

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettrotecnica



Tesi di laurea

Studio illuminotecnico del “Ciastel de Tor”

Relatore: Prof. Lorenzo Fellin

Studente: Klaus Mutschlechner, Matricola 545183

Anno Accademico 2009-2010

Alla mia famiglia

INDICE

<i>1. Introduzione</i>	5
1.1. <i>L'inquinamento luminoso</i>	6
1.2. <i>“Ciastel de Tor”</i>	7
1.2.1. <i>Castello</i>	7
1.2.2. <i>Museo</i>	8
<i>2. Uso e descrizione del calcolo illuminotecnico</i>	10
2.1. <i>Programma di calcolo</i>	10
2.2. <i>Sviluppo e costruzione tridimensionale del castello</i>	10
<i>3. L'illuminazione artificiale</i>	14
3.1. <i>Caratteristiche delle diverse sorgenti luminose</i>	14
3.2. <i>Caratteristiche dei corpi illuminanti</i>	17
3.3. <i>Fasi del progetto d'illuminazione artificiale</i>	18
<i>4. Criteri di progetto d'illuminazione esterna</i>	20
4.1. <i>Prima variante</i>	20
4.2. <i>Seconda variante</i>	26
4.3. <i>Distinta lampade</i>	32
<i>5. Pianificazione dell'illuminazione interna</i>	33
5.1. <i>Calcolo illuminotecnico del salotto al piano terra</i>	33
5.1.1. <i>Variante a lampade tradizionali</i>	35
5.1.2. <i>Variante a LED</i>	38
5.1.3. <i>Distinta lampade e conclusione</i>	41
5.2. <i>Calcolo illuminotecnico della stanza multimediale del primo piano</i>	43
5.2.1. <i>Variante a lampade tradizionali</i>	44
5.2.2. <i>Variante a LED</i>	48
5.2.3. <i>Distinta lampade e conclusione</i>	51

5.3. Sala d'esposizione del primo piano	53
5.3.1. Variante a lampade tradizionali.....	54
5.3.2. Variante a LED	58
5.3.3. Distinta lampade e conclusione.....	61
5.4. Calcolo illuminotecnico della stanza d'esposizione del secondo piano.....	63
5.4.1. Variante a lampade tradizionali.....	64
5.4.2. Variante a lampade a LED	67
5.4.3. Distinta lampade e conclusione.....	69
5.5. Calcolo illuminotecnico della stanza multimediale al secondo piano	72
5.5.1. Variante a lampade tradizionali.....	73
5.5.2. Variante a LED	76
5.5.3. Distinta lampade e conclusione.....	78
5.6. Calcolo illuminotecnico della torre	80
5.6.1. Variante a lampade tradizionali.....	81
5.6.2. Variante a LED	84
5.6.3. Distinta lampade e conclusione.....	87
6. Valutazioni.....	89
6.1. Valutazione energetica dell'illuminazione esterna	89
7. Conclusioni.....	96
8. Bibliografia e Sitografia	98

1. Introduzione

Il lavoro che presento nasce da una forte motivazione: riuscire a dare una risposta, dal punto di vista della pianificazione, ad un aspetto, quello dell'illuminazione che si sta evolvendo con grande rapidità; il risparmio energetico, il risparmio economico, la riduzione dell'inquinamento luminoso non sono fattori da trascurare. Da sempre, infatti, la luce riveste un ruolo fondamentale nella vita dell'uomo; una buona illuminazione valorizza e rende più concrete le cose, raggiunge i nostri sensi procurandoci certezza e conforto; una luce distribuita in modo appropriato valorizza i luoghi, i monumenti e gli elementi architettonici. La notte, inoltre, diventa sempre più momento di svago ed illuminare "bene" fornisce l'opportunità di realizzare architetture innovative e sperimentali, allo scopo di conferire risonanza e valore agli ambienti considerati. Per scegliere l'argomento della tesi è stato di enorme importanza il tirocinio svolto presso l'azienda Zumtobel. Durante questo periodo ho appreso come creare impianti d'illuminazione in diversi settori applicativi e per svolgere questo elaborato di tesi ho scelto di usare come ambiente di riferimento il "Ciastel de Tor", un castello che funge anche da museo.

Ciò che ha inoltre ispirato questo elaborato, è stata la curiosità di conoscere meglio un tema, quello dell'inquinamento luminoso, quanto mai d'attualità. La questione riguardante l'inquinamento luminoso è sviluppata nella parte iniziale dell'elaborato e durante la pianificazione delle varianti illuminotecniche ho sempre considerato l'argomento, cercando di pianificare diverse soluzioni che non creassero in alcun modo questo fenomeno. Uno degli obiettivi che ho cercato di centrare, è stato quello di avvicinarmi all'argomento, descrivendo l'inquinamento luminoso e spiegando i diversi motivi per cui nasce.

L'aver preso coscienza degli sprechi che caratterizzano il settore dell'illuminazione e allo stesso tempo delle intrinseche potenzialità dello stesso, mi ha consentito di affrontare lo step successivo: la ricerca di prodotti d'illuminazione di qualità che mettessero in risalto il castello e gli interni del museo e contemporaneamente consentissero di risparmiare sul piano energetico.

Nella prima variante illuminotecnica si sono usati e descritti apparecchi funzionanti con lampade "tradizionali" quindi ad incandescenza, fluorescenti, alogene ed a scarica; gli apparecchi scelti sono di ultima generazione e caratterizzati da un'altissima qualità tecnica ed estetica. Cercando di trovare un'alternativa illuminotecnica agli apparecchi di cui sopra, si è deciso di optare per modernissimi apparecchi a LED; questi hanno spalancato le porte a nuovi concetti illuminotecnici all'insegna della miniaturizzazione, della durata di vita, dell'efficienza e della sostenibilità. Oltre al loro principale odierno mestiere di 'spie' luminose, i LED stanno per diventare la tecnologia su cui si baseranno le lampadine del futuro. Esse consumeranno meno energia di tutte le altre, perché saranno cinque volte più efficaci nel trasformare la corrente elettrica in luce e dureranno molto: 50.000 ore o anche 100 mila in condizioni ottimali d'impiego. Esse consentono di risparmiare molta energia elettrica a parità di luce emessa rispetto a una normale lampada ad incandescenza ed hanno una durata 10 volte superiore. Queste ultime novità delle sorgenti luminose offrono livelli di rendimento sempre più elevati ed un'estrema precisione nell'indirizzamento del flusso luminoso grazie ad una serie di collimatori sempre più sofisticati. Le soluzioni basate sui LED offrono la possibilità di variare l'intensità luminosa e gli effetti cromatici, fondamentali per un'illuminazione dinamica sia in ambienti interni che in esterni.

In questo elaborato di tesi viene anche spiegato come, per mezzo di programmi di calcolo, si riesca a semplificare di molto il lavoro progettuale della creazione di impianti d'illuminazione, siano essi impianti per ambienti interni oppure superfici esterne; viene descritto con esattezza il software utilizzato ed accennato come utilizzarlo. Si è inoltre cercato di mettere a confronto le diverse varianti illuminotecniche proposte mostrando dopo il calcolo di ogni ambiente i risultati visivi e numerici ottenuti.

1.1. L'inquinamento luminoso

L'inquinamento luminoso è un'alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno provocata dall'immissione di luce artificiale. La luce artificiale inquina quando altera la quantità di luce naturale; la notte, infatti, non è completamente buia a causa di molteplici sorgenti di luce naturale, tra cui la ricombinazione atomica negli strati alti dell'atmosfera e la luce delle stelle. Si tratta di un vero e proprio inquinamento: un inquinamento della luce ma anche da luce. È facile rendersi conto di come la nostra sia una civiltà che fa dell'illuminazione selvaggia una sua caratteristica peculiare: sono molte ormai le immagini da satellite riprese durante le ore notturne che mostrano il nostro pianeta illuminato da una fitta trama di luci, le quali disegnano con grande fedeltà il profilo tecnologico delle nazioni mondiali: USA, Europa e Giappone, i cui abitanti costituiscono 1/4 della popolazione mondiale, consumano da soli 3/4 dell'energia che vediamo risplendere di notte. Non dimentichiamo poi gli incendi nelle foreste del Terzo Mondo così come quelli di gas naturale e petrolio nei paesi arabi e nel Sahara. L'energia dispersa (e quindi non utilizzata) sotto forma di luce ammonta a qualcosa come 500 milioni di Watt, una cifra che pare quasi impossibile.

Produce inquinamento luminoso, sia l'immissione diretta di flusso luminoso verso l'alto (tramite apparecchi mal progettati, mal costruiti o mal posizionati), sia la diffusione di flusso luminoso riflesso da superfici e oggetti illuminati con intensità eccessive, superiori a quanto necessario ad assicurare la funzionalità e la sicurezza di quanto illuminato.

L'inquinamento luminoso ha molteplici effetti negativi: il più clamoroso è l'aumento della luminosità del cielo notturno che, impedendo la visione delle stelle e degli altri corpi celesti, ci isola da quell'ambiente di cui noi, ed il nostro pianeta, siamo parte.

Il contenimento dell'inquinamento luminoso consiste nell'illuminare razionalmente senza disperdere luce verso l'alto, utilizzando impianti ed apparecchi correttamente progettati e montati e nel dosare la giusta quantità di luce in funzione del bisogno, senza costosi e dannosi eccessi. La luce delle stelle permette agli uomini di sperimentare e vivere la natura di notte; il crepuscolo e il buio modificano in modo naturale la percezione del paesaggio. Questa pluralità visiva stimola gli organi sensoriali e fornisce impressioni diverse da quelle ottenute alla luce del giorno. La luce artificiale, invece, distrae da questo fenomeno naturale e ostacola la nostra percezione, in questo modo può diventare un fattore di disturbo quando non ce l'aspettiamo o quando non la desideriamo.

In tutte le varianti di calcolo eseguite in questo elaborato di laurea si è tenuto conto dell'inquinamento luminoso sopra citato. In questo lavoro, infatti, si è cercato di ridurre il più possibile quella frazione rilevante

dell'energia elettrica impiegata per il funzionamento degli impianti di illuminazione esterna, che s'irradia direttamente nel cielo.

1.2. “Ciastel de Tor”

In questo elaborato di laurea si è deciso di eseguire i calcoli illuminotecnici del “Ciastel de Tor” situato a San Martino, nei pressi di San Vigilio di Marebbe, in Val Badia. La scelta è caduta su questo castello medievale per due semplici motivi: al suo interno è presente un museo che descrive la storia dei ladini, e perché mi ha affascinato la possibilità di creare un impianto illuminotecnico per una struttura alternativa come un castello. Le diversità architettoniche tra le varie stanze e le molteplici opere esposte all'interno degli ambienti espositivi sono state un'ulteriore stimolo per creare un'illuminazione adeguata alle caratteristiche del castello. Saranno in seguito descritte le particolarità che caratterizzano il castello e il museo.

1.2.1. Castello

Per molti secoli, fino al 1803, il territorio di San Martino in Badia è stato legato alle vicende storiche del Castello di Tor. Il castello fu costruito attorno al 1230 dai vescovi di Bressanone ed era principalmente costituito da una torre abitativa isolata ed articolata su tre piani. La torre venne documentata la prima volta nel 1290 come “turris in Gader” e rappresentava il feudo dei vescovi di Bressanone, il quale venne affidato sino al 1331 ai signori di Rodank-Schoneck. Costoro fecero costruire negli anni successivi un muro di cinta merlato attorno alla torre con camminamento di ronda e un nuovo edificio d'abitazione, di più modesta altezza rispetto alla torre. La torre, rialzata di due piani, era principalmente utilizzata come granaio. I signori di Rodank-Schoneck vendettero il castello, nella prima metà del 300 a Ranold di Theis. Nella seconda metà del 300 la giurisdizione passò nelle mani degli Stuck; poi di Ezelin di Wolkenstein e successivamente ai Signori di Villanders. Nel 1426 il vescovo Berthold di Bueckelsburg riuscì a riacquistarlo, e sottopose il giudizio direttamente all'amministrazione principesca - vescovile, insediando dei funzionari in qualità di amministratori e giudici. Dopo il 1580 ci furono ulteriori integrazioni: venne ampliato il palazzo romanico, il quale assunse la sua forma odierna, e vennero addossate al muro di cinta due torri circolari. Appena i vescovi di Bressanone persero il dominio secolare sul giudizio di “Torre Gader” nel 1803, il castello fu acquistato da due famiglie di San Martino. Nel 1998 il castello è passato alla Provincia Autonoma di Bolzano, che nel 2001 ha trasformato il castello in museo denominandolo “Museo Ladin”.

Il castello, la cui peculiarità significativa è quella di avere tutte le mura interamente in pietra, sovrasta il paese di San Martino ed è situato su un terreno in pendenza. La struttura è composta dalla torre principale, da due edifici secondari, all'interno dei quali sono situate le stanze del museo, e da due torri secondarie. La base del castello e il giardino interno occupano un'area totale di 550 m²; la torre è alta 25 m, l'edificio abitativo 14 m le mura hanno un'altezza pari a 4,5 m. I piani sono collegati da due scale che mettono in comunicazione le 26 stanze.

1.2.2. Museo

Dal 2001 all'interno del castello "Ciastel de Tor" si trova il famoso Museo Ladino. I reperti e i documenti esposti forniscono informazioni che permettono ai visitatori di avvicinarsi alla storia, alla lingua ladina, alle leggende, all'archeologia, al turismo ed anche all'artigianato delle valli dolomitiche ladine. Presso il cortile interno del castello si svolgono, inoltre, numerose manifestazioni culturali come concerti, seminari e mostre temporanee.

Nel cuore delle Dolomiti vivono i ladini dolomitici, un nucleo di oltre 30.000 persone la cui identità è caratterizzata da due importanti elementi: la lingua neolatina e lo straordinario paesaggio montuoso delle Alpi centrali. La consapevolezza della propria lingua rappresenta una parte importante dell'identità dei ladini; la lingua ladina deriva dal latino volgare innestato su elementi preromani. Nel medioevo ed in età moderna la posizione geografica delle valli ladine, delle quali fanno parte la Val Badia, la Val Gardena, e la Val di Fassa, influenzata dagli ambiti linguistici italiano e tedesco condiziona l'ulteriore sviluppo linguistico e determina le differenze tra le singole vallate. La lingua è mezzo di autoaffermazione verso l'esterno, nonché anello di congiunzione tra comunità valligiane. Dopo la prima guerra mondiale, la suddivisione delle valli ladine fra tre province Bolzano, Belluno e Trento, rallenta tale processo di avvicinamento. La suddivisione amministrativa permane immutata anche dopo la seconda guerra mondiale; a nulla valgono sforzi e proteste. Il riconoscimento dei ladini come gruppo etnico e linguistico autonomo si sviluppa di conseguenza in maniera differente in ciascuna delle tre province. È solo grazie alle caratteristiche fisiche delle Alpi che la lingua ladina, la più antica fra quelle parlate in regione, ha potuto mantenersi viva sino a oggi. Il percorso del "Museo Ladin" mette inoltre in luce alcune particolari circostanze della storia e della vita attuale dei ladini dolomitici, rimarcando le importanti influenze delle vicende interregionali sulla vita di questa popolazione ed evidenziando le correlazioni esistenti tra forme del paesaggio e modi di vita. Viene inoltre esposto l'argomento dell'archeologia dalla fine dell'epoca glaciale, circa 11.000 anni fa, e lo scioglimento delle croste di ghiaccio che coprirono le valli dolomitiche. A quest'evoluzione del territorio, seguirono le evoluzioni di fauna e flora ed iniziarono le prime e faticose fasi della colonizzazione. Durante il percorso itinerario viene anche descritto come viveva la popolazione retica delle vallate nell'età del ferro, ossia durante gli ultimi secoli avanti Cristo. Segue la spiegazione di come i soldati, mercanti, funzionari e sacerdoti romani portarono con sé svariate novità tecniche, economiche e culturali nella regione. Da scavi effettuati si deduce una cultura contadina che elevava luoghi di culto sulle cime delle montagne e utilizzava un alfabeto avente le proprie radici nella cultura etrusca. Il museo spiega e dimostra con esattezza come gli influssi romani penetrarono nelle valli dolomitiche in forme decisamente più graduali e meno sistematiche rispetto alle principali valli alpine. Vi sono anche esposti minerali dolomitici rinvenuti da alcuni membri di famiglie ladine che lavoravano come minatori nelle gallerie e presso le fonderie dell'epoca. L'ambientazione delle stanze del museo individua immediatamente le caratteristiche artigianali ed artistiche che ogni valle ladina sviluppa. Ampezzo si specializza nelle decorazioni e nei souvenir in filigrana d'argento destinati al nascente turismo. In Val Gardena, oltre alla scultura di stampo religioso, si sviluppa un'imponente industria del giocattolo, capace di collegare il lavoro casalingo ai mercati internazionali. Dalla Val di Fassa provengono ogni anno pittori itineranti che si recano nel Tirolo e nella Baviera meridionale, ove decorano, con i loro soggetti policromi, le facciate delle case, la Stube e i mobili. La Val Badia vende nella regione tirolese cassapanche dai caratteristici motivi decorativi. Ognuna delle ventisei stanze e la torre del "Museo Ladin" espone argomenti

di vario genere che caratterizzano la storia, la lingua, la geologia, l'architettura, il turismo e l'artigianato delle valli ladine.

Si richiede quindi trovare la soluzione più adatta per illuminare gli ambienti d'esposizione; è necessario che tutte le testimonianze e i reperti, collocati all'interno delle stanze del museo, che hanno caratterizzato i ladini e le loro vallate nei secoli, vengano messi in risalto da un'illuminazione adeguata. Per creare un illuminamento idoneo a questo scopo, è necessario scegliere gli apparecchi adatti e posizionarli nel posto giusto facendo un opportuno calcolo illuminotecnico.

2. Uso e descrizione del calcolo illuminotecnico

Eseguire calcoli illuminotecnici a mano è improponibile: la luce che raggiunge una superficie, non dipende solamente dalla lampada che è posta al di sopra di essa, ma è la sommatoria di tutti i raggi luminosi che vengono emessi dai corpi illuminanti e poi riflessi da tutti i materiali che si trovano all'interno di un ambiente. Per calcolare correttamente il valore di illuminamento di una superficie, dunque, bisogna conoscere come è fatto l'ambiente, di che materiale e di che colore sono fatte le pareti, i mobili, il soffitto e il pavimento. Il calcolo della luce indiretta infatti, è troppo impreciso se eseguito senza programma di calcolo, per essere accettabile in sede di progettazione. Esistono dei software di calcolo che permettono di studiare il comportamento della luce simulando, nella realtà virtuale, tutte le superfici con la loro capacità di riflettere la luce e, soprattutto, la caratteristica di emissione delle lampade prescelte.

2.1. Programma di calcolo

Per eseguire tutti i calcoli illuminotecnici del castello “Ciastel de Tor”, si è scelto di utilizzare il software di calcolo Dialux. Ho imparato ad usare e a lavorare con questo programma durante il mio tirocinio presso l'azienda Zumtobel. La versione del programma utilizzata è Dialux 4.4.

Dialux è il noto software tedesco per il calcolo professionale che permette di verificare in modo accurato tutti i parametri illuminotecnici. Considera ambienti interni/esterni, strade, gallerie fornendo risultati secondo le ultime normative di settore. Permette di importare disegni, applicare “textures” e lavorare con un'ampia libreria d'oggetti che possono essere modificati e salvati per un successivo riutilizzo. L'oggetto desiderato è visibile a colpo d'occhio e può essere agevolmente inserito nel progetto con la funzione "Drag and Drop" . Combinazioni di lampade e mobili possono essere posizionati con facilità nella direzione prescelta, semplificando il lavoro di costruzione di una scala o d'arredamento di un locale. Dialux soddisfa inoltre le richieste delle normative internazionali in merito alla progettazione d'impianti d'illuminazione e permette di posizionare contemporaneamente diverse aree di lavoro fornendo risultati chiari e precisi.

Si è inoltre usata l'applicazione POV-Ray di Dialux. Si tratta di un motore grafico che permette di ricreare fedelmente la geometria di qualsiasi ambiente esterno ed interno. Proprio per questo motivo POV-Ray, ha permesso anche durante i calcoli illuminotecnici di questo elaborato, di ricostruire l'immagine tridimensionale della struttura esterna e di tutte le stanze del castello.

2.2. Sviluppo e costruzione tridimensionale del castello

Il programma di calcolo Dialux permette di eseguire calcoli illuminotecnici sia di ambienti esterni che di ambienti interni; per effettuare il calcolo illuminotecnico di un edificio è necessario che la struttura reale del suddetto venga ricostruita fedelmente. In questo paragrafo verrà spiegato passo dopo passo come si è ricostruito tridimensionalmente il “Ciastel de Tor”, partendo dalla pianta in CAD e finendo con l'aggiunta di tutti i dettagli estetici.

- 1) Prima di iniziare con la vera e propria creazione del castello è necessario soffermarsi sulla scelta della corretta estensione della superficie sulla quale verrà in seguito implementato.

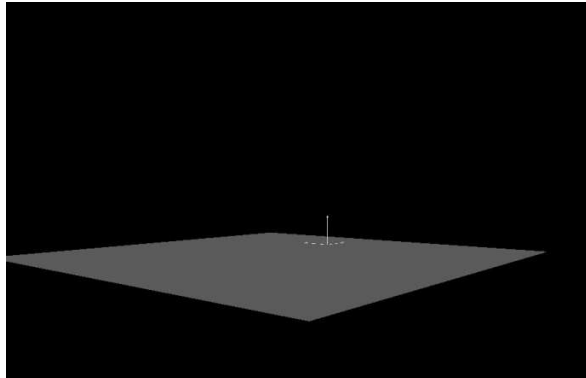


Figura 1: Superficie di disegno

- 2) La seconda fase della costruzione del castello consiste nel disegnare la struttura principale; il primo step prevede la costruzione della la torre centrale, in seguito l'attenzione sarà centrata sul resto dell'edificio abitabile attorno alla torre del castello ed infine verranno create le due torri secondarie, poste sugli angoli del versante ovest del castello. Dato che, sia la torre che le altre strutture principali dell'edificio presentano una geometria complessa è ancora più importante ricostruirle fedelmente poiché l'illuminazione finale delle facciate dipende soprattutto dalla geometria principale del castello.

