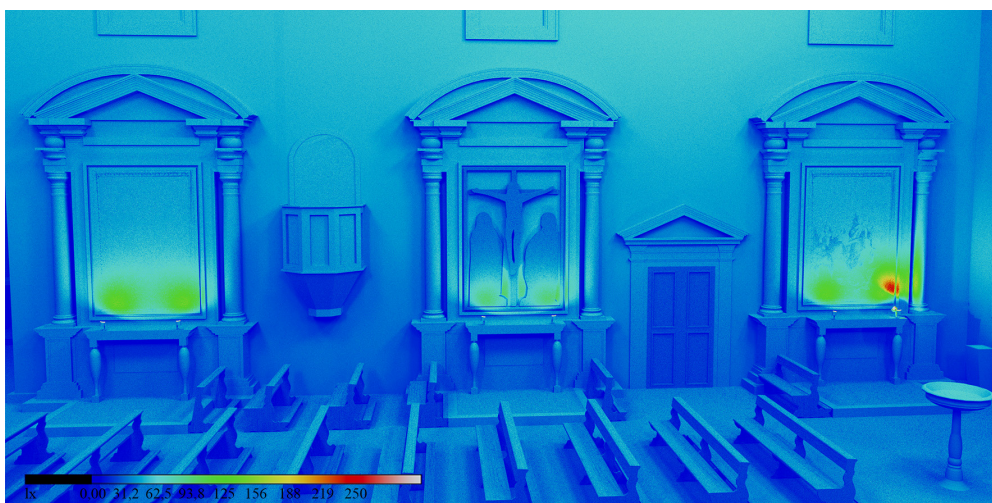


Fig. 18
Mappa in falsi colori dei
valori di illuminamento
scenario museale, altari
lateral est: 21 dicembre ore
14:00 - cielo sereno. Mappa
realizzata dagli autori.

per l'angolo di puntamento, l'apertura del fascio luminoso e l'integrazione delle curve fotometriche, in modo da evitare effetti di abbagliamento e garantendo l'adeguato livello di illuminamento, differente in base alla zona della chiesa. Lo studio è stato affiancato dall'analisi della combinazione del colore della luce risultante, o solo da sorgenti artificiali, o da luce naturale, o dal loro mix, in relazione al colore dominante delle superfici policrome.

La luce è stata gestita in maniera sincrona e combinata, con apparecchi CORO grande a fascio medio e ampio per la luce di base, posizionati sulle capriate a gruppi di cinque; e CORO piccolo per la luce d'accento, posti sulle mense degli altari vasariani a coppie, sfruttando in entrambi i casi l'impianto elettrico esistente. Volendo fornire qualche dato specifico, il totale di apparecchi è 145, il valore medio di apertura del fascio è 65 gradi rispetto al pavimento, l'apertura in senso stretto è 45 gradi, con angolo di puntamento medio di 41 gradi. La tab. 4 mostra numero, distribuzione e tipologia, nonché caratteristiche tecniche dei corpi illuminanti LED scelti per il progetto.

Per i dipinti è stata individuata una soluzione ad hoc per la loro conservazione, tutela e protezione da fotodegrado e processi fotochimici, che coniugasse le indicazioni fornite dal MiBAC e le esigenze dei visitatori per la fruizione delle opere. È

stato pertanto condotto lo studio per la corretta illuminazione dei quadri dal basso, posizionando e regolando la coppia di apparecchi con riferimento alle dimensioni del dipinto, al fine di evitare la proiezione di ombre sull'altare e sul quadro stesso, generate dalla cornice. In particolare, preme evidenziare come con la soluzione illuminotecnica proposta gli obiettivi di qualità della visione e percezione, dunque di migliore leggibilità e godimento del bene, nonché di conservazione delle opere sono stati completamente ottenuti.

L'affresco quattrocentesco è stato invece illuminato in maniera esclusiva con un unico apparecchio CORO piccolo, posto sulla mensa dell'altare di fronte all'opera e con raggio di puntamento diretto verso quello a lato di essa.

Per quanto riguarda i valori di emissione del flusso luminoso, le opere della zona centrale, fatta eccezione per l'affresco, sono state enfatizzate con circa lo stesso livello di lumen; i dipinti presenti nelle cappelle laterali del presbiterio, invece, non essendo già in parte illuminate dalla luce di base proveniente dalle capriate, hanno necessitato di valori più alti e di un'apertura del fascio minore, pur mantenendo invariato l'angolo di puntamento.