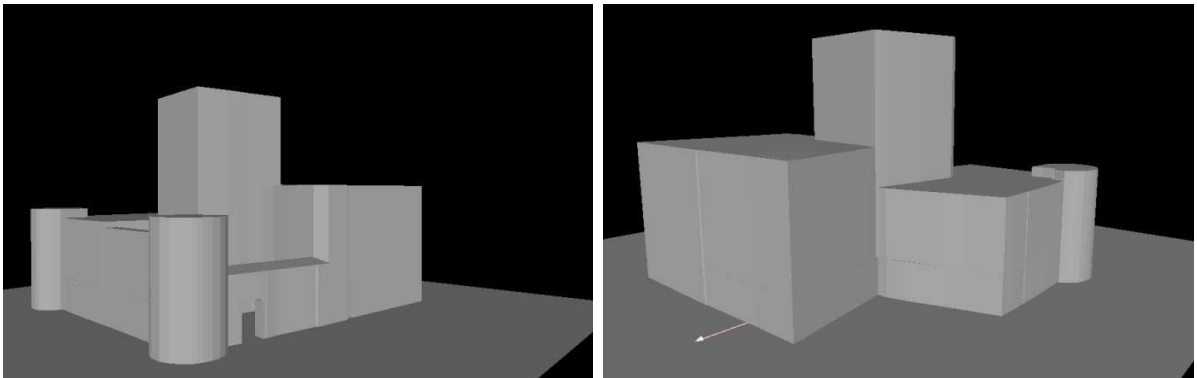


Figura 2: Costruzione della struttura principale del castello

- 3) Una volta costruite le mura principali si prosegue con la costruzione dei tetti sia della torre principale e delle mura secondarie. Il tetto della torre principale è semplice da modellare in quanto è di forma perfettamente quadrata. Successivamente si passa alla costruzione dei tetti delle altre due strutture principali del castello; la creazione di questi due tetti è molto più complessa in quanto la loro struttura è arrotondata su un lato del castello. La fase finale della costruzione dei tetti dell'edificio prevede la creazione della copertura delle mura.

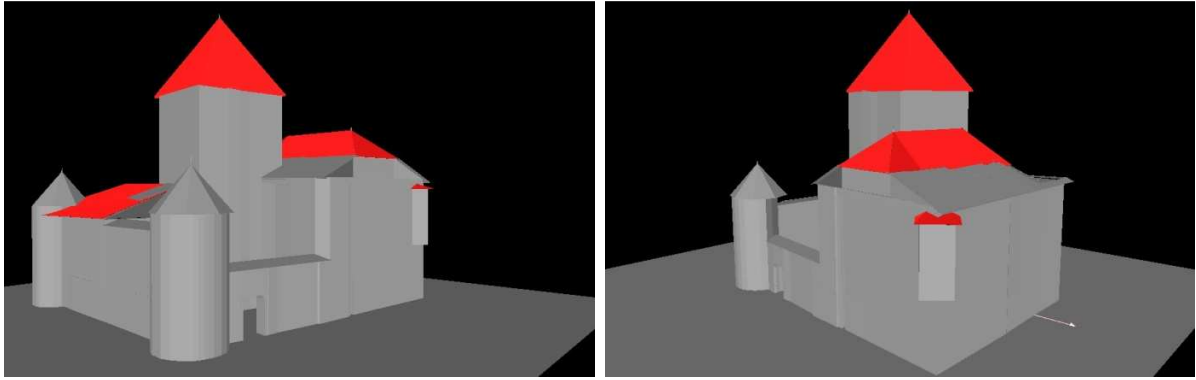


Figura 3: Castello con tutti i tetti

- 4) La quarta fase della creazione tridimensionale del castello consiste nel disegnare i dettagli della struttura. Si crea inizialmente il balcone rivolto verso il giardino interno. Quest'ultimo è composto oltre alla struttura base anche dalle travi di sostegno del balcone stesso e dal parapetto costruito con pali di legno. Una volta disegnato il balcone, si prosegue alla costruzione della struttura disegnando la scala ad angolo che va dal piano terra al primo piano seguendo la muratura esterno; viene anche disegnato il prato all'esterno della struttura del castello e si scelgono i colori delle mura e del tetto. I colori di tutte le superfici presenti nella struttura esterna del castello, corrispondono con esattezza ai colori reali dell'edificio, questo perché hanno un ruolo fondamentale sull'illuminazione finale.

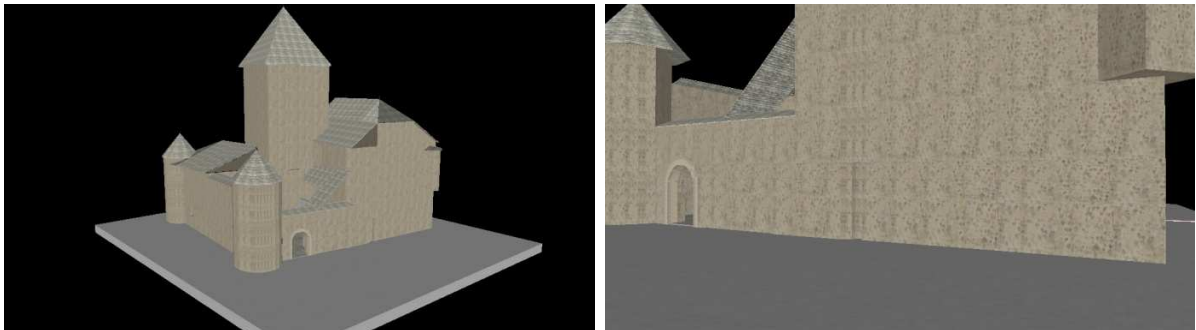


Figura 4: Castello con dettagli e textures

- 5) La quinta ed ultima fase della costruzione virtuale del castello prevede la creazione di tutte le finestre e delle porte. È ovviamente necessario che sia le porte che le finestre non siano soltanto il più simili possibile rispetto agli originali, ma che siano anche posizionate esattamente. Questo perché le finestre essendo di vetro riflettono la luce e quest'ultima, se non desiderata, potrebbe creare fastidi ai visitatori. Oltre alla creazione di porte e finestre si sono scelti, in questa fase di costruzione, anche tutti i materiali (textures) delle superfici e dei mobili presenti nel disegno tridimensionale. È importante che questo venga fatto con cura, in quanto alcuni materiali assorbono o riflettono la luce diversamente da altri ed il risultato illuminotecnico finale potrebbe essere impreciso proprio a causa della scelta errata del materiale. Nell'5 figure 5 si vede il risultato finale della creazione dell'esterno del castello.

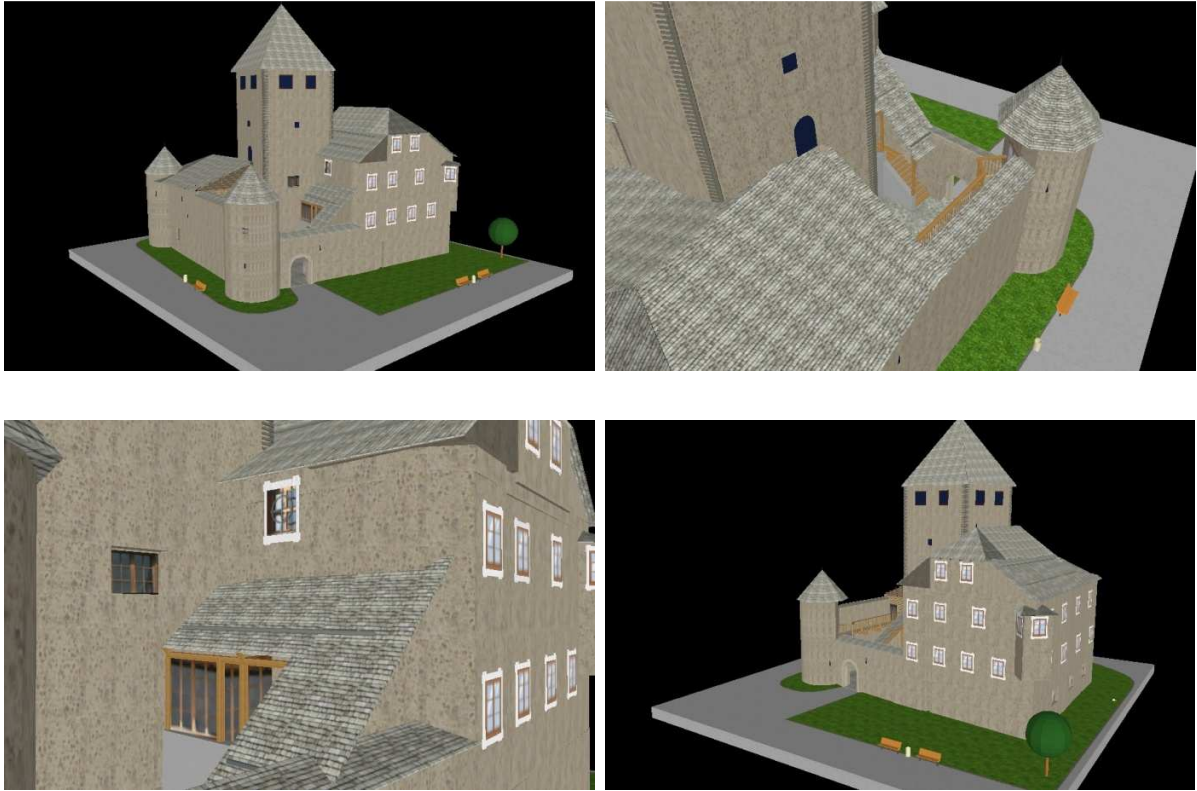


Figura 5: Castello compreso di tutti i dettagli

Seguendo la medesima procedura descritta, si sono costruite anche tutte le 26 stanze d'esposizione delle quali dispone il museo. Una volta ricreato scrupolosamente il modello virtuale dell'esterno e degli ambienti interni del castello si può riflettere sulla scelta degli apparecchi illuminanti che si desiderano utilizzare.

3. L'illuminazione artificiale

In questo paragrafo verranno spiegate le tipologie di lampade esistenti e le caratteristiche da prendere in considerazione nella scelta dei corpi illuminanti.

3.1. *Caratteristiche delle diverse sorgenti luminose*

Dati fondamentali per la scelta di un tipo di lampada:

Potenza	Consumo energetico di una singola lampada
Vita utile	Dato medio (mortality) che indica fino a quando metà lampada è funzionante
Flusso luminoso	Indica la luce totale fornita da una lampada
Temperatura di colore	Necessaria ad un corpo nero affinché la radiazione luminosa emessa da quest'ultimo appaia cromaticamente più vicina possibile alla radiazione considerata
Indice di resa cromatica (R_a)	Misura di quanto naturale appaiono i colori di un'oggetto illuminato

Tabella 1: Dati fondamentali che caratterizzano la scelta di un corpo illuminante

Lampada ad incandescenza:

La lampada ad incandescenza è una sorgente luminosa la cui luce viene prodotta dal riscaldamento di un filamento di tungsteno attraverso cui passa corrente elettrica. Per evitare al metallo di fondere all'interno del bulbo della lampada viene generalmente formato il vuoto ma nelle lampadine più moderne il bulbo di vetro contiene un gas a bassa pressione; tutto ciò aumenta la durata di vita. Se la temperatura però aumenta troppo la vita del filamento diminuisce in quanto, passando in fase vapore, si assottiglia velocemente rompendosi in breve tempo. Le temperature di funzionamento variano dai 2.800°C per le lampade a riempimento di gas inerte, ai 3.200 °C per quelle a ciclo di alogeni. Queste lampade hanno un indice di resa cromatica pari a 85. Una lampada ad incandescenza da 60 W emette un flusso luminoso di circa 550 lumen, in merito a questa tipologia di lampada una normativa della Comunità Europea ne prevede nell'arco di 7 anni, a partire dal 1/9/2009 il divieto di vendita in tutti i paesi della comunità, graduandone annualmente il divieto in base alla potenza in watt.



Lampada alogena:

Il principio di funzionamento della lampada alogena è identico al funzionamento della lampada ad incandescenza, perché anche in questo caso viene riscaldato un filamento metallico percorso da corrente. Il processo alogeno, ne aumenta però l'efficienza ed aumenta la durata di vita di almeno il doppio rispetto ad una comune lampada ad incandescenza. Ha un'efficienza luminosa di 15-20 lm/W.



Lampada fluorescente:

È costituita da un tubo di vetro, al cui interno è introdotto un gas nobile (argon, xeno, neon, o krypton) a bassa pressione ed una piccola quantità di mercurio liquido. La superficie interna del tubo è rivestita di un materiale fluorescente. Ai due estremi del tubo sono presenti due elettrodi; gli elettroni in movimento tra i due elettrodi eccitano gli atomi di mercurio contenuti nel gas, sollecitandoli ad emettere radiazione ultravioletta. Il materiale fluorescente di cui è ricoperto il tubo, investito da tali radiazioni, emette a sua volta luce visibile. Le lampade fluorescenti hanno un'alta efficienza luminosa, infatti $65 < \eta < 96$ lm/W e l'indice di resa cromatica va da 68 a 99.



Lampada a scarica:

La lampada a scarica è un tipo di lampadina basata sull'emissione di radiazione elettromagnetica da parte di un plasma di gas ionizzato. La ionizzazione del gas è ottenuta per mezzo di una scarica attraverso il gas stesso. Il gas utilizzato è in genere sodio o mercurio. La caratteristica di queste lampade è una grande durata, una maggiore conversione di energia elettrica in energia luminosa e quindi una migliore efficienza luminosa. La presenza di uno spettro a bande fa in modo che la resa cromatica sia inferiore di quella delle lampade ad incandescenza; le principali lampade a scarica attualmente in produzione sono:



1. Lampade ai vapori di mercurio.

I vapori di mercurio, eccitati dall'arco elettrico, producono un'emissione luminosa principalmente nella zona del verde, del rosso e del giallo dello spettro visibile, nonché in quella degli ultravioletti. Le prestazioni qualitative dell'emissione non sono molto buone, dato che la luce prodotta ha una forte dominante verde-blu. La dimensione della lampada ai vapori di mercurio è notevole, la potenza non può essere regolata ed il processo di accensione e riaccensione risulta essere lento.

2. Lampade agli alogenuri metallici.

Queste lampade sono una variante più sofisticata delle lampade a vapori di mercurio. Nella miscela di gas vengono aggiunti additivi come indio, tallio e sodio, che aumentano lo spettro di

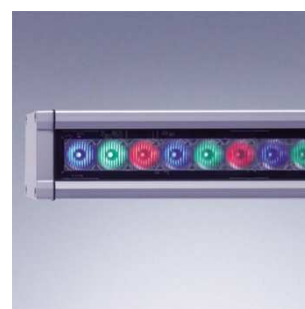
emissione della luce, che diviene più bianca, con una migliore resa cromatica ed un aumento dell'efficienza. Le dimensioni sono minori rispetto alle lampade ai vapori di mercurio, richiedono però apparecchi ausiliari di controllo per mantenere la stabilità della luce. La potenza di emissione di queste lampade non è regolabile, i tempi di accensione e riaccensione sono inoltre piuttosto lunghi.

3. Lampade ai vapori di sodio

Il funzionamento è identico alle lampade a vapori di mercurio, l'unica sostanziale differenza sono i bulbi riempiti di sodio. Esistono versioni con gas a bassa e ad alta pressione e le recenti lampade al sodio bianco ad alta pressione offrono una buona resa cromatica al contrario delle prime lampade al sodio, che fornivano una luce gialla praticamente monocromatica. I tempi di accensione e riaccensione sono lenti e l'intensità non può essere regolata: in compenso sono le lampade di gran lunga più efficienti attualmente prodotte.

LED:

Le lampade a Led stanno per diventare le lampadine del futuro. Questi dispositivi sono costituiti da “briciole” di semiconduttori che, quando sono attraversati da corrente elettrica, emettono luce visibile. È sufficiente che due sottili strati di materiale siano messi a contatto: uno di essi presenta un eccesso di elettroni, l'altro invece scarseggia di cariche negative, ma abbonda di cariche positive. Quando la corrente passa attraverso il semiconduttore, gli elettroni vengono 'forzati' a ricongiungersi con le cariche positive, emettendo così luce visibile. Fino ad oggi, però, nessuna lampadina LED è mai stata avvitata nei nostri lampadari, perché la sua luce è rossa o gialla. Per ottenere luce bianca si deve disporre anche di un LED blu, ottenuto di recente grazie all'impiego di nitruro di gallio. In questo modo il “frullato” ottico dei tre colori permette l'emissione di luce bianca. Le future lampadine che potranno essere prodotte basandosi sulla tecnologia LED consumeranno meno energia di tutte le altre, perché saranno cinque volte più efficaci nel trasformare la corrente elettrica in luce e dureranno molto: 50.000 ore o anche 100 mila ore in condizioni ottimali d'impiego. Le lampade a LED consentono infatti di risparmiare molta energia elettrica, a parità di luce emessa, rispetto ad una normale lampada ad incandescenza ed hanno una durata 10 volte superiore (una durata media di 10 anni contro solo un anno delle lampade a filamento e poco più di un anno per le lampade fluorescenti). Ad oggi i LED ad alta efficienza forniscono fino a 20-30 lumen per ogni watt di assorbimento elettrico, rispetto ai 10-20 lumen per watt di una tradizionale lampadina ad incandescenza. Il confronto con un sistema a lampade fluorescenti è dal punto di vista energetico ancora sfavorevole poiché queste hanno un'efficienza di 70-80 lumen per watt. Occorrerà cercare un'illuminazione innovativa a semiconduzione che si ottimizzerà nel futuro portando l'efficienza dei LED paragonabile a quella delle lampade fluorescenti. L'elevatissima efficienza nel trasformare la corrente elettrica in luce, con conseguente bassissimo consumo in rapporto alla luce emessa ne fanno il futuro sostituto di tutte le tipologie di



lampadina. Anche per la luce bianca, spaziando nella temperatura di colore 3000-10000 K, sono disponibili dispositivi con emissione di tonalità fredda, normale e calda.

Lampada	Temperatura di colore(K)	η	Vita media(h)	Costo	Annotazioni
Ad incandescenza	2.000 – 2.600	5%	50 – 1.000	basso	Durante il periodo di funzionamento il bulbo si oscura e l'intensità luminosa diminuisce
Alogene alta tensione	2.600 – 3.300	5%	100 - 1000	basso	
Alogena bassa tensione	2.600 – 3.300	8%	100 - 3000	basso	
Led	2.700 – 6.000	45%	20.000-50.000	medio	necessita di reattore
Fluorescente	2.700 – 4.000	60%	8.000 - 12.000	basso	necessita di reattore
Lampada a scarica ad alta pressione: vapori di sodio o ioduri metallici	2.900 – 6.000	60%	500 - 8.000	alto	necessita di reattore, alcuni modelli si riaccendono solamente dopo essersi raffreddati
Lampada a scarica a bassa pressione: vapori di mercurio	2.000	75%	15.000	alto	necessita di reattore . Luce gialla. Dopo lo spegnimento si riaccendono velocemente

Tabella 2: Caratteristiche principali delle lampade

3.2. Caratteristiche dei corpi illuminanti

Ciò che interessa innanzi tutto un illuminotecnico è la fotometria di un corpo illuminante. Essa viene definita da due elementi essenziali:

- le sorgenti luminose
- i componenti ottici del corpo illuminante (riflettore, griglia, schermo diffusore).

Combinando questi due elementi si può definire la distribuzione luminosa ed il rendimento di ogni apparecchio. In generale la distribuzione della luce può aver luogo in modo intensivo, estensivo o asimmetrico. Questa distribuzione per ogni corpo illuminante è rappresentata mediante una curva di ripartizione dell'intensità luminosa misurata in candele (che ne indicano l'intensità).

Rendimento di un corpo illuminante:

In generale il flusso luminoso emesso dalle sorgenti luminose di un corpo illuminante non raggiunge direttamente il piano di lavoro. Tale flusso subisce interazioni tra questi due punti, anche solo a causa delle riflessioni che si manifestano nel corpo illuminante e sulle griglie di protezione.

Il rendimento di un corpo illuminante varia in pratica tra 0.5 e 0.99. I diversi sistemi di riflessione ed i diversi diffusori permettono una distribuzione specifica della luce nello spazio (fascio esteso, asimmetrico, bassa luminanza). I corpi illuminanti a bassa luminanza utilizzano dispositivi (griglie paraboliche, riflettori secondari) che permettono la ripartizione della luce in un fascio relativamente stretto e che limita l'abbagliamento. La forma, le dimensioni e la posizione della sorgente luminosa rispetto al riflettore

principale hanno un influsso non solo sull'ottimizzazione della ripartizione della luce stessa nella direzione desiderata, ma anche sul rendimento del corpo illuminante.

Criteri di comfort visivo:

Occorre nel modo più assoluto che un corpo illuminante adempia le esigenze di comfort visivo e, in modo particolare, sia in grado di eliminare le cause di mancanza di comfort dovuta all'abbagliamento. L'assenza di abbagliamento diretto dovuto al corpo illuminante può essere facilmente verificabile per mezzo degli abachi di Bodmann e Söllner. Questi ultimi definiscono i valori massimi ammissibili di luminanza a seconda del tipo di attività, della forma del locale e del livello medio desiderato di densità luminosa. È così possibile, ad esempio, constatare immediatamente che per le aule scolastiche occorre rinunciare all'impiego di corpi illuminanti muniti di diffusori prismatici. Per ogni tipo di corpo illuminante i produttori mettono a disposizione curve di luminanza (longitudinali a linea punteggiata e trasversali a riga continua). Definendo la classe, ossia il grado di qualità del locale (che varia da A a E, secondo la classificazione CIE) ed il livello di densità luminosa media, è possibile determinare su questo abaco il valore massimo ammissibile della luminanza. Se la curva della luminanza dell'apparecchio fornita dal fabbricante si trova a sinistra della curva limite, la scelta è razionale. Nel caso contrario occorrerà scegliere un altro corpo illuminante.

3.3. Fasi del progetto d'illuminazione artificiale

L'impiego previsto, nonché le superfici del locale (dimensioni e forma delle aperture, direzione da cui proviene la luce naturale, caratteristiche dei materiali da costruzione) costituiscono i dati fondamentali del progetto. In possesso di tali dati lo svolgimento dell'operazione può avvenire nell'ordine menzionato qui di seguito.

Determinazione del livello di densità luminosa richiesto:

Il livello di densità luminosa dipende dalla natura dell'attività eseguita nel locale. I valori raccomandati per le diverse attività vengono pubblicati regolarmente. Tali valori di densità luminosa vengono forniti per un piano di lavoro orizzontale, situato convenzionalmente a 85 cm dal pavimento.

Scelta del tipo di sorgenti luminose:

Sono parecchi i criteri che determinano questa scelta; il loro numero e la loro importanza variano a seconda della natura del problema da risolvere. Occorre esaminare:

- l'efficienza luminosa,
- la durata di vita,
- la temperatura del colore,
- l'indice di resa del colore,
- la durata ed il tipo d'impiego.

Un calcolo globale della redditività deve comprendere l'investimento iniziale, l'esercizio, la manutenzione e le spese di sostituzione.

Scelta del sistema d'illuminazione (diretto, indiretto, misto):

Con un'illuminazione diretta le superfici orizzontali vengono generalmente ben illuminate, mentre il soffitto resta relativamente in ombra. Una disposizione adeguata delle sorgenti luminose permette di ottenere un'illuminazione buona e uniforme. La percezione spaziale può diventare monotona, senza carattere e senza accenti luminosi. Nel caso di un'illuminazione indiretta la luce viene diffusa totalmente verso il soffitto. La diffusione della luce crea un'impressione rilassante. La mancanza di ombre può essere fastidiosa. Il flusso luminoso richiesto è più importante che non nel caso dell'illuminazione diretta, ciò che può sfociare in un aumento del consumo di energia elettrica; nel caso di un'illuminazione mista la luce viene diffusa sia verso l'alto, sia verso il basso.

Scelta del corpo illuminante o degli apparecchi d'illuminazione:

La curva fotometrica del corpo illuminante deve corrispondere al tipo di distribuzione scelto per la luce. Avranno inoltre un influsso su questa scelta criteri di affidabilità, estetici, di manutenzione, di condizioni ambientali (atmosfera umida, corrosiva, esplosiva) e, infine di costi.

Calcoli e ripartizione dei corpi illuminanti:

Esistono programmi per PC che permettono di ottimizzare la ripartizione. In particolare quest'ultima deve essere determinata tenendo conto del contributo fornito dalla luce naturale (aperture con vetri).

4. Criteri di progetto d'illuminazione esterna

Questo paragrafo dell'elaborato di laurea fornisce la descrizione della progettazione dell'impianto illuminotecnico scelto per l'esterno del castello.

4.1. Prima variante

Lo scopo del primo calcolo illuminotecnico del castello è quello di cercare un'alternativa adeguata all'illuminazione esterna presente. Per questa alternativa si sono scelti apparecchi Zumtobel e Bega. È stato necessario trovare apparecchi che illuminino le facciate esterne del castello ed il marciapiede di fronte alla facciata principale che creino un piacevole effetto luminoso all'interno delle mura.

Per illuminare le facciate e le mura del castello, si è scelto di usare proiettori BEGA 7864 ad alta potenza con lampade HIE da 70W e da 150W. Nella figura 6 si vede la forma e le dimensioni del proiettore.

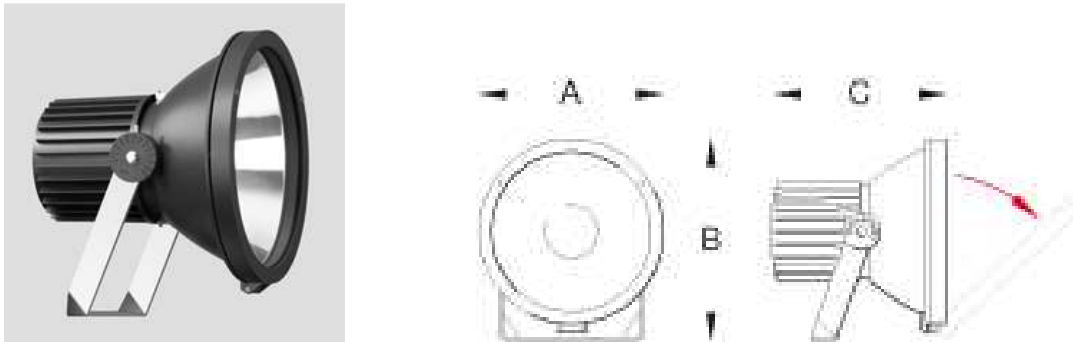


Figura 6: Proiettore BEGA 7864 e dimensioni

Il proiettore Bega 7864 con lampada a ioduri metallici HIE70W è un apparecchio che distribuisce la luce a fascio largo, permette quindi di creare un'illuminazione diffusa lungo tutta la superficie delle mura, mentre l'apparecchio BEGA 7864 con da 150W è un proiettore a fascio stretto. Il motivo per cui si usano sia proiettori a fascio largo, sia proiettori a fascio stretto è perché è necessario cercare di ridurre il più possibile l'inquinamento luminoso. Se lo scopo è quello di illuminare correttamente ed in modo omogeneo una facciata si tende ad usare apparecchi a fascio largo; questo perché l'angolo con il quale la luce viene emessa dal faro è maggiore, raggiunge quindi una più ampia area della superficie. Se la superficie da illuminare è ridotta in termini di altezza, ed estesa in termini di lunghezza, si possono usare anche più proiettori a fascio largo contemporaneamente. Nelle immagini che seguiranno si nota la distribuzione della luce su una facciata del castello usando proiettori BEGA 7864 a fascio largo e la loro curva fotometrica. Si notano anche le curve fotometriche a fascio largo uscenti dai proiettori.

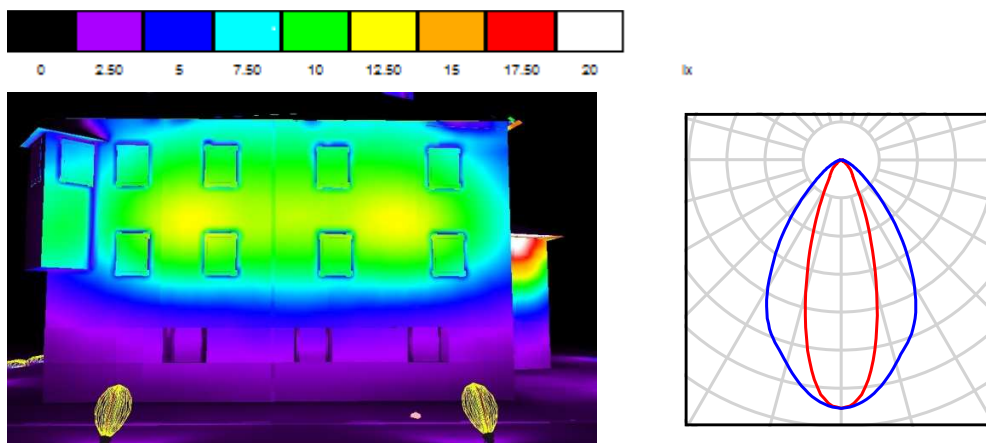


Figura 7: Rendering dei colori sfalsati di una facciata del castello e curva fotometrica del proiettore a fascio largo

I proiettori a fascio stretto, invece, servono sempre ad illuminare la superficie esterna ma in maniera più precisa. In questo caso l'angolo con il quale il proiettore illumina una facciata è più stretto e quindi ideale per illuminare punti esatti della parete. L'intensità luminosa (cd) è maggiore se il fascio luminoso è stretto. Nelle immagini seguenti (8) si nota la distribuzione della luce sulla torre del castello usando proiettori BEGA 7864 a fascio stretto posti sul piano campagna e la loro curva fotometrica.

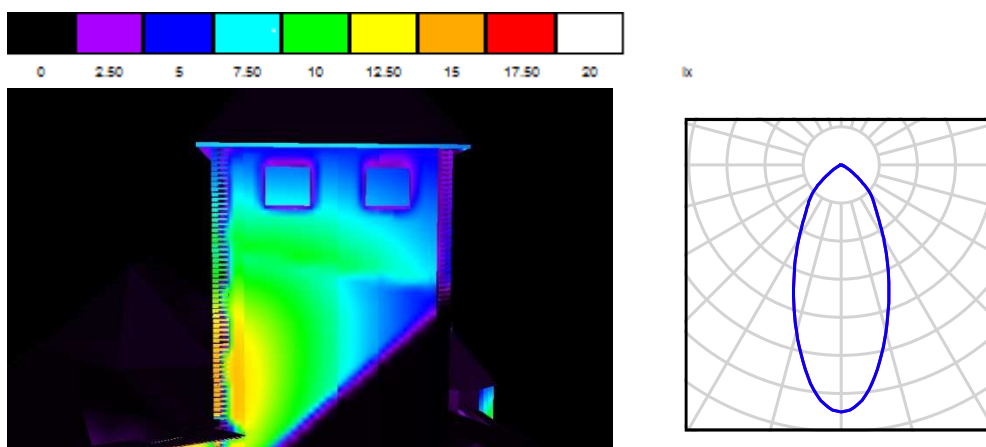


Figura 8: Rendering dei colori sfalsati della torre del castello e curva fotometrica del proiettore a fascio stretto

Facendo i dovuti calcoli illuminotecnici si è deciso di usare 8 proiettori per illuminare le superfici esterne del castello; sei di questi proiettori sono a fascio distribuito, mentre i restanti due sono a fascio stretto. I due proiettori a fascio stretto e concentrato montano lampade a ioduri metallici ad alta pressione da 150W, diversamente dalle lampade da 70W degli altri proiettori. Tutti e otto i proiettori sono montati sulla superficie erbosa intorno al castello e questo non crea assolutamente un problema, avendo gli apparecchi protezione IP67. Occorre evidenziare il fatto per cui non tutte le facciate sono state illuminate in modo uguale; si è infatti cercato di illuminare maggiormente le due facciate che si vedono percorrendo in macchina la Val Badia, mentre le altre superfici sono sempre illuminate omogeneamente, ma con un'intensità minore.

Vediamo il rendering dei colori sfalsati di due facciate del castello eseguito con Dialux usando i proiettori BEGA7864 con lampade a ioduri metallici da 70 e 150W

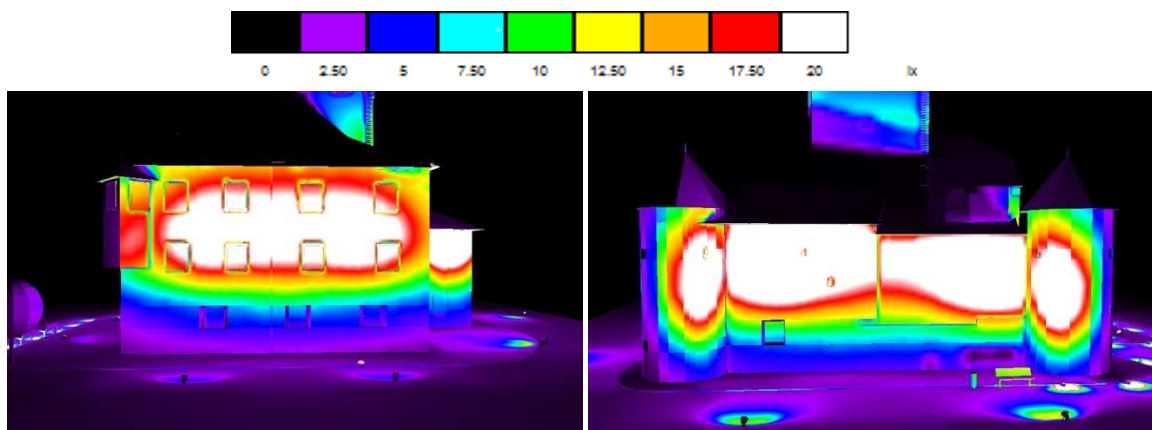


Figura 9: Rendering dei colori sfalsati di due facciate del castello

Le superfici che appaiono bianche hanno una luminosità di 20 lux, il viola che si nota sulla parte basse della facciata del castello, è superiore a 2,5 lux. Si osserva inoltre che le mura sono illuminate in maniera molto omogenea e questo si visiona anche osservando i valori di lux ricavati sulla superficie della parete.

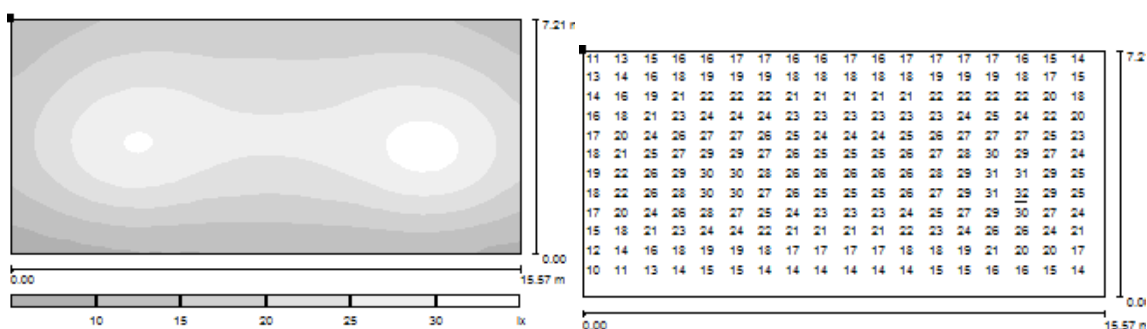


Figura 10: Valori di grigio e panoramica dei valori d'illuminazione ottenuti su una superficie del castello

Per illuminare il marciapiede esterno si è usato l' apparecchio Bega 8847: si tratta di un lampioncino che viene utilizzato per illuminare pavimentazioni da altezza estremamente ridotta e disponibile con diverse potenze. La lampada del lampioncino scelta per questo progetto è una lampada fluorescente e compatta TC-TEL con potenza di 26W. Nelle immagini successive si vede la forma e la curva fotometrica del faretto in questione.

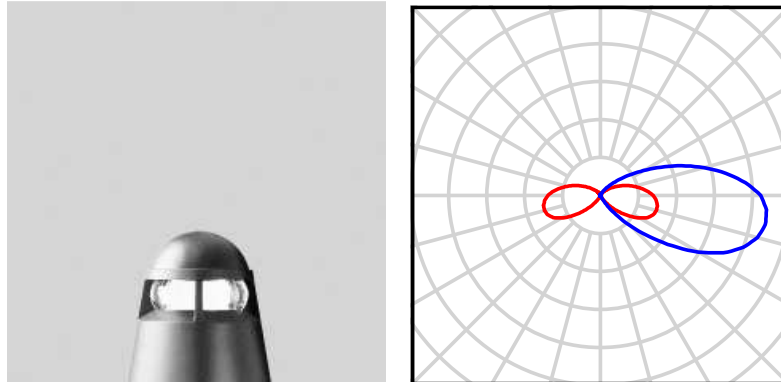


Figura 11: Lampioncino BEGA 8847

Il faretto è molto compatto, ha un diametro ed un'altezza di 26 cm ed anche per questo motivo si è scelto di usarlo; nonostante abbia un design moderno, si sposa perfettamente con le geometrie delle superfici esterne del castello. La particolarità principale di questo apparecchio è la possibilità di scegliere un distribuzione luminosa di 360° oppure di 180°. Per il calcolo illuminotecnico di questo progetto si è deciso di usare la distribuzione a 180° per poter illuminare con esattezza nella direzione del marciapiede evitando di disperdere la luce sul manto erboso. La distribuzione luminosa, ottenuta utilizzando Bega 8847, non è molto omogenea ma lo scopo principale era quello di creare un piacevole effetto ottico sulla superficie del marciapiede ed orientare il visitatore verso l'entrata delle mura. Si è deciso di usare 15 apparecchi disposti lungo il bordo del marciapiede di fronte alla facciata principale dell' edificio con un interasse di 3,50 m. Vediamo il rendering dei colori sfalsati sulla superficie del marciapiede.

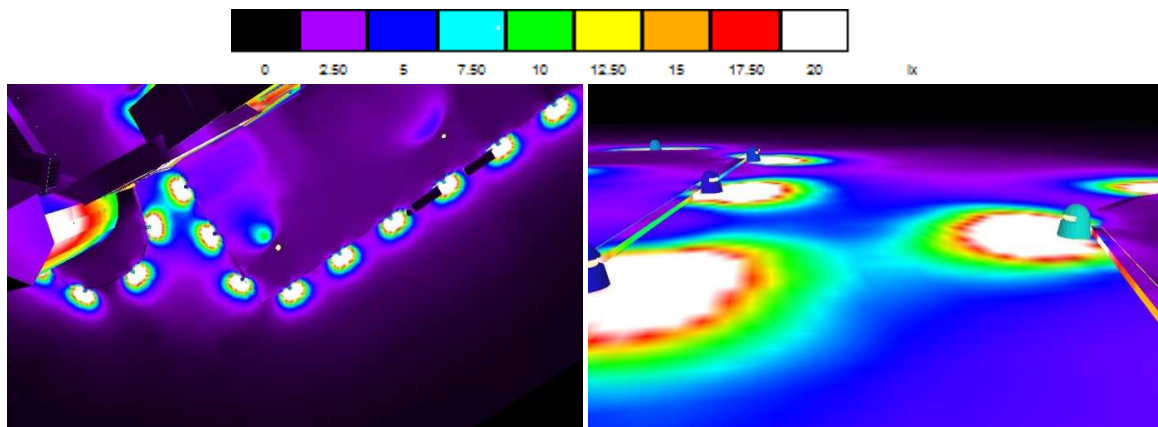


Figura 12: Rendering dei colori sfalsati della superficie esterna illuminata con BEGA 8847

Per l'illuminazione esterna del giardino, si sono usati gli apparecchi Bega 8083, Bega 2231e Bega 2238. L'apparecchio Bega 8083 funziona con lampade alogene a basso voltaggio da 5W e viene usato principalmente come apparecchio di orientamento. Bega 8083 è inoltre calpestabile, ha una resistenza verticale di 2.000 kg ed ha protezione IP68. Ha un diametro di 90 mm ed una profondità di 95 mm. Nonostante l'apparecchio emetta un flusso luminoso di soli 60 lm, si addice molto alla geometria interna del castello perché la sua struttura è completamente interrata, mentre è visibile soltanto la cornice. Per questo

progetto si sono complessivamente utilizzati sette Bega 8083 con lampada alogena QT5W, cinque di essi lungo il muro sinistro all' interno del giardino, un faretto alla base della torre ed uno alla base delle scale esterne.

L'apparecchio da incasso Bega 2231 è un apparecchio schermato usato per illuminare pavimentazioni o pareti senza abbagliare ed in questo caso si è scelto di inserirlo nel progetto per l'illuminazione della scala esterna. Esso garantisce un'illuminamento elevato sul piano utile grazie alla sua distribuzione asimmetrica. La lampada all'interno dell'apparecchio, è la lampada alogena QT-DE12 da 60W. La norma prevede che l'illuminamento medio di una scala esterna sia di 50 lux e grazie a questo prodotto si è raggiunto una media di 63 lux. Si è scelto di montare otto apparecchi incassati nel muro, uno ogni secondo gradino; anche questo prodotto si sposa molto bene con l'estetica del giardino interno del castello.

Il terzo prodotto utilizzato per l'illuminazione del giardino è l'apparecchio a parete Bega 2238 con lampada alogena QT14 da 40W. Si è scelto di usare un solo prodotto e di posizionarlo sopra alla porta d'accesso al castello, illuminandola. Bega 2238 è un apparecchio compatto e robusto di forma quadratica con lati di 120 mm ed una profondità di 70 mm.

Nelle immagini successive si vedono la struttura dei tre apparecchi descritti in precedenza e la curva fotometrica degli apparecchi 2231 e 2238.

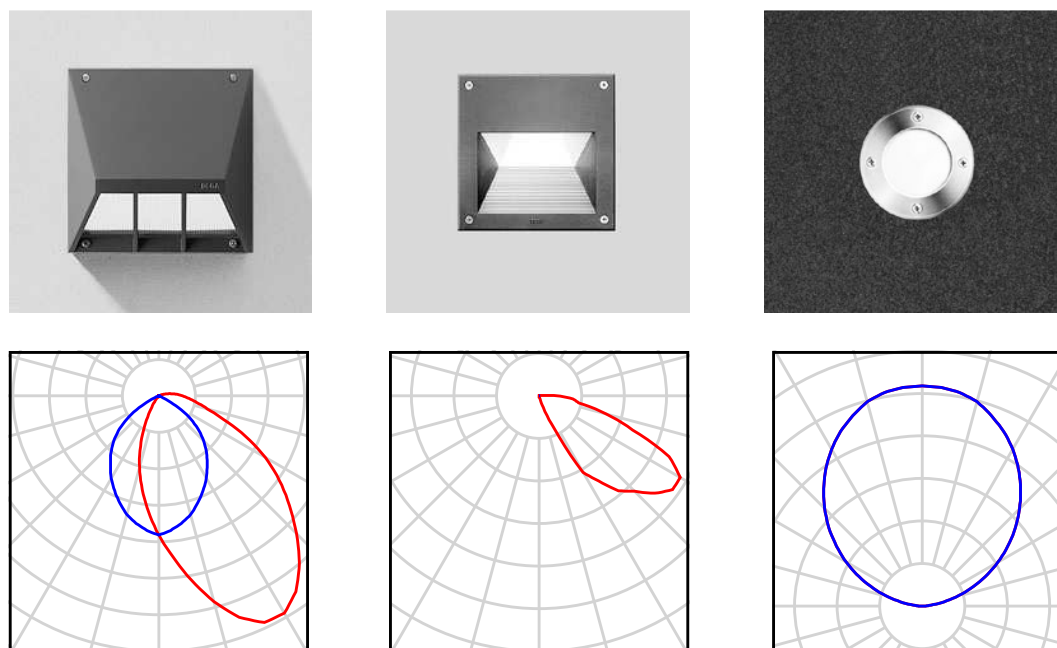


Figura 13: Apparecchi BEGA 8083, BEGA 2231, BEGA 2238 e rispettive curve fotometriche

A questo punto possiamo osservare la planimetria degli apparecchi, da questa infatti notiamo come sono disposti i proiettori che illuminano le superfici delle facciate del castello. Si può inoltre notare la distribuzione dei lampioncini disposti lungo il marciapiede esterno. Si vede anche la distribuzione di tutti gli apparecchi all'interno del giardino; complessivamente per questo progetto si sono utilizzati 40 apparecchi.

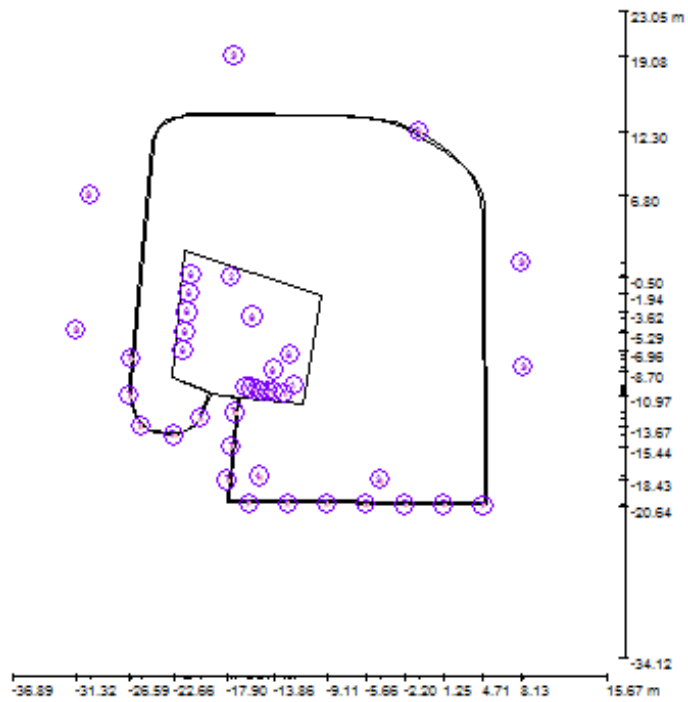


Figura 14: Posizione di tutti gli apparecchi variante 1

A questo punto la prima variante di calcolo illuminotecnico dell'esterno del castello si può ritenere conclusa. Nelle prossime tre immagini (15) osserviamo quindi il castello da tre diverse angolazioni ed il fotomontaggio creato mediante l'applicazione POV-Ray di Dialux.