Il progetto di luce di qualità ha previsto anche il controllo della radiazione solare restituita all'interno dal rosone, attraverso l'installazione di vetro elettrocromico appoggiato a quello policromo, capace di diffondere la luce durante le ore notturne, ed essere sotto tensione quando colpito dal Sole diretto. Inoltre, al fine di far emergere il valore storico, artistico, architettonico, culturale e sociale di questo particolare bene del Cultural Heritage, è stato retroilluminato dall'interno il rosone con un apparecchio LED, direzionato verso la collina di Monte alle Croci, e programmato per accendersi negli orari definiti dall'azienda SILFI per l'illuminazione esterna notturna di questa area del centro storico. Più nello specifico, le simulazioni per la definizione delle condizioni luminose esistenti sono state precedute dalla calibrazione del modello illuminotecnico facendo riferimento a tutta la normativa per l'inquinamento luminoso e per l'illuminazione esterna notturna delle città storiche e delle opere d'arte, oltre che considerando la luce emessa dal proiettore che illumina la facciata della chiesa, gestito dalla SILFI. Successivamente sono state condotte le simulazioni del progetto di luce per il rosone, verificando di rimanere al di sotto dei valori massimi di illuminamento sulle facciate degli edifici adiacenti.

Il valore storico-filologico della chiesa e dei manufatti in essa contenuti è stato recuperato attraverso il progetto di luce di qualità: qualunque proposta progettuale sia di tipo architettonico che distributivo-funzionale è resa impraticabile dalla complessità delle procedure richieste per la sua approvazione (CEI, 1996), che comprendono anche la richiesta del parere della Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio e lo svolgimento della Consulta dell'Arte sacra da parte della Diocesi.

La proposta di nuova luce e di qualità ha tenuto conto con un progetto di larga massima, dell'illuminazione delle cappelle laterali che individuano il transetto, in modo prospettico. Ovvero, implementando l'approccio metodologico proposto che si basa sull'integrazione e combinazione ottimale di luce naturale con quella artificiale, sulla qualità della luce e della visione e percezione, su una illuminazione che recupera il valore storico-filologico della chiesa e delle sue opere, l'illuminazione dei due ambienti verrebbe realizzata con le stesse soluzioni adottate nella parte centrale della chiesa, sia per quanto riguarda l'impiego del pacchetto tecnologico progettato come sopra detto, applicato alla vetrata gotica, sia per l'intensità della luce, la distribuzione uniforme dei livelli di illuminamento ottenuti per la luce di base e per quella d'accento per le due funzioni museale-espositiva e litur-

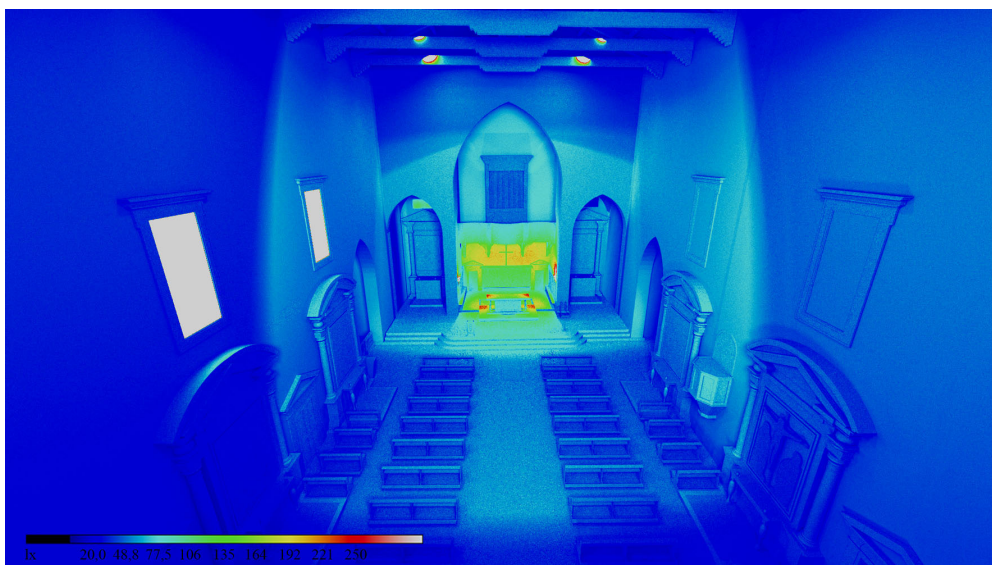


Fig. 19
Mappa in falsi colori dei valori di illuminamento scenario liturgico, zona centrale della chiesa: 21 dicembre ore 11:00 - cielo coperto. Mappa realizzata dagli autori.

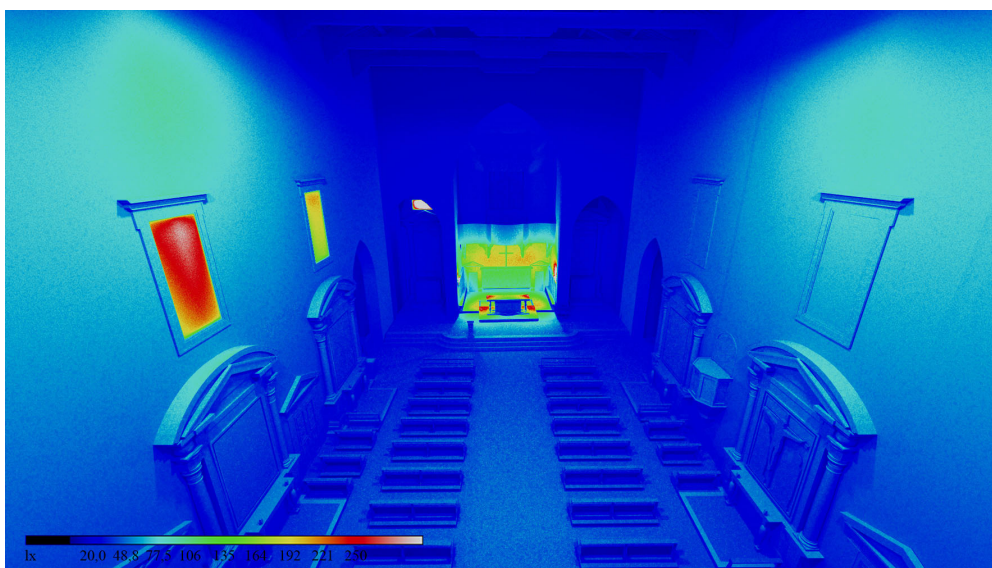


Fig. 20
Mappa in falsi colori dei valori di illuminamento scenario liturgico, zona centrale della chiesa: 21 giugno ore 18:00 - cielo sereno. Mappa realizzata dagli autori.

gica-cerimoniale. In particolare, l'altare della cappella Guardini, a sinistra del transetto, verrebbe illuminato con le stesse soluzioni proposte per quello principale; mentre quello della cappella Uguccioni, dal lato opposto del transetto, verrebbe esaltato come suggerito per gli altari laterali presenti lungo la navata.

Il progetto di nuova luce ha previsto, come mezzo per la rilettura storica filologica della chiesa, totem digitali, prendendo a riferimento quelli realizzati per il Salone dei Cinquecento, nei quali sarà possibile avere accesso i testi originali e reperti fotografici legati alle trasformazioni della chiesa e dei suoi manufatti nell'arco dei secoli. Inoltre, rispondono in maniera ottimale alle esigenze cerimoniali e liturgiche di qualsiasi chiesa, in quanto i totem sono facilmente e diversamente collocabili, di facile rimozione e manutenzione, utilizzano qualora possibile la rete wireless, ed alimentati elettricamente si accendono al passaggio e richiesta del visitatore con il touch-screen, evitando ogni interferenza e disturbo per i fedeli raccolti in preghiera.



Fig. 21
Render scenario museale, altari
lateralali a ovest: 21 dicembre
ore 14:00 - cielo sereno.
Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.

Risultati e discussione

In questa sezione vengono mostrati i risultati delle simulazioni transienti ottenuti per il progetto di nuova luce, come restituzioni fotorealistiche (figg. 15, 16). Da notare l'uniformità dell'illuminazione ottenuta attraverso il rispettivo controllo di luce naturale ed artificiale.

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni della proposta progettuale per i due differenti scenari, la luce è luce di qualità, combinazione ottimale e controllata/regolata tra naturale e artificiale, in tutte le condizioni naturali al contorno e per entrambi gli scenari proposti. Infatti, permette di avere una distribuzione omogenea e uniforme dell'illuminamento garantendo una visione sia di base che di accento nel rispetto dello human centric lighting tutelando i beni e le opere. D'altra parte, lo studio della distribuzione dell'intensità luminosa in ambiente in tutte le condizioni e per tutti gli scenari progettuali, conferma l'equilibrio delle luminanze e l'assenza di fenomeni di abbagliamento diretto, indiretto nonché di velo.