Figura 15: Immagine tridimensionale del castello illuminato con gli apparecchi descritti nella variante 1



Figura 16: Fotomontaggio del “Ciastel de Tor” creato con l’applicazione POV- Ray

4.2. Seconda variante

La seconda variante illuminotecnica prevede l’utilizzo di apparecchi alternativi e di apparecchi che sfruttano la tecnologia LED. Si sono scelti nuovamente prodotti Bega e Zumtobel; Come nell’alternativa precedente, nella quale non si sono utilizzati apparecchi LED, bisogna trovare strutture che illuminino le facciate del castello ed il marciapiede di fronte alla facciata principale.

Per l’illuminazione delle mura e delle pareti del “Ciastel de Tor” si è scelto di utilizzare un apparecchio che non desse in alcun modo fastidio alla geometria esterna del castello. L’apparecchio scelto è il faretto Bega 8720 dotato di lampada a vapore di sodio HST-DE da 150W. Questo apparecchio è calpestabile e viene interrato, facendo uscire dal terreno soltanto la copertura rotonda. Nelle immagini successive si vede la forma del proiettore:



Figura 17: BEGA 8720; immagine, dimensioni e curva fotometrica

Il proiettore Bega 8720 con lampada HST-DE150W consente di illuminare un'intera facciata fino agli angoli più bassi. La distribuzione verso il basso è delimitata in modo lineare, tale da non formare gli altrimenti inevitabili coni di luce. La caratteristica fondamentale che caratterizza la lampada a vapori di sodio ad alta pressione HST-DE montata all'interno di questo prodotto è la luce di colore di 2.100K che tende al giallo arancione. Tutti gli elementi importanti di questi apparecchi sono realizzati in fusione di bronzo ed acciaio inox e sono inseriti in un'armatura fissata su un plinto che assorbe il carico. Diversamente dalla variante illuminotecnica vista in precedenza, non è stato necessario utilizzare prodotti con diverse potenze per creare l'illuminazione delle facciate del castello. Effettuando tutti i dovuti calcoli illuminotecnici si è optato per la scelta di usare otto proiettori per illuminare le superfici esterne del castello. Avendo gli apparecchi protezione IP67, è stato possibile installare gli otto proiettori all'interno del prato che circonda il castello. Le due facciate rivolte a valle sono state illuminate maggiormente, avendo scelto di creare una luce omogenea e precisa, visibile anche a grandi distanze. In questa variante illuminotecnica si è cercato di illuminare di più il castello, mettendo in risalto le mura in tutta la loro altezza. Lo scopo era di mettere in evidenza tutta la larghezza delle mura, allargando i fasci luminosi; nella variante osservata in precedenza erano stretti. Allargare i fasci luminosi verso i lati di una facciata è un'operazione molto rischiosa, in quanto alcuni raggi luminosi emessi dal faretto possono non essere rivolti verso la struttura e possono perdersi nel vuoto: questa perdita di luce è la causa dell'inquinamento luminoso. Bega 8720 permette di orientare il fascio luminoso esattamente nella direzione desiderata. Dal rendering dei colori sfalsati è possibile notare come il fascio luminoso dell'apparecchio scelto sia largo, permettendo di illuminare correttamente le facciate del castello ed allo stesso tempo non si disperde nel vuoto.

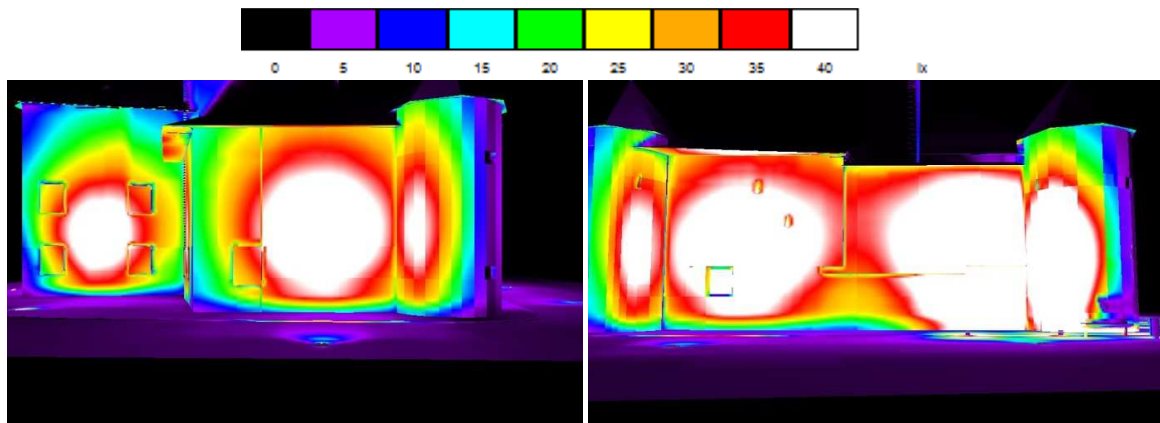


Figura 18: Rendering dei colori sfalsati; da notare che non abbiamo inquinamento luminoso

Le superfici illuminate di bianco presentano un'illuminazione di 40 lux, mentre quelle verdi sono illuminate con 20 lux. L'illuminazione del castello mediante questi prodotti è molto più grande rispetto alla variante del paragrafo precedente; lo scopo di questa alternativa era quello di illuminare di più le pareti rispetto alla variante calcolata riportata sopra mantenendo un'ottima omogeneità di luminosità sulle superfici. La superficie di calcolo sulla facciata est del castello presenta i seguenti valori di luminosità.

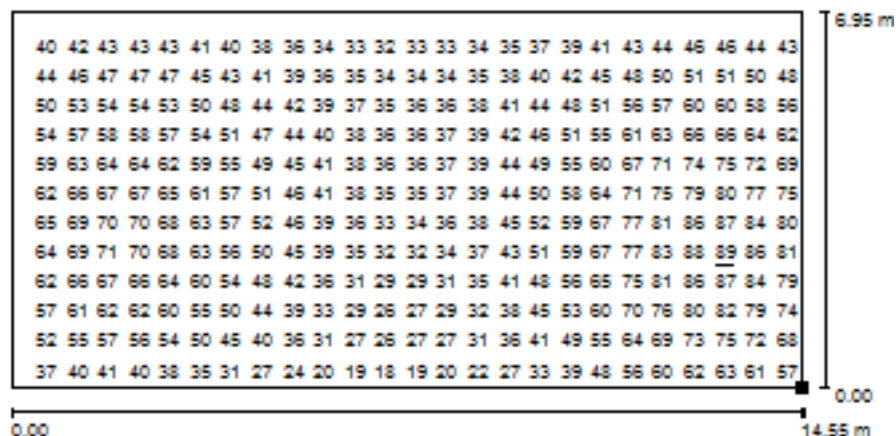


Figura 19: Valori di illuminazione in LUX di una facciata del castello

Per illuminare il marciapiede esterno si è usato l'apparecchio con tecnologia LED Bega 7740; si tratta di un lampioncino costruito in acciaio con diametro di 165 mm e disponibile in diverse altezze. Per questo progetto si è scelto il lampioncino basso avente un'altezza di 220 mm. Grazie alle ridotte dimensioni del lampioncino e dato che si è scelto di montare il lampioncino sulla superficie erbosa e non sulle piastrelle di cemento, questo non crea assolutamente nessun ingombro. L'apparecchio possiede una potenza di 24W con la quale riesce a creare un flusso luminoso di 1.800 lm. Diversamente dall'apparecchio Bega 8847, questo lampioncino crea luce distribuendola a 360° e per questo motivo viene illuminato anche il prato; questo crea un effetto luminoso piacevole nel passaggio della luce dal manto erboso a quello stradale. La luce diretta verso il manto erboso non è da considerarsi una perdita, ma un'alternativa diversa per attirare i

visitatori del museo verso l'entrata del castello. Usando solamente 13 apparecchi è stato possibile creare un'illuminazione adeguata e di grande effetto visivo, questo grazie alle caratteristiche illuminotecniche della tecnologia a diodi luminosi ed alla distribuzione della luce a 360°. Gli apparecchi sono montati ad una distanza di 3.60 metri l'uno dall'altro.

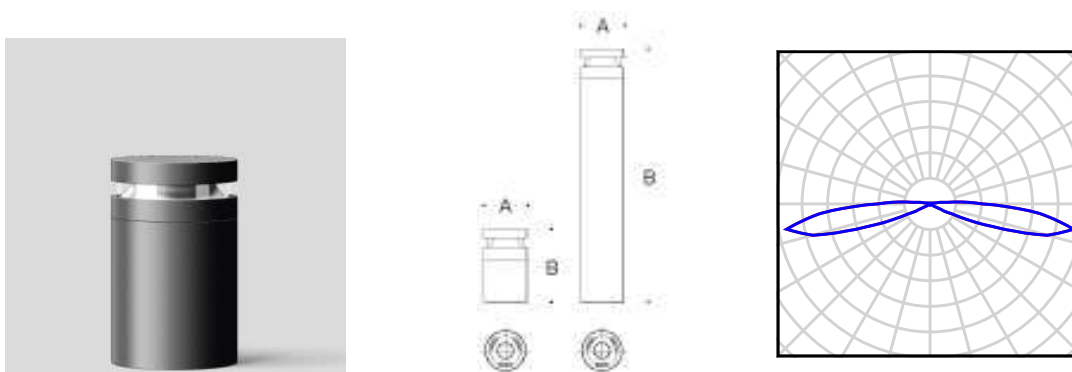


Figura 20: Lampione Bega 7740, dimensioni e curva fotometrica

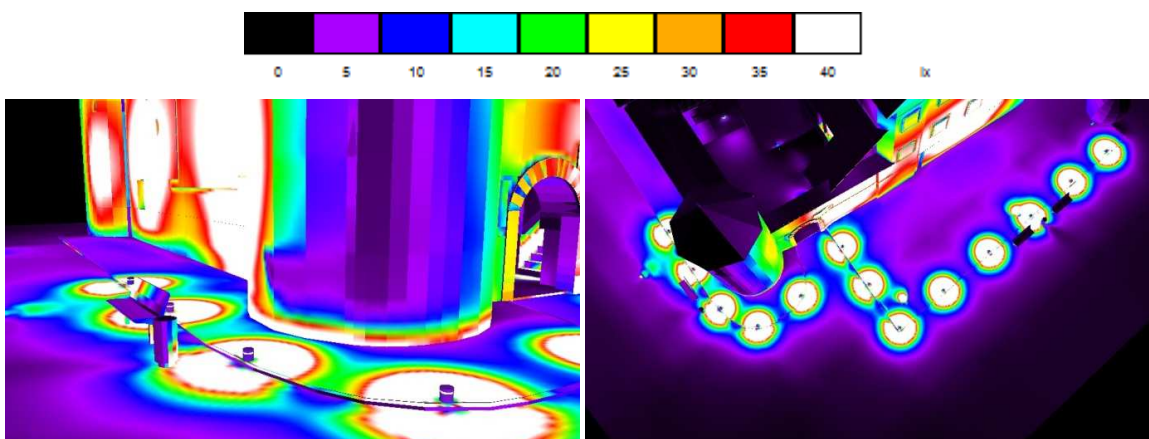


Figura 21: Rendering dei colori sfalsati della superficie esterna illuminata con Bega 7740

Per l'illuminazione esterna del giardino si sono usati gli apparecchi a LED Bega 8699, Bega 2222 e Bega 2228. L'apparecchio Bega 8699 funziona con tecnologia a LED e possiede al suo interno un LED da 5W; esso viene usato principalmente come apparecchio di orientamento, è calpestabile ed ha una resistenza verticale di 2.000kg. Ha protezione IP68, la sua profondità risulta essere 95 mm ed il diametro della cornice dell'apparecchio è di 110 mm. L'apparecchio emette un flusso luminoso di 50 lm ed essendo visibile soltanto la cornice, non disturba l'architettura del giardino. Per questo progetto si sono usati sette Bega 8699 con lampada a LED da 5W, cinque di essi lungo il muro sinistro all'interno del giardino, un faretto alla base della torre ed uno alla base delle scale esterne.

Per l'illuminazione delle scale si è invece scelto Bega 7222; si tratta di un apparecchio da incasso, schermato, usato per illuminare pavimentazioni o pareti senza abbagliare. Questo apparecchio garantisce un'illuminazione elevata sul piano utile grazie alla sua distribuzione asimmetrica. La lampada all'interno dell'apparecchio è una lampada a LED da 12W di potenza. La norma prevede che l'illuminamento medio di

una scala esterna sia di 50 lux e grazie a questo prodotto si sono raggiunti valori di illuminamento medio di 72 lux. Si sono montati sette apparecchi incassati nel muro uno ogni secondo gradino.

Il terzo ed ultimo prodotto usato per illuminare il giardino è l'apparecchio a parete Bega 2228 con lampada LED di 5W. Si è scelto di posizionare l'apparecchio sopra alla porta d'ingresso del castello. Bega 2228 è un apparecchio compatto e robusto; è di forma quadratica con lati di 120 mm, ed una profondità di 70 mm. Nelle immagini successive, si vedono la struttura dei tre apparecchi descritti in precedenza e la curva fotometrica degli apparecchi 7222 e 2238.

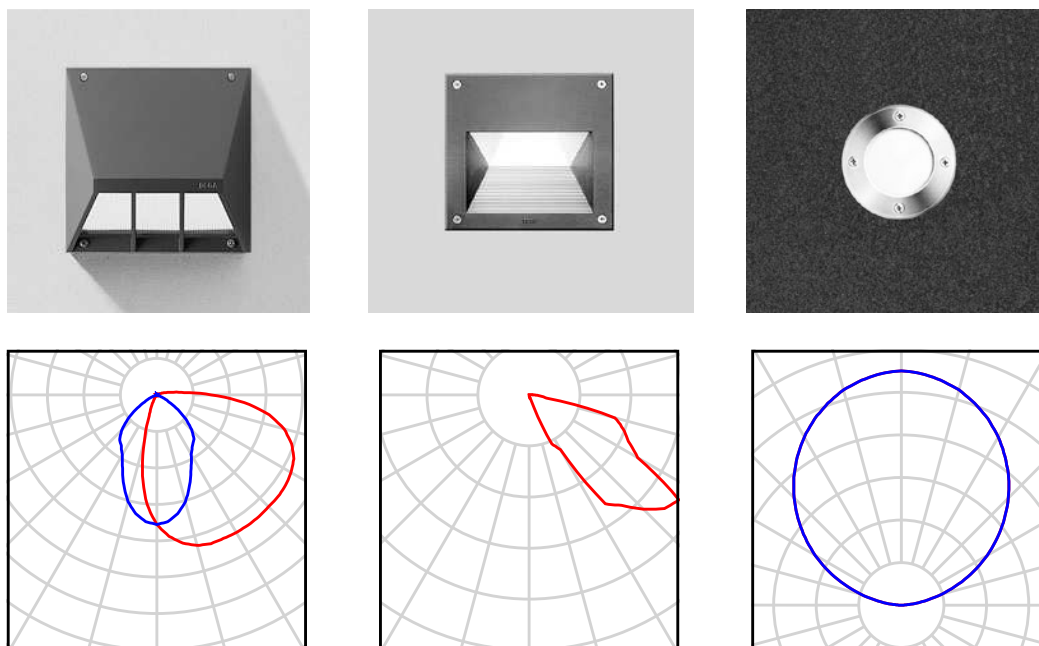


Figura 22: BEGA 8699, BEGA 2222, BEGA 2228, e rispettive curve fotometriche

Notiamo la planimetria degli apparecchi. Si nota la distribuzione dei lampioncini disposti lungo il prato parallelamente al marciapiede esterno. Si vede inoltre la distribuzione di tutti gli apparecchi all'interno del giardino. Per la realizzazione di questo progetto illuminotecnico si sono utilizzati 37 apparecchi.

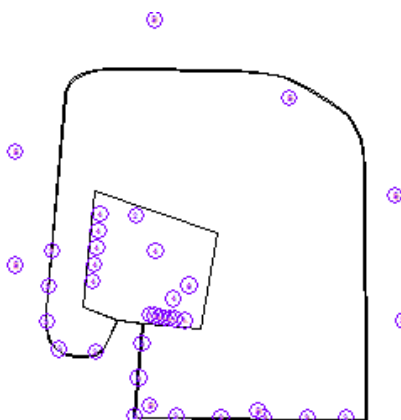


Figura 23: Locazione apparecchi d'illuminazione della variante 2

A questo punto, la seconda variante del calcolo illuminotecnico dell' esterno del castello, ottenuta soprattutto usando lampade di ultima generazione LED si può ritenere conclusa. Nelle prossime tre immagini osserviamo quindi il castello da tre diverse angolazioni ed il fotomontaggio creato mediante l'applicazione Pov- ray di Dialux.



Figura 24: Castello illuminato con gli apparecchi descritti



Figura 25: Fotomontaggio castello eseguito mediante POV- Ray

4.3. Distinta lampade

Tabella 3: Variante 1

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	8	BEGA 2231 1 QT-DE12 60W	840	60,0
2	1	BEGA 2238 1 QT14 40W	460	40,0
3	6	BEGA 7864 1 HIE 70W/m	6.400	85,0
4	1	BEGA 7873 1 HIE 150W/m	13.300	170,0
5	1	BEGA 7874 1 HIE 150W/m	13.300	170,0
6	7	BEGA 8083 1 QT9-ax 5W	60	5,0
7	15	BEGA 8847 1 TC-TEL 26W	1.750	28,0
8	1	Zumtobel 2LIGHT MINI E 1/35W HIT	3.000	45,0

Flusso totale: 101.850lm

Potenza totale: 1.870,0W

Tabella 4: Variante 2

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	7	BEGA 2222 LED 12W	520	12,0
2	1	BEGA 2228 LED 5W	190	5,0
3	13	BEGA 7740 LED 25W	1.800	25,0
4	7	BEGA 8699 LED 5W	50	5,0
5	8	BEGA 8720 1 HST-DE 150W	15.000	170,0
6	1	Zumtobel 2LIGHT MINI E 1/20W LED	500	20,0

Flusso totale: 148.080 lm

Potenza totale: 1.829 W

In entrambi i progetti illuminotecnici si è cercato di soddisfare le esigenze principali richieste da un impianto simile, quali, il risparmio energetico, un'illuminazione adeguata, sia in termini di efficienza luminosa che di aspetto visivo e di non creare inquinamento luminoso.

Dai risultati ottenuti si osserva che l'impianto illuminotecnico creato con prevalenza di apparecchi LED emette un flusso luminoso molto più grande rispetto alla variante con soli apparecchi tradizionali. La potenza impiegata è simile nelle due varianti con un leggero vantaggio in termini di consumo della seconda variante. Un'altro dato che salta subito all'occhio è il risparmio nel numero di apparecchi utilizzati per realizzare l'intera illuminazione del castello, utilizzando apparecchi a diodi luminosi. Questo non si nota soltanto nel numero complessivo di punti luce utilizzati, ma guardando le tabelle sopra si nota che nella variante d'illuminazione tradizionale sono stati utilizzati due modelli di apparecchio in più. Questo numero più alto di punti luce diversi implica che ci siano più lampade di ricambio differenti e quindi una spesa di manutenzione più alta nella prima variante. Le lampade a LED possiedono il grande vantaggio rispetto a lampade tradizionali di avere una durata di vita molto più lunga. Questo riduce ulteriormente i costi di gestione nell'ipotesi che si utilizzi la seconda variante anche nella realtà.

5. Pianificazione dell'illuminazione interna

Per gli ambienti interni ci sono innumerevoli aspetti e problematiche illuminotecniche da considerare; è necessario che venga sfruttata nel modo migliore la luce naturale in modo da risparmiare su quella artificiale. In stanze chiuse l'illuminazione, sia essa naturale o artificiale, deve concorrere al soddisfacimento di tre esigenze: prestazione visiva, benessere visivo e sicurezza. Inizialmente è necessario individuare le caratteristiche del compito visivo: il soggetto e la metodologia dell'illuminazione. Successivamente bisogna prendere in considerazione la distribuzione delle luminanze che deve essere ben bilanciata per incrementare le prestazioni visive. In generale, negli ambienti interni, all'illuminazione generale è associata una certa uniformità negli illuminamenti, mentre quella direzionale si pone l'obiettivo di mettere in evidenza determinati elementi o di creare particolari effetti. Una scelta complessa nella determinazione dell'illuminazione interna è legata al fatto che essa può essere diretta, indiretta oppure diretta-indiretta. Peculiarità significative sono quella del fenomeno di riflessione e di abbagliamento di tutti gli apparecchi presenti nelle stanze e la resa del colore, necessaria per illuminare nella maniera più appropriata. In tutti i calcoli illuminotecnici si è cercato di non lasciare niente al caso e di progettare soluzioni d'illuminamento che soddisfino tutti i requisiti necessari, affinché i visitatori del museo vengano richiamati dalle opere esposte.

5.1. Calcolo illuminotecnico del salotto al piano terra

La prima stanza presa in considerazione è il salotto del piano terra. Questo si trova in un angolo dell'edificio che fino al 1996 fungeva da granaio ed è alto 2,40 m. La forma della stanza non è perfettamente rettangolare ed è caratterizzata da pareti in pietra rivestite da pannelli di legno. Tutte le superfici della stanza sono rivestite in legno scuro, mentre il pavimento, anch'esso in legno; è leggermente più chiaro. La stanza presenta una porta e tre finestre; all'interno del salotto ci sono un forno a legna, usato per scaldare la stanza, ed un tavolo, sull'altro lato della stanza troviamo invece una macchina che all'epoca serviva per tessere. Nelle figure successive notiamo la forma della superficie del salotto e la posizione dei mobili all'interno della stanza.

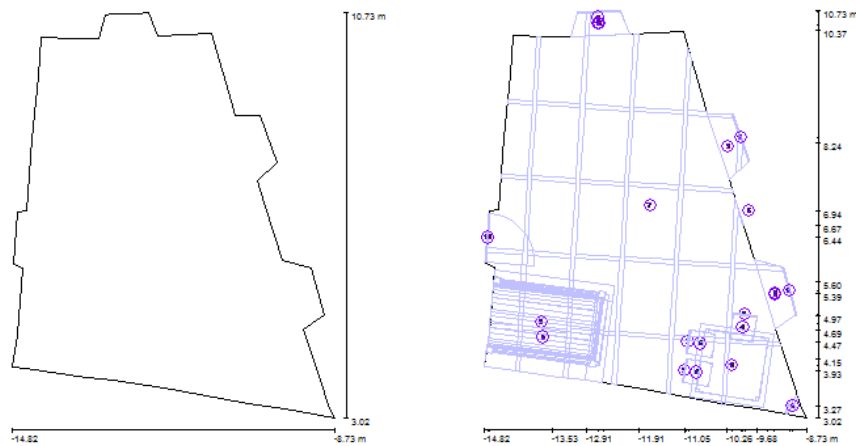


Figura 26: Pianta della stanza e disposizione dei mobili

Base:	32,21 m ²
Altezza totale:	2,4 m
Materiale superfici:	legno

Tabella 5 :Caratteristiche principali della stanza

Nonostante la stanza abbia tre finestre la luce all'interno di essa è molto carente soprattutto per colpa del legno scuro che riveste ogni mobile e superficie del salotto. Si è scelto di fare i calcoli illuminotecnici di questa stanza proprio perché è molto buia e gli oggetti esposti sono soltanto quattro: il forno a legna, la macchina per tessere ed altri due oggetti anch'essi caratteristici di salotti in stile tirolese, quali un orologio antico ed un crocifisso vicino al tavolo. Lo scopo non è quello di creare un'illuminazione totale di tutte le superfici della stanza, ma di illuminare con precisione il crocifisso, l'orologio e la macchina da tessere, cercando di attirare l'attenzione e lo sguardo del visitatore su di essi. Avremo quindi alcuni punti della stanza molto illuminati mentre il resto della superficie del salotto sarà poco illuminata. Le foto successive mostrano la stanza da alcune direzioni. Le medesime non sono foto originali ma ricreate con il programma di calcolo Dialux ed ognuna mostra la stanza ricreata nei minimi dettagli. In esse è inoltre possibile vedere dove è stato illuminato di più, cercando di far saltare all'occhio gli elementi importanti all'interno del salotto.

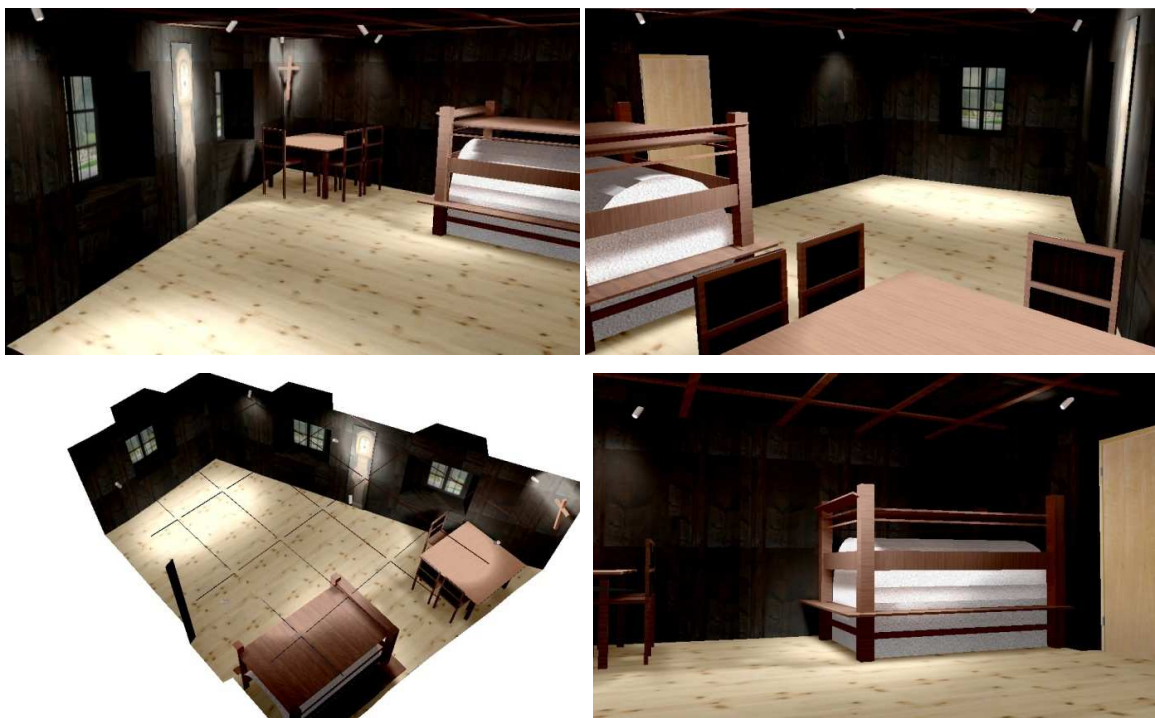


Figura 27: Salotto del piano terra

5.1.1. Variante a lampade tradizionali

La prima versione dei calcoli illuminotecnici del salotto al piano terra riguarda l'uso di corpi illuminanti simili, sia come caratteristiche di illuminazione che estetiche, alle lampade poste tuttora all'interno alla stanza. L'apparecchio attualmente installato non si può certo definire di cattivo aspetto, ma comunque completamente inadeguato alla forma ed alle superfici del locale. L'obiettivo posto in questa parte di tesi è stato cercare un prodotto di marchio Zumtobel in grado di soddisfare le esigenze illuminotecniche ed anche relativamente azzeccato per la geometria e per le caratteristiche estetiche della stanza. Si è scelto il prodotto PRIO di Zumtobel; si tratta di un faretto di colore bianco che monta lampade 1 x PAR 16/50W e con dimensioni molto modeste. Si è deciso di utilizzare il faretto PRIO per eseguire i calcoli illuminotecnici per le sue caratteristiche tecniche e perché esteticamente si sposa bene con le caratteristiche della stanza. La luce alogena è molto indicata come illuminazione di un sito o per porre in risalto qualcosa, poiché la luce chiara, intensa e focalizza molto bene, ad esempio, le opere d'arte.

Il faretto è di modeste dimensioni, ha un design moderno e facilmente inseribile in un contesto come quello di un museo. Una delle caratteristiche fondamentali del faretto PRIO è che è girevole in 360° ed orientabile in 90°. E' dunque orientabile in tutte le direzioni volute ed è in grado d'illuminare singolarmente qualsiasi oggetto all'interno del locale. Nelle fotografie seguenti si vede l'immagine completa e le caratteristiche costruttive del faretto.

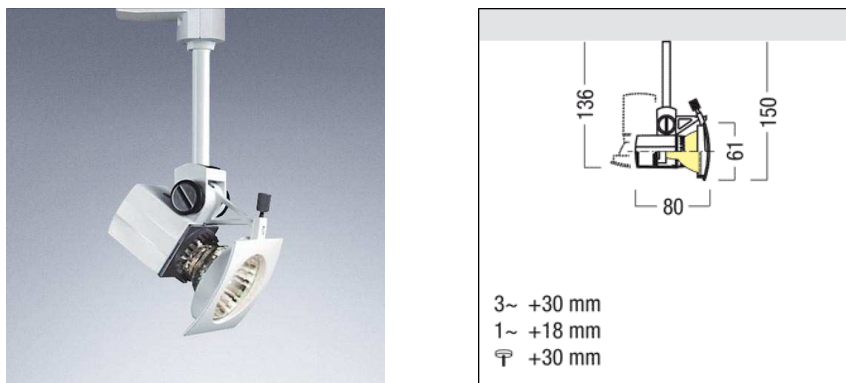
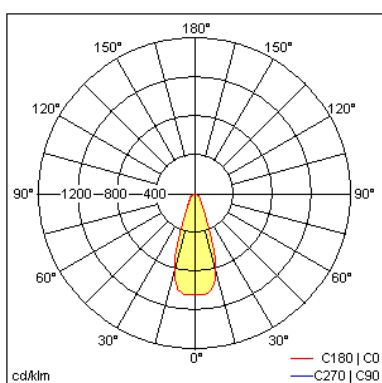


Figura 28: Faretto PRIO PAR 16

Si è scelto questo prodotto per la sua distribuzione luminosa; il prodotto PRIO con lampade da 50W presenta una curva fotometrica perfetta per l'illuminazione di questa stanza. L'andamento fotometrico del raggio luminoso è abbastanza stretto ed è per questo ideale per illuminare gli oggetti principali esposti in questa stanza del museo. La lampadina a 50W del faretto PRIO fornisce inoltre 540 lm più che necessari per illuminare oggetti d'esposizione a distanze non troppo elevate, come in questo caso. Le lampade alogene si riscaldano più delle lampadine incandescenti, pertanto non devono essere poste vicino a materiali sensibili al calore, in questa stanza non ci sono assolutamente problemi. Nell'immagine successiva vediamo la distribuzione luminosa del faretto PRIO.



Lampade:	1 x PAR 16/50W
Flusso luminoso totale:	540 lm
Classe resa del colore:	1A
Potenza:	50W

Figura 29: Curva fotometrica PRIO PAR 16/50W e tabella con caratteristiche principali

Per illuminare nella maniera più opportuna la stanza si è scelto di utilizzare 7 corpi illuminanti, cercando di evidenziare gli oggetti da illuminare. E' stato inoltre inserito all'interno del progetto, quindi all'interno della stanza, una superficie di calcolo posta ad un'altezza di 1,2 m che caratterizza dettagliatamente l'illuminazione della macchina da tessere.

Nelle seguenti immagini, si può notare il rendering dei colori sfalsati; si tratta di una caratteristica molto comoda del programma di calcolo Dialux, che permette di vedere in modo tridimensionale la distribuzione della luce all'interno della stanza. E' possibile notare che una volta impostati i colori ai vari livelli di lux, sia il crocifisso, che l'antico orologio appoggiato alla parete sono illuminati nel modo più opportuno. Anche sul tavolo si ha una distribuzione luminosa molto omogenea. Il forno a legna è stato illuminato soprattutto nell'angolo, cercando così di creare un effetto ottico visibile da tutte le parti della stanza. Anche la zona della stanza nella quale si trova la macchina tessile è stata illuminata omogeneamente su tutta la superficie

interessata. Vediamo il locale colorato con i colori sfalsati e notiamo come gli oggetti d'esposizione siano ben illuminati.

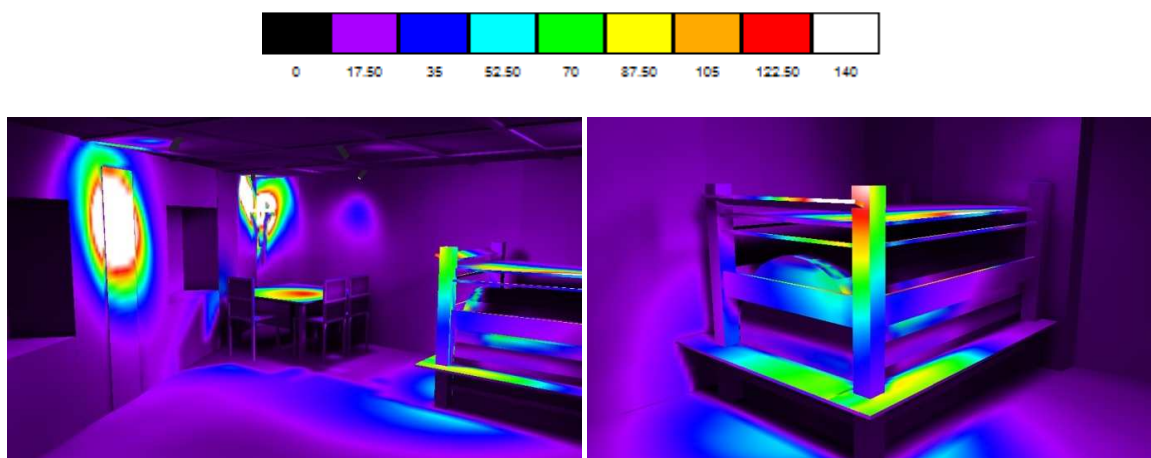


Figura 30: Rendering dei colori sfalsati

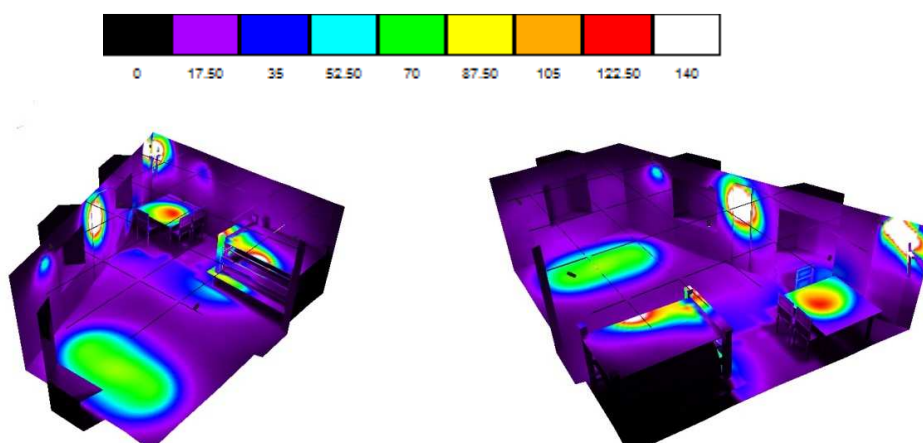


Figura 31: Rendering dei colori sfalsati

Vediamo adesso i valori di lux che abbiamo ricavato sul pavimento e sulla superficie di calcolo, che ricordo esser stati scelti nell'intorno della macchina da tessere, usando i faretto PRIO PAR16/50W ed inserendoli all'interno del locale:

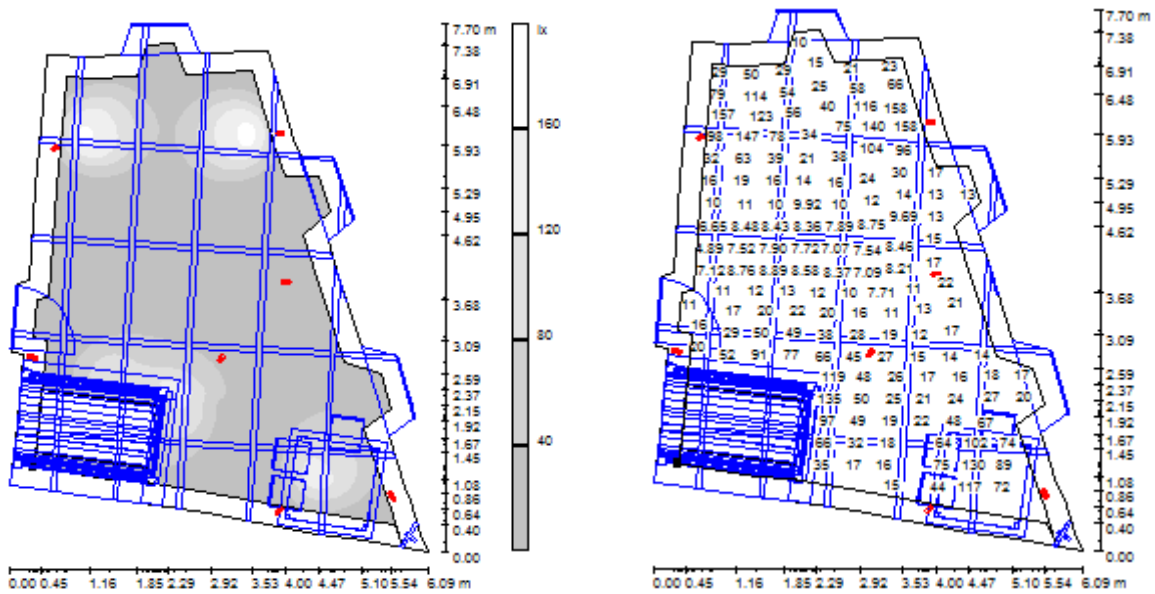


Figura 32: livelli di grigio e valori dell'illuminazione in lux della superficie della stanza

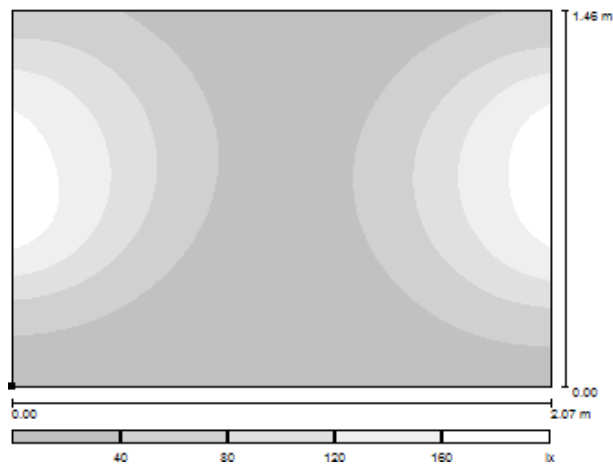


Figura 33: Livelli di grigio sulla superficie di calcolo

5.1.2. Variante a LED

La seconda versione dei calcoli illuminotecnici del salotto al piano terra prevede l'uso di corpi illuminanti a LED. Si è scelto di usare il prodotto SUPERSYSTEM di ZUMTOBEL, si tratta di una lampada di ultima generazione caratterizzata da due faretto a LED orientabili in qualsiasi direzione e quindi ideale per l'illuminazione di questa stanza. Tutto ciò è giustificato dal fatto che è una singola struttura, composta da due faretto, che permette di ridurre l'ingombro ed è esteticamente perfetta all'interno del salotto. Esso è un faretto d'incasso, si notano dunque solamente i due faretto, mentre tutta la struttura della lampada si trova all'interno del soffitto. L'apparecchio SUPERSYSTEM è disponibile sul mercato sia con una potenza di 2,5W che con una potenza di 4,5W. Si è deciso di usare il prodotto con potenza di 4,5W perché un flusso luminoso di 370 lm è più adeguato al tipo di stanza del faretto a 2,5W caratterizzato da un flusso luminoso di 147 lm.

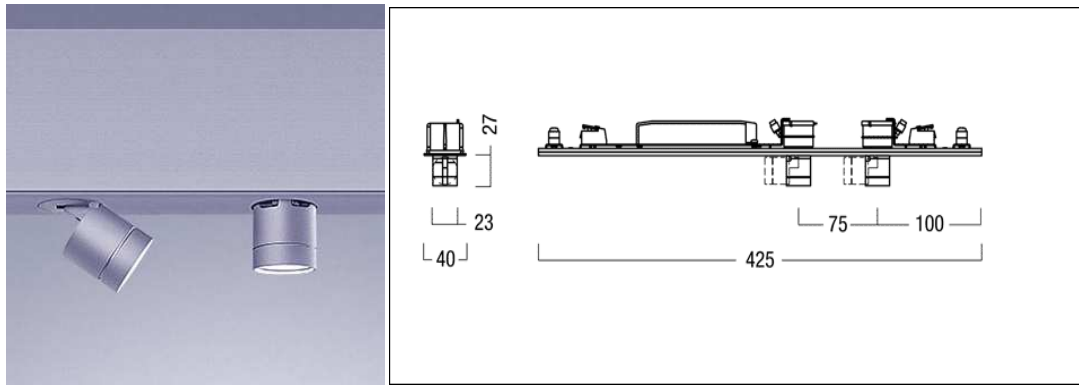
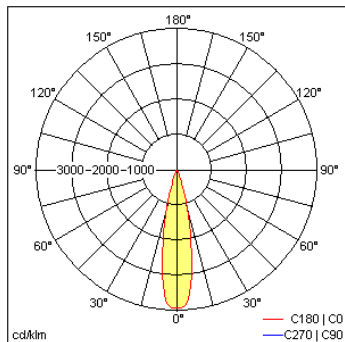


Figura 34: Faretto SUPERSYSTEM

Con i faretto SUPERSYSTEM si può inoltre scegliere quale lente montare su ogni singolo faretto in base alle esigenze. Per questa stanza i due faretto sono dotati di lenti rotonde e strette, utilizzate per illuminare la struttura della macchina da tessere. Sono state usate sette lenti WIDEFLOOD, quindi a fascio largo per altrettanti faretto. La scelta di queste ottiche è dovuta al fatto che si è cercato di illuminare gli oggetti d'esposizione in modo omogeneo. Un'altra caratteristica fondamentale del prodotto SUPERSYSTEM è il ridottissimo abbagliamento che provoca rivolgendo lo sguardo direttamente all'interno di esso; il rendimento del faretto SUPERSYSTEM è molto elevato giunge infatti a valori vicini al 78%.



Lampade:	1 x LED 4,5W
Flusso luminoso totale:	370 lm
Potenza:	6,5W

Figura 35: Curva fotometrica SUPERSYSTEM LED 4,5W e caratteristiche principali

Il faretto SUPERSYSTEM è girevole di 360° ed orientabile di 90° e quindi perfettamente indirizzabile. La colorazione è neutra e non produce raggi UV. Per l'illuminazione del salotto sono stati scelti quattro apparecchi SUPERSYSTEM, quindi otto farette, perché è il numero adeguato per illuminare perfettamente tutti gli oggetti esposti all'interno del salotto. Nelle prossime immagini si vede da diverse angolazioni, il rendering dei colori sfalsati, molto utile per individuare tridimensionalmente i punti della stanza illuminati in modo adeguato.