Volendo prendere ad esempio il caso dello scenario museale espositivo del 21 dicembre alle ore 14:00 in condizioni di cielo sereno, e questo è confermato per tutte le simulazioni svolte, il valore medio di illuminamento al livello del pavimento della navata centrale, è 72 lux, e, rispettivamente, 48 lux e 60 lux nelle navate laterali occidentale e orientale della chiesa. Il valore massimo è dell'ordine di 96 lux, e minimo intorno ai 35 lux. Come riportato in tab. 5 i rapporti dei valori di illuminamento risultano rientrare nei limiti definiti dall'Atto di indirizzo redatto dal MiBAC per la soddisfazione delle esigenze di conservazione, tutela preventiva e fruizione dei manufatti, determinando l'uniforme distribuzione dell'illuminamento sul piano orizzontale della navata della chiesa (tab. 5).

Ciò permette di assicurare per l'iter espositivo, "le esigenze fondamentali di luminosità" definite dalla Commissione Episcopale italiana (CEI, 1993).

I valori di illuminamento e la loro distribuzione sui quadri cinquecenteschi nelle condizioni studiate nello scenario museale espositivo sono stati controllati facen-



do riferimento ai limiti definiti per categoria di fotosensibilità. I manufatti della chiesa sono compresi nella categoria denominata “Media”, associata a un valore di illuminamento massimo di 150 lux (MiBAC, 1998).

A titolo esemplificativo (figg. 17, 18), al giorno 21 dicembre ore 14:00, in condizioni di cielo sereno, per lo scenario museale espositivo il valore di illuminamento massimo sulle opere della parete a ovest è intorno a 135 lux, il minimo a circa 50 lux, e il valor medio a 62 lux, mentre su quelli della parete a est rispettivamente 96 lux, 52 lux e 61 lux.

Dai loro rapporti emerge il totale rispetto della normativa per la conservazione, tutela e fruizione dei manufatti artistici. Rispetto ai requisiti di quest’ultima è stata poi calcolata la dose di luce annuale sui quadri degli altari in base alla categoria di fotosensibilità, considerando un valore medio di esposizione annuale, comprendente entrambi gli scenari e le due tipologie di illuminazione, di 100 lux. Si è ottenuto un valore di 164,4 lux ora/anno, rispetto ai 500 lux ora/anno stabiliti per opere di categoria “Media” dall’Atto di indirizzo del MiBAC (MiBAC, 1998), comprovando l’approccio cautelativo adottato per la regolazione e il funzionamento degli apparecchi di illuminazione dei quadri.

Per la funzione cerimoniale-liturgica, il progetto di luce ha previsto una differenza, dal punto di vista visuo-percettivo, tra la zona dell’altare e quella occupata dai fedeli, in riferimento alla norma UNI EN 12464-1:2011 e alla differenza media di illuminamento indicata nella norma UNI EN 12665:2018.

Nell’area delle sedute è stato infatti mantenuto un illuminamento medio dell’ordine di 50 lux, tenendo di conto il progetto illuminotecnico per il Salone dei Cinquecento; mentre nell’area presbiteriale è stato raggiunto un valore medio di circa 150 lux con luce d’accento, rispettando le prescrizioni dell’Atto di indirizzo del MiBAC (figg. 19 e 20). La restituzione fotorealistica di figura 21 mostra il risultato ottenuto per lo scenario museale con vista verso gli altari laterali ad ovest per il 21 dicembre alle ore 14:00, in condizioni di cielo sereno.

Fig. 22
Render scenario museale: 21
dicembre ore 14 - cielo sereno.
Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.



Fig. 23
Render scenario museale: 21
dicembre ore 14 - cielo coperto.
Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.