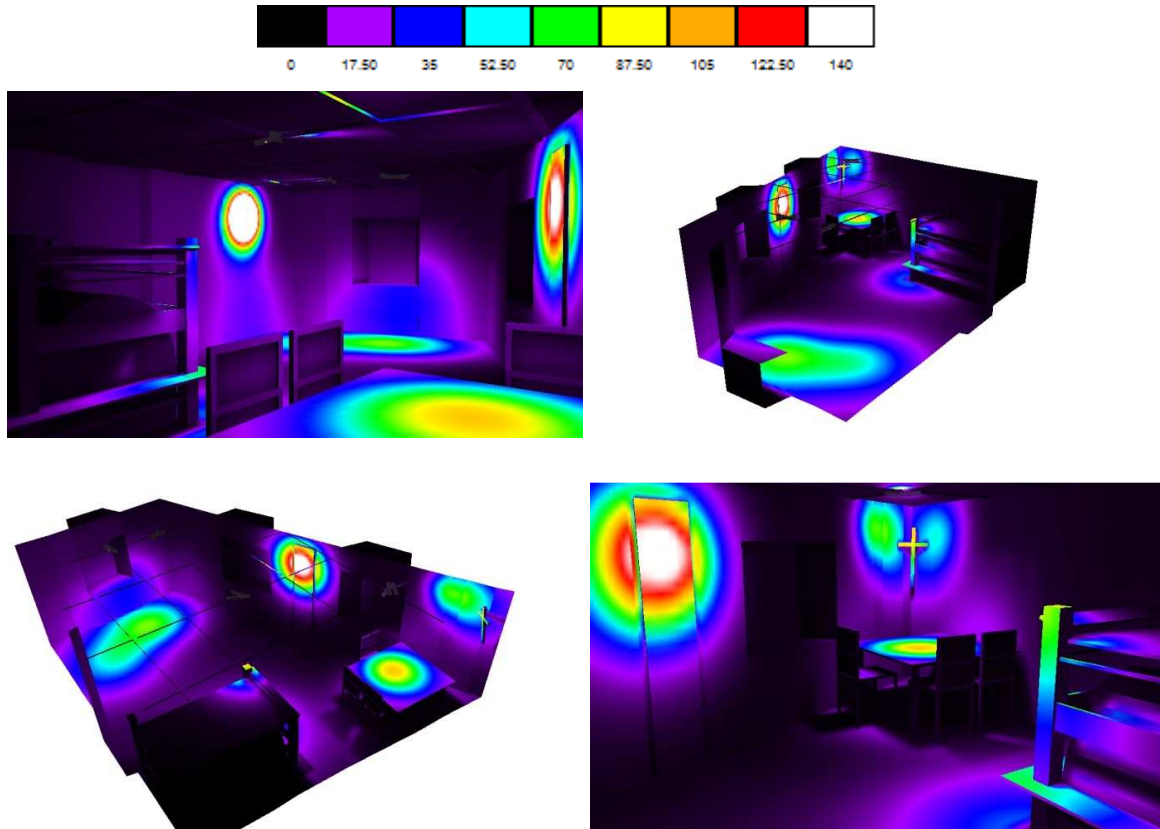


Figura 36: Rendering dei colori sfalsati della stanza illuminata mediante farette SUPERSYSTEM

Vediamo adesso i valori di lux che abbiamo ricavato sul pavimento e sulla superficie di calcolo usando i farette SUPERSYSTEM 4,5W ed inserendoli all'interno del locale:

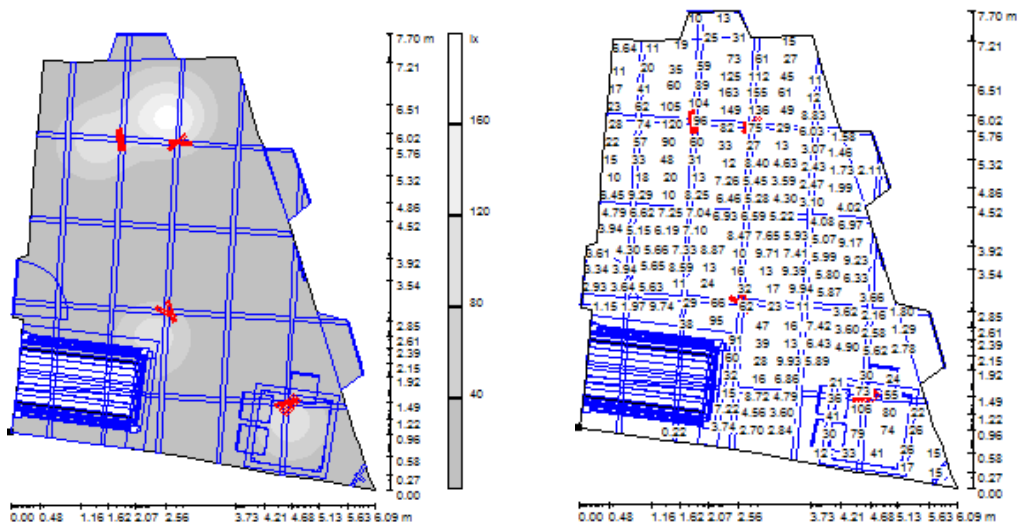


Figura 37: Livelli di grigio e valori illuminotecnici ottenuti con l'uso dei farette SUPERSYSTEM

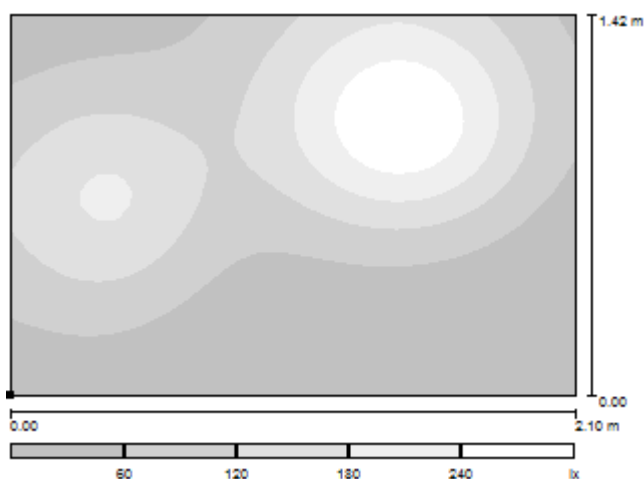


Figura 38: Livelli di grigio sulla superficie di calcolo

5.1.3. Distinta lampade e conclusione

La differenza principale tra le due varianti d'illuminazione del salotto al piano terra non sta tanto nei valori in lux che ricaviamo, ma nel consumo di potenza che abbiamo con un sistema o con l'alternativo.

Tabella 6: Variante tradizionale

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	7	Zumtobel PRIO 3PU 1/50W PAR16 WH	540	50,0
Totale:			3.780	350,0

Potenza allacciata specifica: $10,87 \text{ W/m}^2 = 29,10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $32,21 \text{ m}^2$)

Tabella 7: Variante con diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	2	Zumtobel SUPER 1/4,5W LED WW 230V	280	6,5
2	6	Zumtobel SUPER 1/4,5W LED WW 230V SP SRE + SUPER LED LINSE 4,5W	280	6,5
Totale:			2.520	52,0

Potenza allacciata specifica: $1,82 \text{ W/m}^2 = 7,63 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $32,21 \text{ m}^2$)

Si nota che il valore di lumen con i faretto PRIO attrezzati con una lampada di potenza pari a 50W è superiore al numero di lumen raggiunto con i faretto SUPERSYSTEM con lampade LED di 4,5W. Questo è dovuto al fatto che sono stati usati sette faretto PRIO, mentre le lampade SUPERSYSTEM utilizzate sono soltanto quattro nonostante ogni lampada sia composta da due faretto. La potenza in Watt invece è molto

inferiore se si utilizzano i faretti SUPERSYSTEM da 4,5W. La potenza totale con i faretti PRIO da 50W è di 350W, mentre con i faretti SUPERSYSTEM da 4,5W è di soli 52W. Considerando anche che i faretti LED utilizzati per illuminare il locale sono meno numerosi, la pulizia dei corpi luminosi risulterà essere più semplice e di tempisticamente più veloce, con una notevole riduzione dei costi.

Per concludere si nota l'immagine tridimensionale virtuale della stanza. Questo fotomontaggio creato con l'applicazione POV-Ray di Dialux mostra nei minimi dettagli tutte le superfici ed i mobili della stanza; grazie a questa modalità di disegno è possibile presentare nel modo più accurato gli effetti dell'illuminazione creata.



Figura 39: Fotomontaggio del salotto posto al piano terra

5.2. *Calcolo illuminotecnico della stanza multimediale del primo piano*

Questa è la stanza multimediale situata al primo piano e come il salotto del primo terra non è di forma rettangolare ma possiede un'altezza di 2,80 m. Sia le pareti che il soffitto della medesima sono bianchi ed il pavimento è invece in cemento liscio. La stanza presenta al suo interno una struttura in vetro fissata al muro; la medesima non è completamente trasparente e crea un piacevole effetto visivo, essendo illuminata da dietro. Sulla parete sono appoggiati tre tavolini di forma triangolare, anch'essi in vetro, sui quali sono collocati tre computer che descrivono visualmente le evoluzioni delle valli ladine nel corso dei secoli. La luce naturale penetra all'interno di questo locale attraverso una finestra ed una porta. Nelle immagini successive notiamo la forma della superficie della stanza e la posizione dei mobili descritti all'interno di essa.

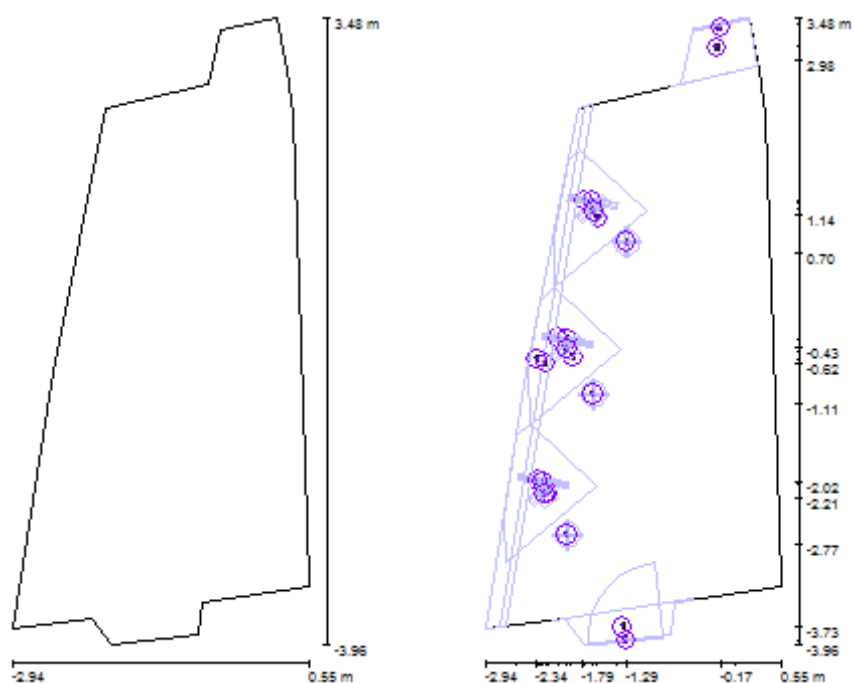


Figura 40: Pianta della stanza e collocazione dei mobili

Base:	18,37m ²
Altezza locale:	2,8m
Materiale superfici:	intonaco bianco
Materiale pavimento:	cemento liscio

Tabella 8: Caratteristiche principali della stanza esaminata

Nonostante il locale presenti una finestra, attraverso di essa non entra tanta luce; lo scopo di questa prima variante illuminotecnica proposta è illuminare omogeneamente tutta la superficie desiderata senza però abbagliare i visitatori seduti di fronte al monitor del PC. Le seguenti immagini sono state realizzate mediante l'uso del programma di calcolo Dialux; ognuna mostra la stanza nei minimi particolari ed è inoltre possibile osservare la collocazione dei mobili all'interno di essa.



Figura 41: Immagine tridimensionale creata utilizzando Dialux

5.2.1. Variante a lampade tradizionali

La prima versione dei calcoli illuminotecnici di questa sala multimediale prevede l'uso di corpi illuminanti tradizionali ma con aspetto moderno in modo che si sposino bene con le geometrie della stanza. In questa parte di elaborato di tesi si è cercato un prodotto Zumtobel in grado di soddisfare le esigenze illuminotecniche richieste; dato che la stanza è larga meno di 3 metri e quindi molto stretta si è optato per l'utilizzo di un apparecchio da parete. La scelta è caduta sulla lampada da parete Zumtobel LIGHT FIELDS con potenza di 80W ed ottica a microprismi che garantisce una distribuzione della luce molto omogenea. Questo apparecchio illumina soprattutto verso l'alto e quindi in modo indiretto; esso è stato studiato appositamente per l'uso in uffici ed ambienti che presentano al loro interno monitor di computer. L'abbagliamento luminoso è <13 il che vuol dire che l'abbagliamento creato dall'apparecchio è pressoché inesistente; LIGHT FIELDS si inserisce inoltre perfettamente nell'architettura del locale che non possiede superfici in legno, diversamente dalla maggior parte delle stanze di questo castello. Nelle immagini seguenti si nota l'immagine e le dimensioni della lampada a parete LIGHT FIELDS.

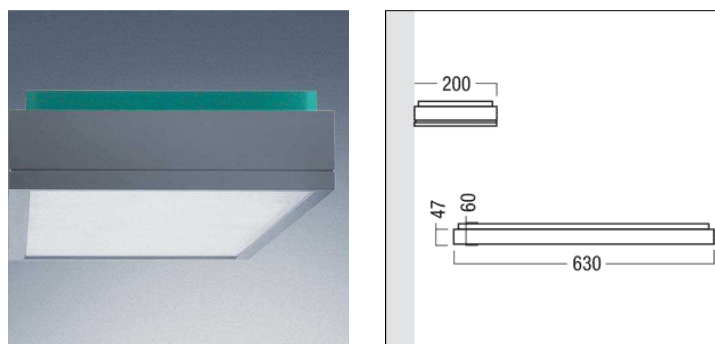


Figura 42: Apparecchio LIGHT FIELDS montato a parete

Si è deciso di montare LIGHT FIELDS ad un'altezza di 1.80 metri in modo che non disturbi minimamente il passaggio dei visitatori. Vediamo adesso la distribuzione luminosa della lampada e le caratteristiche principali.

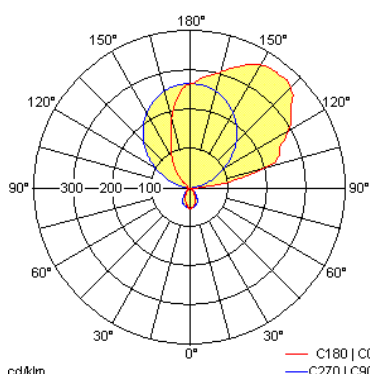


Figura 43: Curva fotometrica e caratteri che tecniche principali di LIGHT FIELDS

Lampade:	1 x TC-L / 80W
Flusso luminoso totale:	6.000 lm
Classe resa del colore:	1B
Potenza:	86W

Si è scelto di inserire due corpi luminosi LIGHT FIELDS da 80W all'interno del progetto illuminotecnico perché eseguendo i calcoli si è notato che utilizzando un numero superiore di apparecchi, i livelli di illuminazione sulle postazioni multimediali sarebbero stati eccessivi. Dalla tabella che è riportata sopra, si può notare che il livello di abbagliamento è molto modesto. La norma prevede che il livello di abbagliamento per stanze multimediali, quindi all'interno delle quali sono presenti monitor di PC, sia inferiore a 19. Secondo al UNI EN 12464-1 la luminanza media degli apparecchi con il flusso rivolto verso il basso che possono riflettersi deve essere limitata per angoli di elevazione di 65° ed oltre; la scala UGR è: 13-16-19-22-25-28. Grazie all'apparecchio LIGHT FIELDS, riusciamo a ricavare un valore inferiore a 13, siamo quindi perfettamente in regola. Vediamo il locale colorato con i colori sfalsati e notiamo come sia il pavimento che tutte e tre le postazioni multimediali siano illuminate correttamente. Si è scelto di usare nuovamente una scala dei lux che raggiunge i 140 lux e notiamo come questo valore si sia raggiunto facilmente usando il prodotto LIGHT FIELDS equipaggiato con lampade da 80W.

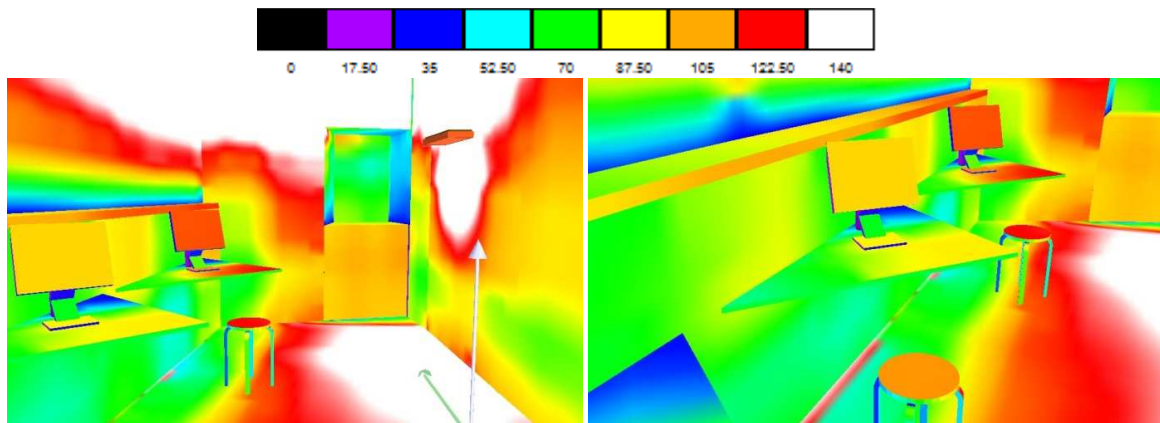


Figura 44: Rendering dei colori sfalsati

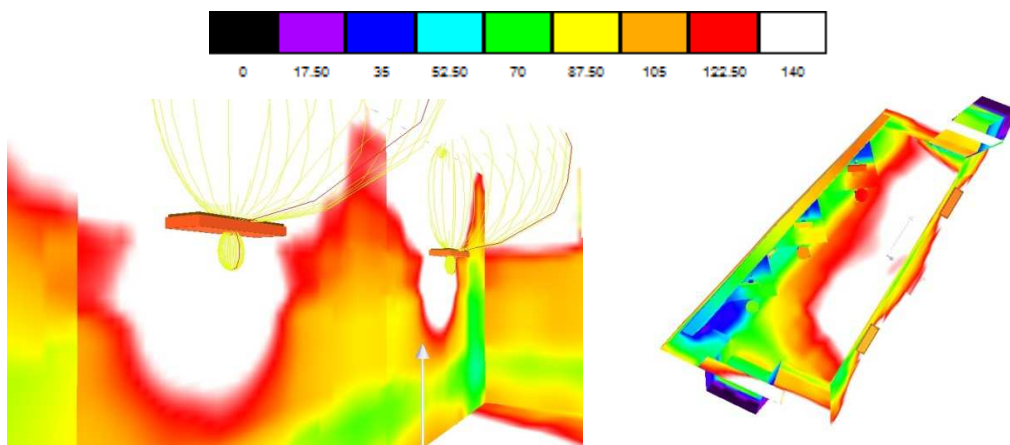


Figura 45: Rendering dei colori sfalsati. Da notare le curve fotometriche dell'apparecchi LIGHT FIELDS

Vediamo adesso i valori di lux che abbiamo ricavato sul pavimento e sulla superficie di calcolo usando due apparecchi LIGHT FIELDS con lampada TC-L da 80W ed inserendoli all'interno del locale:

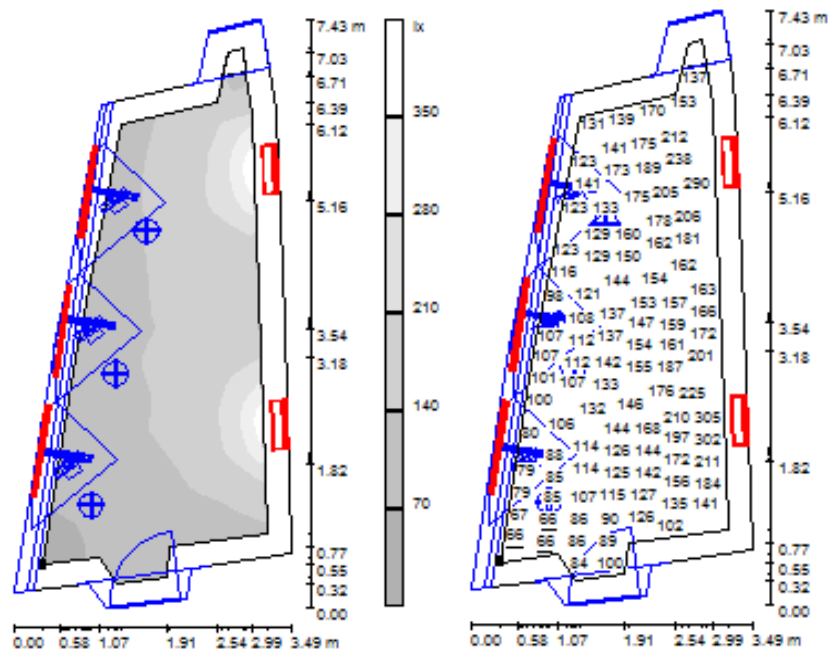


Figura 46: Valori di illuminazione sul pavimento della stanza multimediale

Si può osservare che attorno ai PC il valore di illuminazione non è altissimo ma si vuole ricordare che i tavoli sui quali sono collocati gli schermi non sono postazioni da lavoro e l'illuminazione è più che sufficiente. Come superficie di calcolo si è scelto il pavimento ma togliendo da tutti i lati 20 cm; il valore medio in lux ricavato è di 161.

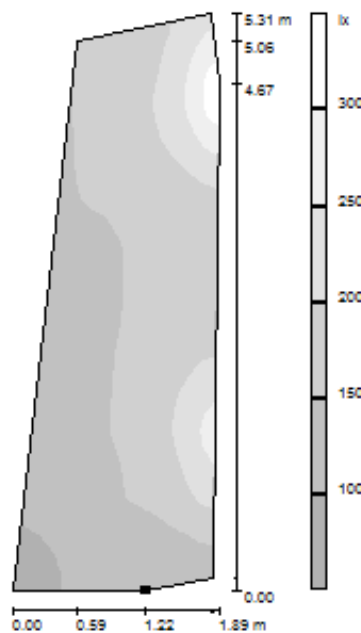


Figura 47: Diagramma che caratterizza i valori in lux dell'illuminazione sulla superficie di calcolo scelta in questa variante illuminotecnica

5.2.2. Variante a LED

L'alternativa a LED che si è cercata di proporre per questa stanza prevede l'uso del prodotto CAREENA; si tratta di un apparecchio a tecnologia LED che può essere montato sia a sospensione che ad incasso. Per l'illuminazione di questo locale si è scelto di montare l'apparecchio all'interno del controsoffitto di 15 cm, perché a differenza di molte altre stanze del museo, il soffitto è piatto e non presenta travi. L'apparecchio è profondo 13,5 cm e quindi possiamo montarlo con facilità all'interno del controsoffitto; montandolo in questo modo la stanza sembra essere anche più grande. Come per l'alternativa descritta precedentemente usando LIGHT FIELDS, anche l'apparecchio CAREENA presenta un'ottica a microprismi ed è quindi indicata in particolare per illuminare stanze nelle quali troviamo monitor di PC. Il medesimo è disponibile con una potenza di 52W ed ha la caratteristica fondamentale di creare una tonalità di luce neutra di 3.500K; gli apparecchi a LED in generale, presentano nella maggior parte dei casi questa caratteristica. Altro vantaggio fondamentale dell'apparecchio CAREENA è l'elevata resa cromatica che permette all'occhio umano di percepire in modo molto realistico i colori degli oggetti. Per stanze con PC al loro interno e quindi con le caratteristiche simili a questa, una resa cromatica così elevata (Ra 90) non sarebbe neanche necessaria ma secondo la norma dovrebbe essere tra l'80 e l'89. L'ultima e fondamentale caratteristica di questo prodotto è l'elevata durata delle sorgenti luminose superiore alle 50.000 ore con un flusso del 70%; questo permette di risparmiare molto sulla manutenzione e quindi sui costi complessivi dell'impianto. Diamo adesso un'occhiata alla lampada CAREENA da incasso.

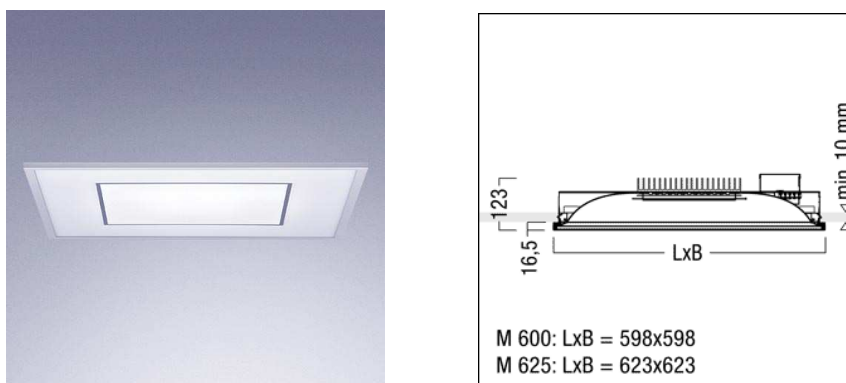
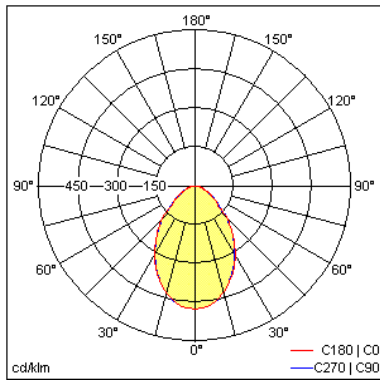


Figura 48: Apparecchio CAREENA Led da 52W

Si è inoltre scelto questo prodotto per la sua distribuzione luminosa; il prodotto CAREENA con potenza di 52W presenta una curva fotometrica perfetta per illuminare questa stanza. L'andamento fotometrico del raggio luminoso è abbastanza largo e permette in questa maniera di illuminare tutta la stanza fornendo inoltre 4.300 lm. Nell'immagine seguente si nota la curva fotometrica ed i dati principali della lampada a LED CAREENA da 52W.



Lampade:	1 x LED 52W
Flusso luminoso totale:	4.300lm
Classe resa del colore:	1A
Potenza:	52W

Figura 49: Curva fotometrica e caratteri che tecniche principali di CAREENA

Come per il prodotto LIGHT FIELDS descritto in precedenza, anche con l'alternativa a LED CAREENA riusciamo ad ottenere risultati ottimi per quanto riguarda l'abbagliamento, anche in questo caso il risultato di <19 fornito da CAREENA si può definire ottimo. Nelle seguenti immagini si vede da diverse angolazioni il rendering dei colori sfalsati che è molto utile per individuare tridimensionalmente i punti della stanza illuminati adeguatamente..

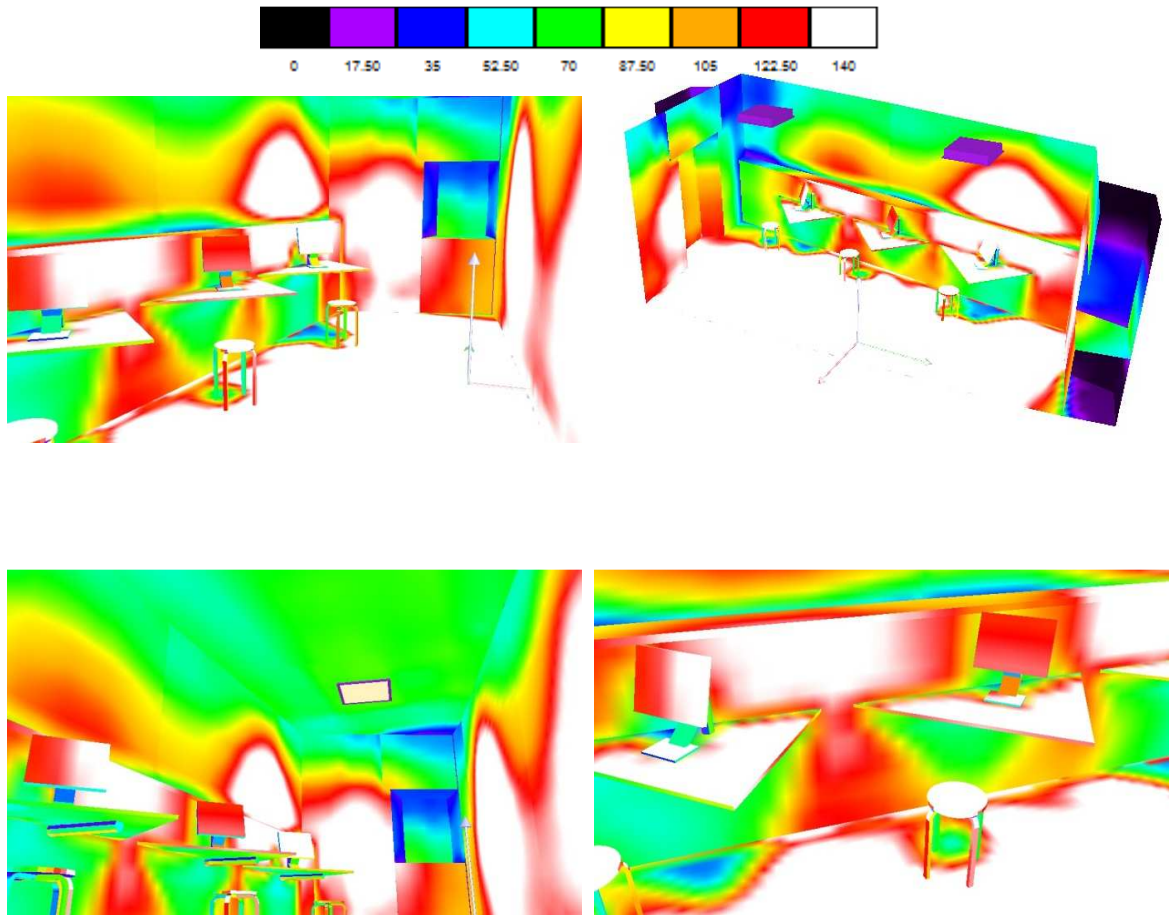


Figura 50: Rendering dei colori sfalsati della stanza multimediale illuminata utilizzando l'apparecchio CAREENA

Vediamo ora i valori di illuminazione che abbiamo ricavato sul pavimento e sulla superficie di calcolo che è identica a quella osservata in precedenza; usando gli apparecchi CAREENA 52W ed inserendoli all'interno della stanza multimediale otteniamo:

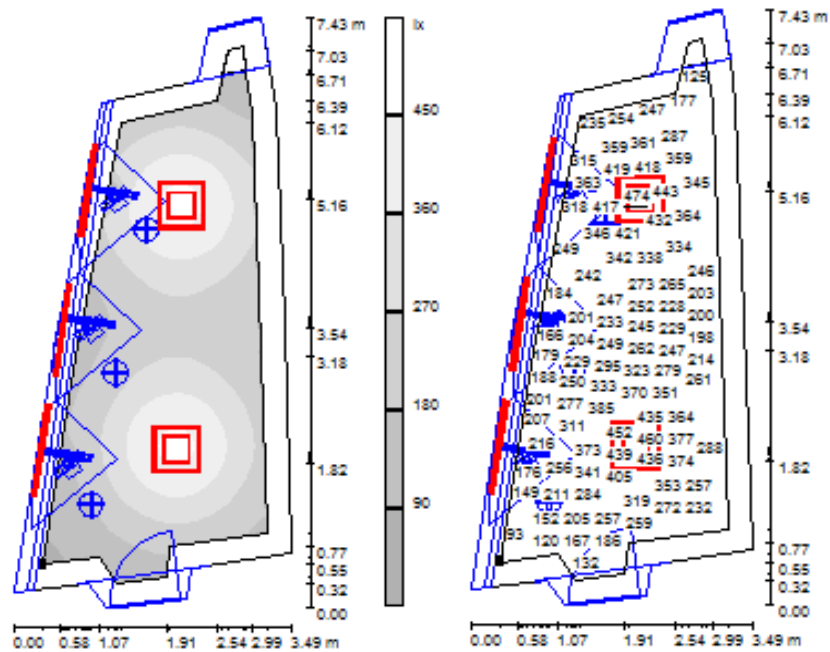


Figura 51: Valori di grigio e numerici dell'illuminazione della stanza

La superficie di calcolo che si è preferito utilizzare per questa variante non è uguale a quella osservata nel paragrafo 5.2.1 dato che gli apparecchi CAREENA emettono solo luce diretta; si è quindi creato una superficie di calcolo maggiore di prima ma posta sempre all'altezza di 0,85 m ottenendo risultati illuminotecnici migliori.

Per questo locale è stato utile creare una superficie di calcolo verticale, posta all'altezza del monitor centrale, in modo da poter osservare se il livello di riflessione della luce da parte degli apparecchi è veramente <19, come previsto dalla norma. Dall'immagine si nota chiaramente che l'abbagliamento presenta un valore massimo di 12 e minimo di 10; siamo quindi perfettamente a norma.

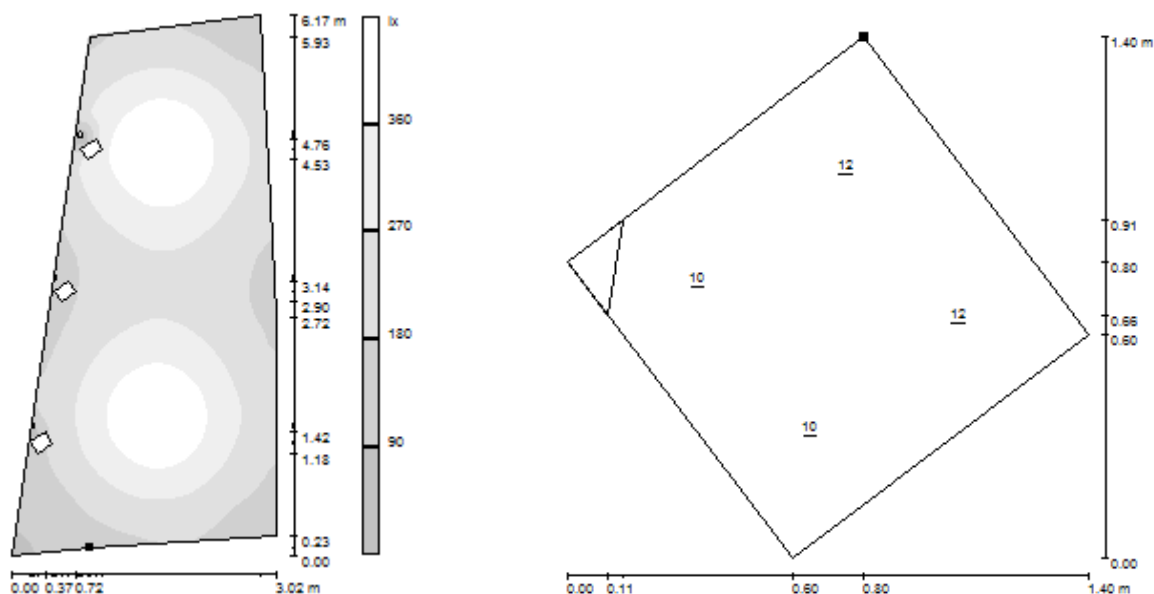


Figura 52: Livelli di grigio dell'illuminazione mediante CAREENA da 52 W. A destra si può osservarla superficie di calcolo che descrive il livello di UGR_L

5.2.3. Distinta lampade e conclusione

La differenza tra l'illuminazione della stanza multimediale al primo piano creata mediante l'uso di apparecchi a parete LIGHT FIELDS con lampade TC-L 1/80W e quella ottenuta utilizzando gli apparecchi ad incasso CAREENA a LED con potenza complessiva di 52W, è che risparmiamo nuovamente tanta energia e quindi spese se utilizzando apparecchi a LED.

Tabella 9: Variante con lampade tradizionali

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	2	Zumtobel L-FIELDS W-ID 1/80W TC-L	6000	86.0
2	3	Zumtobel TECTON 1/28W T16 LDE WH	2600	31.4

Potenza totale: 266,2W

Flusso luminoso totale: 19.800lm

Potenza allacciata specifica: $14,49 \text{ W/m}^2 = 9,65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $18,37 \text{ m}^2$)

Tabella 10: Variante a diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	3	Zumtobel 42128509 TECTON 1/28W T16 LDE WH	2600	31.4
2	2	Zumtobel 42177951 CAREENA E 52W LED 935	4300	52.0

Potenza totale: 198,2W

Flusso luminoso totale: 16.400lm

Potenza allacciata specifica: $10,79 \text{ W/m}^2 = 3,87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $18,37 \text{ m}^2$)

I prodotti TECTON sono quelli scelti per creare l'effetto luminoso dietro alla superficie vetrata appoggiata al muro; si è utilizzato TECTON 1/28W T16 in entrambe le varianti.

Per concludere, si noti il disegno tridimensionale virtuale della stanza. Questa immagine, creata con l'applicazione POV-Ray di Dialux, mostra nei minimi dettagli tutte le superfici ed i mobili della stanza; grazie a questa modalità di disegno è possibile presentare nel modo più accurato gli effetti dell'illuminazione ottenuta.



Figura 53: Fotomontaggio ottenuto con POV-Ray. Si nota la trasparenza delle superfici vetrate, le ombre prodotte dai mobili e la posizione di CAREENA da incasso all'interno della stanza multimediale. La luce proveniente dalla parete vetrata è creata da TECTON.

5.3. Sala d'esposizione del primo piano

La seconda stanza presa in considerazione al primo piano è quella in cui sono esposti i quadri che rappresentano alcuni vescovi vissuti all'epoca della costruzione del castello. Si tratta di una stanza di geometria identica a quella del salotto al piano terra descritto precedentemente, quindi non rettangolare. Diversamente però da quella al piano terra, questa sala non presenta tutte le superfici rivestite in legno. L'unica superficie in legno lucido è il pavimento, mentre sia le pareti che il soffitto della stanza sono bianchi. Per sorreggere l'intera stanza sono appoggiate al soffitto nove travi di legno scuro, distanti 60 cm l'una dall'altra. Queste travi rendono suggestivo l'ambiente perché creano un interessante contrasto visivo con il soffitto, che senza le travi risulterebbe vuoto. All'interno troviamo sette mobili di legno sui quali sono appoggiati lo stesso numero di quadri; i mobili sono disposti quasi parallelamente alle pareti della stanza. Questi mobili di legno hanno un'altezza di 2,10 m; la parte frontale è rivestita di un pannello, sempre di legno, ma di colore bianco. Questa colorazione è stata adottata per creare un contrasto con i vari quadri appoggiati. I dipinti esposti hanno forma quadrata ed hanno lati di 50 cm. La stanza ha inoltre una sola porta d'accesso e due finestre. Nelle immagini successive si possono notare la forma della superficie della stanza d'esposizione e la posizione dei mobili sui quali sono appoggiati i quadri all'interno.

Base	35,37m ²
Altezza locale	2,4m
Materiale superficie pareti	Intonaco bianco
Materiale superficie pareti	Legno chiaro lucido

Tabella 11: Caratteristiche della stanza

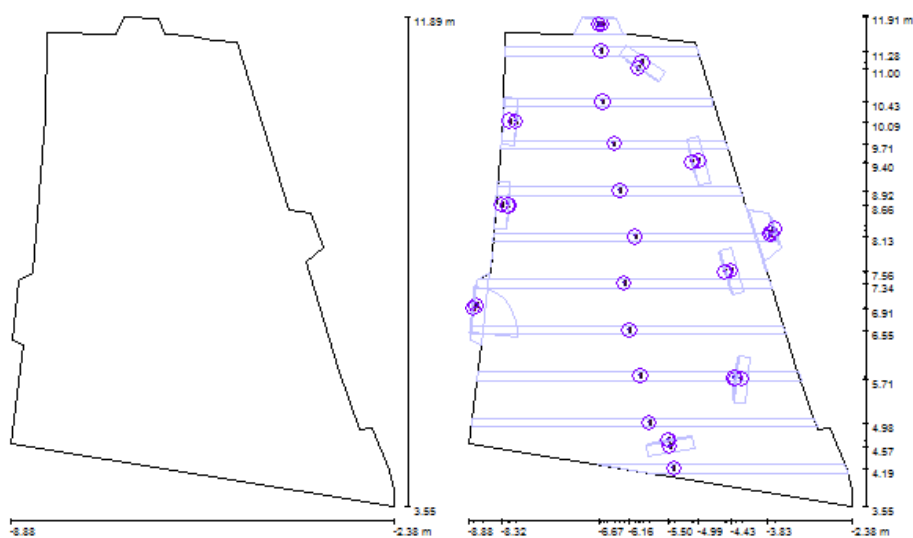


Figura 54: Superficie della stanza e collocazione dei mobili all'interno di essa

La luce naturale entrante non basterebbe ad illuminare con sufficienza i sette quadri esposti. Bisogna quindi scegliere innanzitutto un prodotto per illuminarli; la scelta è ricaduta sull'uso di faretti. È però necessario che questi siano di piccole dimensioni per non disturbare il design della sala d'esposizione. Occorre inoltre cercare un prodotto che si accosti bene con le travi in legno scuro, descritte in precedenza. Usando soltanto sette faretti, ovviamente orientati nella direzione dei quadri, la stanza risulterebbe sempre troppo buia per svolgere le operazioni di pulizia. Si deve quindi scegliere un'ulteriore prodotto da posizionare sempre sul soffitto che illumini con sufficienza anche il pavimento della stanza e non solo i quadri esposti ai visitatori. Durante gli orari di apertura al pubblico del museo le lampade al centro del locale rimarranno spente mentre verranno accese in fase di pulizia della stanza dal personale addetto. Le immagini seguenti ritraggono la stanza e gli oggetti al suo interno. Questi fotomontaggi sono stati creati usando il programma di calcolo Dialux.



Figura 55: Immagini tridimensionali della stanza create mediante Dialux

5.3.1. Variante a lampade tradizionali

L'obiettivo di questa fase del lavoro è cercare due prodotti ZUMTOBEL che soddisfino le esigenze richieste dalla stanza: creare un'adeguata illuminazione dei quadri esposti in questa sala e contemporaneamente scegliere un prodotto che illumini la stanza durante le fasi di pulizia. Per illuminare i quadri si è scelto un faretto che oltre ad avere le caratteristiche illuminotecniche adeguate non fosse troppo grande ed in tal modo non disturbasse l'architettura della stanza. La scelta è caduta sul faretto PICO50 con lampadina alogena QR-CBC da 20W; si tratta di un apparecchio di modeste dimensioni con diametro di soli 54 mm . Esso è di colore bianco e si mimetizza perfettamente con il soffitto anch'esso bianco; ha inoltre la

caratteristica di emettere un fascio di luce di 12°, molto stretto, ed è per questo motivo semplice orientarlo nella direzione desiderata. Le immagini seguenti mostrano sia la forma che le grandezze che contraddistinguono il faretto PICO50.

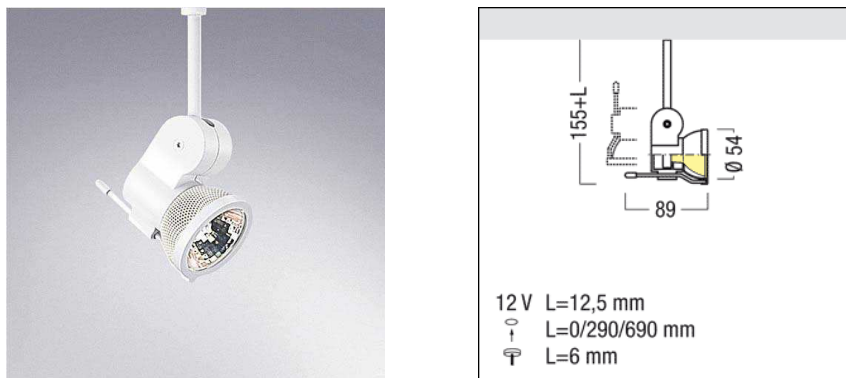
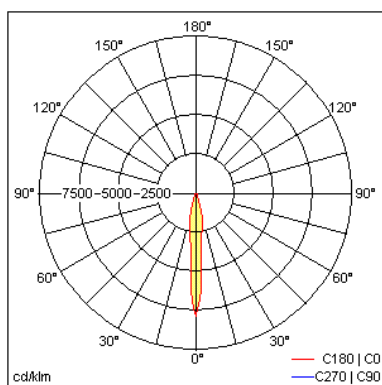


Figura 56: PICO 50

Nell'immagine seguente si vede la curva fotometrica del faretto PICO e si nota immediatamente come il fascio luminoso sia stretto.



Lampade:	1 x QR-CBC 51 / 20W
Flusso luminoso totale:	320 lm
Classe resa del colore:	1A
Potenza:	23W

Figura 57: Curva fotometrica dell'apparecchio PICO e caratteristiche tecniche della lampada

Vediamo adesso il rendering dei colori sfalsati della stanza dopo aver scelto di usare faretto PICO con lampadine alogene da 20W. Si nota chiaramente che soltanto i quadri sono illuminati, scopo primario dell'implementazione, mentre le pareti ed anche il pavimento presentano un livello di illuminazione soddisfacente soltanto per l'orientazione all'interno della stanza, ma sicuramente non necessario per eseguire le pulizie. Nell'immagine successiva si nota come solamente la superficie del quadro sia illuminata, mentre tutto il resto presenti un numero di lux inferiore.

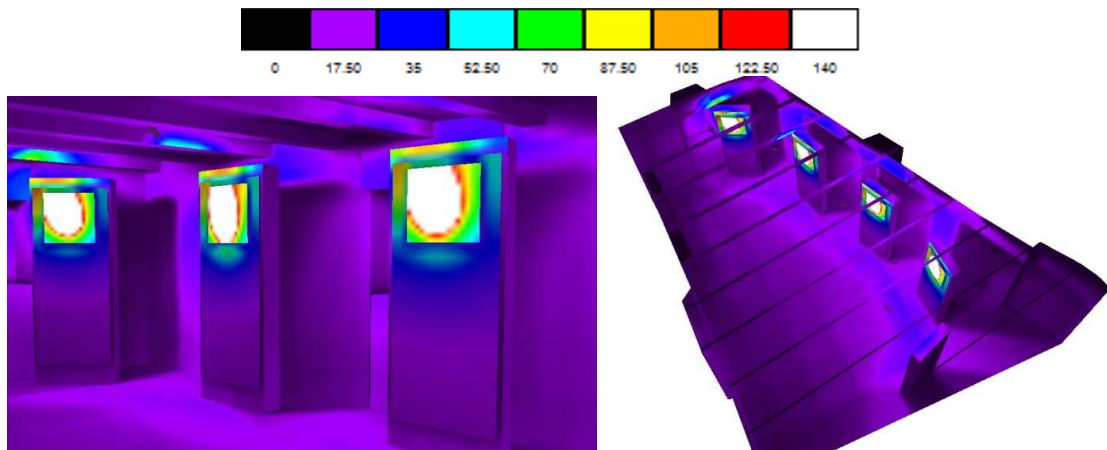


Figura 58: Rendering dei colori sfalsati della stanza d'esposizione

Il secondo prodotto da scegliere per creare l'adeguata illuminazione di questa stanza deve soddisfare le esigenze illuminotecniche in fase di pulizia della sala. Si è scelto la lampada PERLUCE O con due lampade TC-L da 18W. La lampada PERLUCE O è una plafoniera di forma quadrata con rifrattore opale, verniciata di bianco e con armatura d'acciaio. Queste caratteristiche fanno sì che l'apparecchio soddisfi la classe d'isolamento IP54, anche se in questa stanza non è necessario un isolamento così accurato. PERLUCE con due lampade TC-L / 18W al suo interno eroga un flusso luminoso di ben 2.400lm, più che necessari per l'illuminazione del pavimento della sala d'esposizione. Le immagini che seguono descrivono la forma e le dimensioni di PERLUCE O 2/18W.