È stato calcolato il Light Energy Numeric Indicator (LENI) con riferimento alla norma UNI EN 15193-1:2021, tenendo conto in condizioni cautelative del funzionamento di tutti gli apparecchi LED a regime (al 100% del flusso emesso) e della massima utilizzazione della chiesa. Per lo scenario liturgico cerimoniale, con presenza costante nel tempo delle funzioni e la minore stocasticità degli eventi, e per il periodo in cui, nonostante la presenza della luce naturale, è spesso richiesta l'accensione di tutto il sistema di illuminazione artificiale, il valore ottenuto è pari a 1,31 kWh/m² anno. Questo valore è molto basso e denota come l'integrazione e la combinazione ottimale della luce naturale mantenuta nella chiesa e controllata per aspetti termici e luminosi, permetta di avere un consumo energetico contenuto, sebbene siano necessari 114 corpi LED illuminanti (come riportato sopra in tab.4 per la loro ripartizione e collocazione) e di ottenere luce di qualità per la qualità della visione e dell'espressione delle forme liturgiche. Considerando lo scenario museale/espositivo, tenendo conto in condizioni cautelative del funzionamento di tutti gli apparecchi LED a regime (al 100% del flusso emesso) e del massimo afflusso di visitatori nella chiesa, l'indice LENI è pari a 0,264 kWh/m² anno. Anche in questa condizione il valore è molto basso a riprova di quanto sopra descritto tenendo conto anche del fatto che il numero totale dei corpi LED illuminanti è 133, quindi superiore a quelli previsti per lo scenario liturgico/cerimoniale.

Dal punto di vista economico monetario il costo complessivo dei soli corpi illuminanti, per le suddette condizioni, si aggira sui 39,46k€ per lo scenario liturgico-cerimoniale, mentre per lo scenario museale-espositivo è di 44 k€. Anche per questo scenario l'obiettivo del progetto per luce di qualità finalizzata al recupero della memoria storica, del valore storico-architettonico nonché delle possibilità di lettura filologica dei beni culturali (edificio-chiesa e opere d'arte) attraverso gli "occhi della mente" che oggi ci possiamo permettere è raggiunto come mostrano le restituzioni fotorealistiche ottenute, a cui si tratterà di aggiungere i cablaggi dedicati e gli inverter, nonché i sistemi COB e DALI.



È evidente che l'investimento richiesto è comunque significativo, ma a fronte del fatto che verrebbe utilizzata la rete elettrica presente e le canaline connesse, considerato del tutto trascurabile il costo di manutenzione e gestione, risulta accettabile specie nella prospettiva di restituire il valore storico-culturale alla chiesa fornendole una luce di qualità. Bisogna inoltre tener presente che il calcolo è stato fatto in condizioni cautelative trascurando la regolazione dei flussi luminosi nonché delle specifiche differenze tra giorni feriali e festivi in termini di affluenza e partecipazione dei fedeli per i quali è invece prevista l'illuminazione solo delle zone occupate e quindi la sola illuminazione delle file di sedute in prossimità del presbiterio.

Conclusioni

Con questo lavoro si è voluto evidenziare come la luce oggi assuma una sinergia particolare insieme agli elementi fondamentali dell'iter progettuale. Citando Louis Kahn: "La struttura determina la luce", è tanto più evidente e importante proprio questo legame. In una battuta si potrebbe dire che gli edifici formano luce, e al contempo la luce forma gli edifici....

Infatti la progettazione della luce nelle chiese moderne o storiche/antiche richiede la messa in atto di un processo di studio, di osservazione e interpretazione, e di composizione/integrazione realizzato con una corretta illuminazione dello spazio architettonico e di quello liturgico, privilegiando comunque la luce naturale.

Anche in assenza di rituali o cerimonie, si è voluto che la luce evocasse il significato simbolico del luogo, diventando un archetipo simbolico, attraverso l'illuminazione del rosone di sera, visibile dall'esterno come richiamo, significante del valore del luogo nel tempo e nel presente.

La nuova luce per la chiesa di San Niccolò Oltrarno attraverso l'enfatizzazione di quella naturale e la combinazione dinamica adattiva con quella artificiale (museale-espositiva e liturgica-cerimoniale), è capace di trasformare la visione in percezione, le immagini in esperienze vissute appartenenti alla nostra storia, le sensazioni in

Fig. 24
Render scenario liturgico: 21 dicembre ore 11 – cielo coperto.
Immagine fotorealistica realizzata dagli autori.



Fig. 25
Vista esterna notturna del
rosone retroilluminato.
Immagine fotorealistica
realizzata dagli autori.

stimoli retinici impressi nella memoria anterograda, le conoscenze e le esperienze cinestetiche in emozioni del tutto nuove... (figg. 22-25).

Ma luce di qualità come è stata pensata e progettata, necessita energia di qualità. Luce di qualità significa qualità della visione e della percezione, ma anche consumo energetico: sia esterno come energia elettrica assorbita ed energia dovuta alla radiazione solare; sia un consumo energetico interno, che corrisponde a quello della mente, perché vedere bene significa consumare molta energia. Solo luce di qualità permette la lettura storico-filologica dei beni culturali, enfatizzandone il significato e il valore. Essa richiede energia mentale/cerebrale perché influenza in modo incisivo la percezione del colore delle superfici e del colore della stessa luce, fornisce la misura-dimensione dello spazio e le forme architettoniche, come luce di qualità effettiva ed effettuale suscita evocazioni, emozioni, distanza e temporalità, consente di dare forma e concretezza alle idee, alla conoscenza, di osservare con perspicuità, di rilevare regolarità, i colori e loro effettualità biologica e psicologica, le tonalità, le forme e i segni-simboli, di disegnare la conoscenza. Richiede energia naturale-fisica perché la presenza della luce naturale è fondamentale, ma il controllo che richiede, specie sul lato termico oltre che luminoso, necessita l'impiego di materiali e tecnologie innovativi. Del resto la combinazione ottimale dinamica e adattiva, tra luce naturale e artificiale, richiede non solo nuovi sistemi di illuminazione con LED, di materiali nano-conduttori avanzati, di elevata qualità per caratteristiche fotometriche e ottiche, ma un complesso sistema di regolazione per una rete IoT che implementa il progetto illuminotecnico attraverso la connessione dei sistemi DALI e i COB dei singoli corpi illuminanti.

Bibliografia

- BALOCCHIO C., CARBONE S. 2022, *Sustainable Well-Lighting Design for Cultural Heritage. Natural Light Control by Biological Elements and Digital Technologies*, «Communications in Computer and Information Science», 1645 CCIS, Scopus ID 2-s2.0-85142768127
- BALOCCHIO C., CECCHI M. 2020, *Adaptive reuse, refurbishment and conservative rehabilitation of Cultural Heritage by means of Quality and Energy Sustainable Lighting*, «Int. Journal of Physics: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.» 949 012046. WOS:000647639100049
- BALOCCHIO C., LECCESE F., VOLANTE G., SALVADORI G. 2020, *Modelling Sustainable Lighting with Eyetracker and Spatial Syntax techniques*, «Int. Journal of Physics: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.» 949 012047. WOS:000647639100050
- BALOCCHIO C., VOLANTE G. 2019, *A Method for Sustainable Lighting, Preventive Conservation, Energy Design and Technology. Lighting a Historical Church Converted into a University Library*, «Sustainability», 11; doi:10.3390/sul1113145 WOS:000472632200150
- BALOCCHIO C., FARINI A., BALDANZI E., VOLANTE G. 2018, *Light, Information and Perception inside Historical Buildings. A Case Study*, «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering», vol. 364, 012007, doi:10.1088/1757-899X/364/1/012007
- BALOCCHIO C., VOLANTE G. 2018, *Lighting Design for Energy Sustainability, Information, and Perception. A Museum Environment as a Case Study*, «Sustainability Int. Journal», vol. 10; doi:10.3390/sul0051671
- SUMMA I. 2025, *Luce e illuminazione per un progetto di conservazione. La Chiesa di San Niccolò Oltrarno*, Tesi Magistrale in Architettura a Ciclo Unico, A.A. 2024-2025, Primo Relatore Prof. Carla Balocco, gli altri relatori: Prof. Giovanni Minutoli, Ing. Giacomo Pierucci, Arch. Massimo Iarussi, Università degli studi di Firenze, Corso di Laurea in Architettura.
- KELLER O. 2014, *Light – The Physics of the Photon*, Series in Optics and Optoelectronics, Taylor & Francis Inc.
- ROSSI E. 2023, *Le dimensioni dell'architettura*. Rubettino Editore, Roma.
- GIUSEFREDI G. 2015, *Manuale di Ottica*. Springer Ed.
- PALLADINO P., PICA L., TURRICI D. 2026, *La luce in architettura*. Magioli Editore, Collana Politecnica.
- Conferenza Episcopale Italiana 1993, *La progettazione di nuove chiese*. (Nota pastorale 31 marzo 1993)
- Commission internationale de l'éclairage (CIE) 1990, *On the deterioration of exhibited museum objects by optical radiation*, CIE Technical Collection, (CIE N.89/3:1990).
- Conferenza Episcopale Italiana 1992, *I Beni Culturali della Chiesa in Italia. Orientamenti*. (Nota pastorale 9 dicembre 1992)
- Conferenza Episcopale Italiana 1996, *L'adeguamento delle chiese secondo la riforma liturgica*. (Nota pastorale 31 maggio 1996)
- Ente Italiano di Normazione 2011, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*. (UNI EN 12464-1)
- Ente Italiano di Normazione 2018, *Luce e illuminazione - Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici*. (UNI EN 12665)
- Ente Italiano di Normazione 2021, *Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per l'illuminazione - Parte 1: Specificazioni, Modulo M9*. (UNI EN 15193-1)
- Ministero per i Beni e le Attività culturali 1998, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*. (D. Lgs. n.112/98 art. 150 comma 6)
- Ente Italiano di Normazione 2008, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno*. (UNI EN 12464-2:2008)
- Ente Italiano di Normazione 2016, *Luce e illuminazione - Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico*. (UNI 11630:2016)
- Ente Italiano di Normazione 2014, *Conservazione dei beni culturali - Linee guida e procedure per scegliere l'illuminazione adatta a esposizioni in ambienti interni*. (UNI CEN/TS 16163:2014)
- MISITI M. 2010, *Musei Illuminati. L'Uso dell'Energia nei Musei e nelle Aree Archeologiche*. V. 1 N. 3 (2010): Archeomatica 3-2010, doi: <https://doi.org/10.48258/arc.vli3.166>
- Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale 2024, *Piano di bacino stralcio Assetto Idrogeologico del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica*. (PAI dissesti).
- GIULIANI C.F. 1990, *L'edilizia nell'antichità*, Carocci editore, Roma, [1a ed.].
- CONTESSA M.P. 2013, *Monachesimo, istituzioni e società a Firenze nel pieno Medioevo. San Miniato al Monte e San Salvi fra XI e XIII secolo (primi decenni)*, Tesi di dottorato, Università degli Studi di Firenze; doi: <http://hdl.handle.net/2158/803875>
- CONTESSA M.P. 2021, *I primi due secoli della storia di San Miniato*. In SALVESTRINI F. (a cura di) *La Basilica di San Miniato al Monte di Firenze (1018-2018). Storia e documentazione*, Firenze University Press, pp. 85-100.
- FORTINO F., LAGHI L. 1982, *Lettura del tessuto urbano. Formazione e trasformazioni del borgo di San Niccolò*, in LAGHI A., DAMIANI G. (a cura di) *San Niccolò Oltrarno. Tessuto urbano* (Vol. II), Comune, assessorato alla Cultura, Firenze, pp. 27-50.
- GIANNELLI, F. 2014, *Relazione storico critica*, Archivio Storico della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato.
- LAGHI A. 1982, *La Chiesa cinquecentesca e il suo arredo: vicende e restauri*, in LAGHI A., DAMIANI G. (a cura di) *San Niccolò Oltrarno. La chiesa, una famiglia di antiquari* (Vol. I), Comune, Assessorato alla Cultura, Firenze, pp. 87-136.
- MORETTI I. 1972-1973, *La chiesa di San Niccolò Oltrarno*. Istituto professionale Leonardo da Vinci, Firenze.
- SERACINI M. 1999-2000, *Indagini finalizzate alla conoscenza dello stato di conservazione della Chiesa di S. Niccolò*, Corso di degrado e diagnostica dei materiali nell'edilizia storica, Facoltà di Architettura, Università degli studi di Firenze.
- SZNURA F. 1975, *L'espansione urbana di Firenze nel Dugento*, La nuova Italia, Firenze.
- ZAFFANELLI M.A. 1982, *Le strutture difensive del quartiere di S. Niccolò dal sec. XII al sec. XIX*, in LAGHI A., DAMIANI G. (a cura di) *San Niccolò Oltrarno. Tessuto urbano* (Vol. II), Comune, Assessorato alla Cultura, Firenze.
- ZERIAL E. 2015-2016, *Gli ammodernamenti a San Niccolò Oltrarno: un'ipotesi di intervento di Giorgio Vasari il Giovane*, Tesi di laurea, Università degli studi di Firenze, Corso di Laurea in Storia dell'Arte.
- VILLANI G., AQUILECCHIA G. 1979, *Cronica. Con le continuazioni di Matteo e Filippo*, Einaudi Editore, Torino.