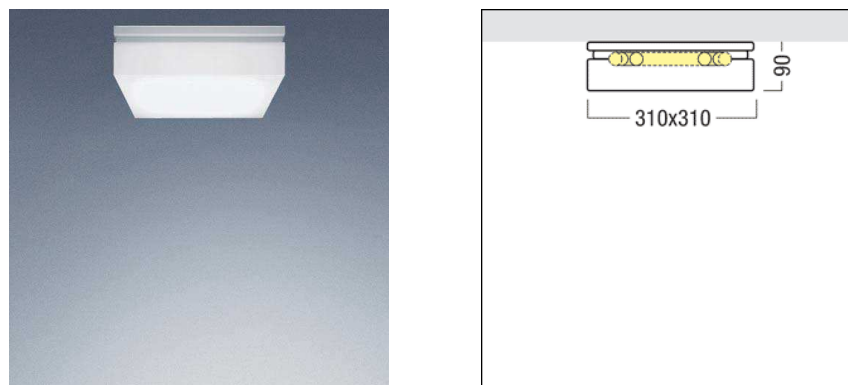
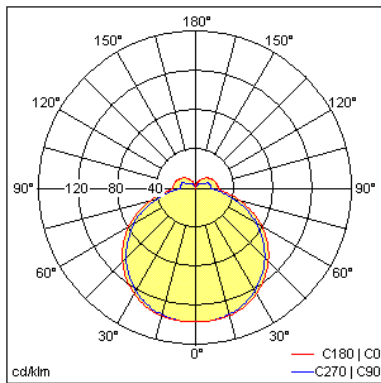


Figura 59: Forma e dimensioni di PERLUCE O 2/18W

Dall'immagine si vede chiaramente come siano collocate le due lampade TC-L all'interno dell'apparecchio. Si è scelto questo prodotto anche perché è di forma quadrata e per questo, se collocato tra una trave ed un'altra, non disturba in alcun modo la geometria del locale. Vediamo la curva fotometrica di PERLUCE nella prossima immagine.



Lampade:	2 x TC-L / 18W
Flusso luminoso totale:	2.400 lm
Classe resa del colore:	1B
Potenza:	42W

Figura 60: Curva fotometrica di PERLUCE e caratteristiche principali della lampada montata

La curva fotometrica di questo apparecchio è molto larga e di forma rotonda. Esso permette quindi di illuminare in modo ottimale tutta la stanza e di far sì che in fase di pulizia dei quadri e della sala d'esposizione ci sia la luce necessaria. Vediamo adesso le immagini a colori sfalsati della stanza illuminata sia con i farette orientabili PICO che illuminata con due apparecchi PERLUCE; la scala dei lux parte da un minimo di 0 caratterizzato dal colore nero ed arriva al colore bianco dei 140lux.

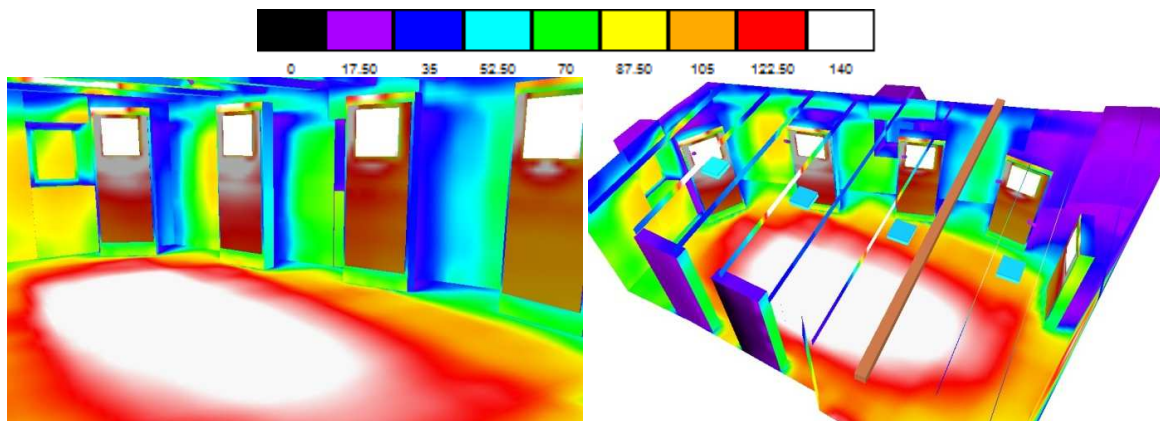


Figura 61: Rendering dei colori sfalsati della stanza ottenuto usando contemporaneamente PICO e PERLUCE

Notiamo adesso i valori di lux che abbiamo ricavato sul pavimento e sulla superficie di calcolo, usando contemporaneamente sia l'apparecchio PICO50 con lampada 1 x QR-CBC 51 / 20W ed anche l'apparecchio di forma quadrata PERLUCE O con lampada TC-L 2x18W. I risultati delle due immagini si riferiscono alla superficie completa del pavimento della stanza:

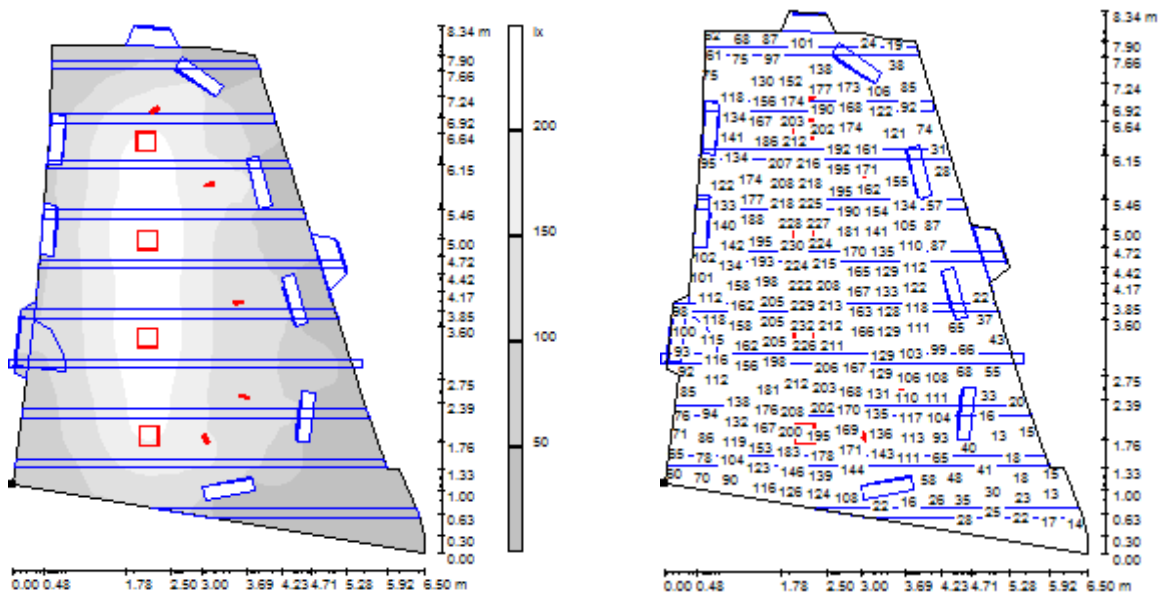


Figura 62: Livelli di grigio sul pavimento della stanza ottenuti accendendo anche le quattro apparecchi PERLUCE O 2/18W. Nell'immagine a destra si notano i valori d' illuminazione ottenuti

5.3.2. Variante a LED

Pel l'alternativa con apparecchi LED si è scelto di utilizzare nuovamente il sistema SUPERSYSTEM. Si tratta di un prodotto ideale non soltanto per le applicazioni viste in precedenza ma anche per l'illuminazione di quadri. Questo perché la tecnologia a LED permette di creare una illuminazione molto neutrale e non emette in alcun modo raggi ultravioletti che con il passare del tempo possono danneggiare la tela dei dipinti. Con la lampada a LED di 4,5W si può inoltre creare un flusso luminoso di ben 370lm totali, sufficienti ad illuminare con precisione ogni quadro esposto. Il faretto è, come già descritto, girevole in qualsiasi direzione e quindi facilmente orientabile verso l'oggetto desiderato; si ha inoltre la possibilità di applicare all'estremità del faretto diverse tipologie di lente. Per il salotto del piano terra si sono usate lenti normali e lenti a fascio largo WIDEFLOOD.

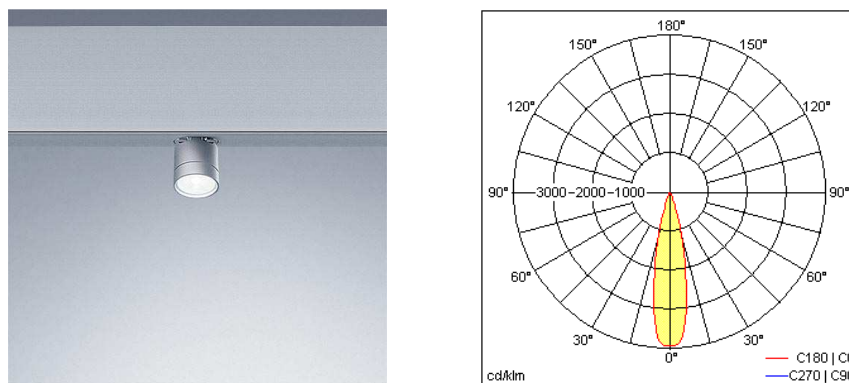


Figura 63: Immagine dell'apparecchio SUPERSYSTEM singolo e rispettiva curva fotometrica

Per l'illuminazione dei quadri all'interno di questa sala d'esposizione si è scelto di usare l'apparecchio SUPERSYSTEM con la lente ovale denominata OVALZ, la quale modifica l'emissione simmetrica omnidirezionale, rendendola ovale. L'andamento del flusso luminoso sarà quindi identico al faretto SUPERSYSTEM visto in precedenza ma con forma ovale. Nelle immagini seguenti si vede il risultato reale ottenuto ed il rendering dei colori falsati ricavato utilizzando il prodotto SUPERSYSTEM da 4,5W con lente ovale OVALZ.

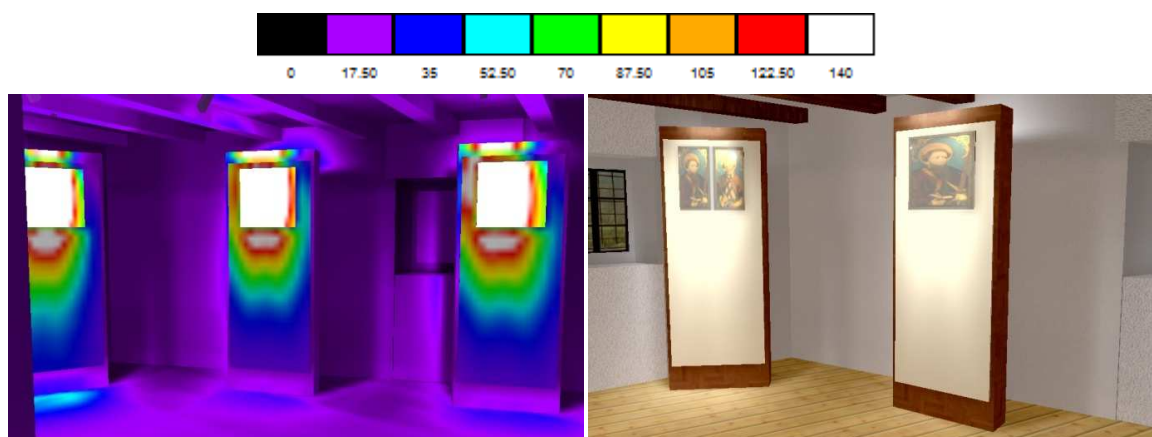


Figura 64: Nell'immagine a sinistra notiamo il rendering dei colori sfalsati sulla superficie dei quadri. Nell'immagine a destra si nota il fotomontaggio ottenuto illuminando i quadri con i faretti SUPERSYSTEM

Si vede chiaramente che i quadri sono perfettamente illuminati mentre all'esterno della cornice la luce è inferiore. Nella parte bassa della struttura che sorregge il quadro si è tentato di creare un piacevole effetto luminoso che fa sì che aumenti la luminosità dal basso verso l'alto e catturi l'attenzione al centro della pittura dove l'illuminazione ha il suo apice. Sulla parete della stanza, che si trova dietro alla struttura la luce è modesta e questo è un'effetto chiaramente voluto. Anche con l'alternativa a LED è stata creata una variante illuminotecnica della stanza che crei abbastanza luce per eseguire la pulizia del pavimento e delle altre superfici. Per questa variante si è scelto di utilizzare l'apparecchio CAREENA con potenza di 52W. La lampada CAREENA ha la caratteristica fondamentale di creare una tonalità di luce neutra di 3.500K. Altro vantaggio fondamentale dell'apparecchio CAREENA è l'elevata resa cromatica e l'elevata durata delle sorgenti luminose, superiore alle 50.000 ore con un flusso del 70%. Questo permette di risparmiare molto sulla manutenzione e direttamente sui costi complessivi dell'impianto. Si è inoltre scelto questo prodotto per la sua distribuzione luminosa. L'apparecchio CAREENA con potenza di 52W presenta una curva fotometrica perfetta per l'illuminazione di questa stanza. L'andamento fotometrico del raggio luminoso è abbastanza largo ed è ideale per illuminare tutta la stanza. CAREENA fornisce inoltre ben 4.300 lumen.

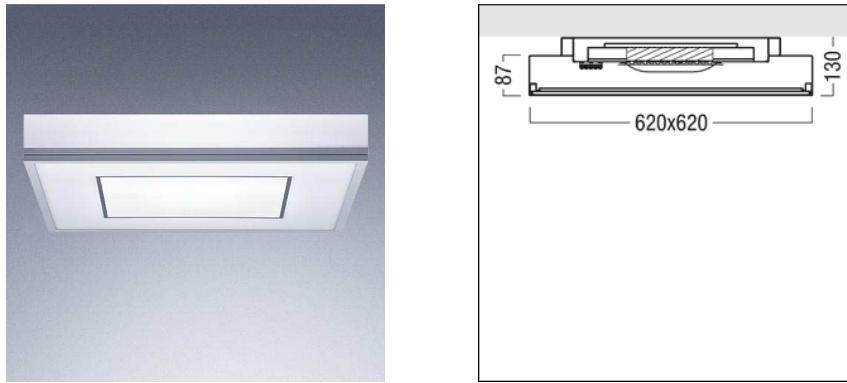
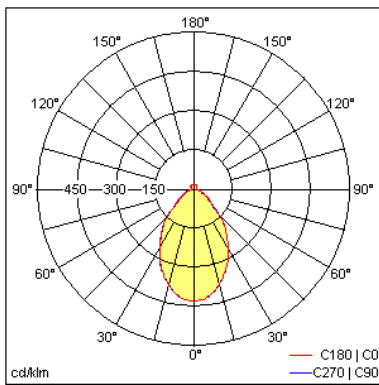


Figura 65: Strutture e dimensioni dell'apparecchio CAREENA



Lampade:	1 x LED / 52W
Flusso luminoso totale:	4.300 lm
Classe resa del colore:	A1
Potenza:	52W

Figura 66: Curva fotometrica e caratteristiche principali di CAREENA 52W

Nelle seguenti immagini si vede il risultato illuminotecnico ottenuto ed il rendering dei colori sfalsati, molto utile per individuare tridimensionalmente i punti della stanza illuminati in modo adeguato.

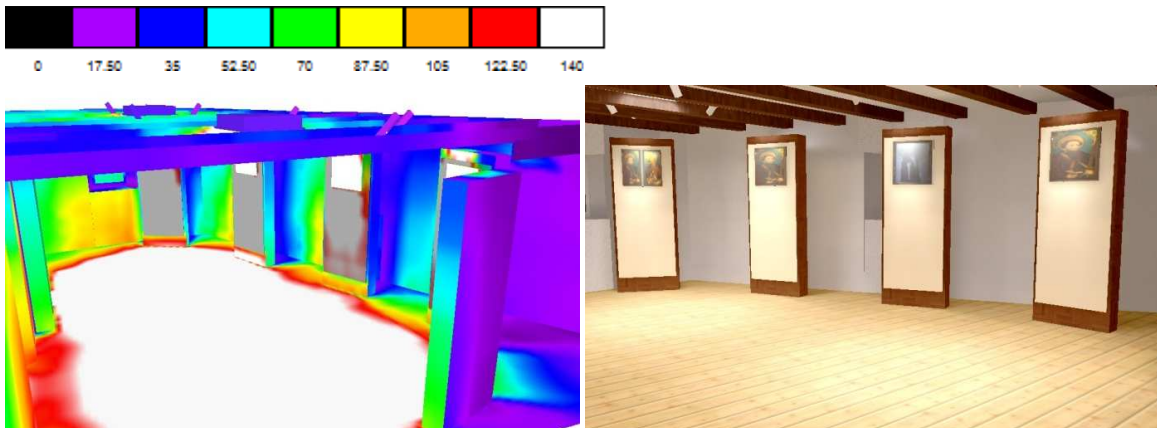


Figura 67: Rendering dei colori sfalsati ottenuto utilizzando CAREENA ed immagine della stanza illuminata correttamente

Vediamo ora i valori dell'illuminazione in lux che abbiamo ottenuto sul pavimento e sulla superficie di calcolo usando contemporaneamente l'apparecchio SUPERSYSTEM 4,5W dotato di lente ovale e l'apparecchio a plafoniera di forma quadrata CAREENA con potenza di 52W. I risultati nelle immagini si riferiscono alla superficie completa del pavimento della stanza.

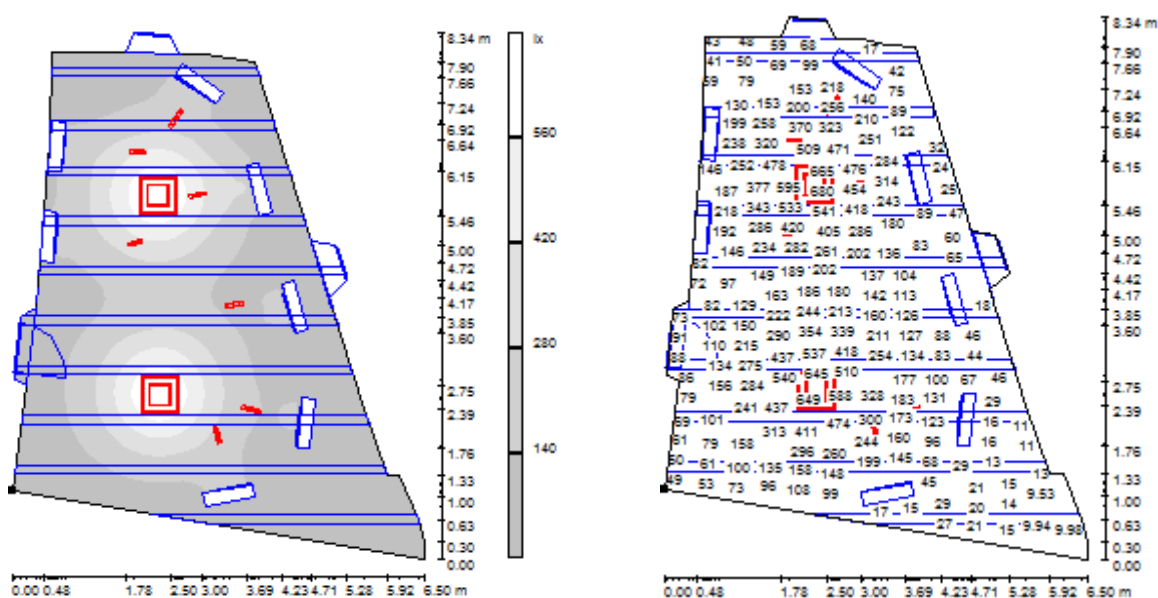


Figura 68: Livelli di grigio che mostrano graficamente la luminosità ottenuta ed immagine nella quale si notano i valori di lux ricavati

5.3.3. Distinta lampade e conclusione

La differenza tra l'illuminazione della sala di esposizione situata al primo piano del castello con gli apparecchi a parete tradizionali (PICO50 da 20W e PERLUCE O da 36W) e con gli apparecchi a LED (SUPERSYSTEM 4,5W e CAREENA da 52W) consta nel dimostrare il risparmio sul quantitativo d'energia e quindi sulle spese nell'utilizzo apparecchi a LED. Vediamo i risultati energetici ottenuti usando i due diversi sistemi.

Tabella 12: Variante con lampade tradizionali

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	4	Zumtobel 42 159 304 PERLUCE O 2/18W TC-L PM	2400	40.0
2	5	Zumtobel Set PICO 50 1/50W QR-CBC NV -	320	23.0

Potenza: 275,0W

Flusso luminoso: 11.200lm

Potenza allacciata specifica: $7,78 \text{ W/m}^2 = 6,43 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $35,37 \text{ m}^2$)

Tabella 13: Variante con diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	2	Zumtobel 42177951 CAREENA E 52W LED 935 M600	4300	52.0
2	7	Zumtobel Set 60210344 SUPER 1/4,5W LED WW 230V SP SRE + 60210351 SUPER LED LINSE 4,5W MC	280	6.5

Potenza: 149,5W

Flusso luminoso: 11.200lm

Potenza allacciata specifica: $4,23 \text{ W/m}^2 = 2,38 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $35,37 \text{ m}^2$)

Si nota che il livello complessivo del flusso luminoso non varia molto con l'uso di apparecchi convenzionali o con apparecchi di nuovissima generazione funzionanti a LED. La differenza più significativa si trova esaminando i risultati della potenza dissipata dagli apparecchi. Nel funzionamento con gli apparecchi a LED CAREENA e SUPERSYSTEM si risparmiano addirittura 125,5 W soltanto in questa stanza, rispetto al funzionamento con gli apparecchi PICO50 e PERLUCE.

Osserviamo il fotomontaggio finale della stanza d'esposizione del primo piano.



Figura 69: Fotomontaggio della stanza d'esposizione al primo piano

5.4. Calcolo illuminotecnico della stanza d'esposizione del secondo piano

La terza stanza del primo piano che viene presa in considerazione, della quale verranno eseguiti tutti i calcoli illuminotecnici, è la stanza situata a destra alla fine del corridoio principale ed espone cristalli di roccia dolomitica. Questi reperti sono posizionati all'interno di tre vetrine. Nella stanza sono inoltre esposti altrettanti pannelli in vetro che descrivono le caratteristiche materiali dei minerali. La caratteristica principale che distingue questa sala d'esposizione da tante altre stanze del castello è la forma ad arco del soffitto. Il punto più alto della stanza si trova ad un'altezza di 2,8 m, mentre, sui lati della stanza, l'altezza è di soli 1,6 m, dovuto ovviamente alla forma ad arco del soffitto. La stanza presenta una sola finestra ed anche una sola porta d'accesso. Come in altri luoghi del castello, la finestra non è in linea con il muro, ma si trova ad una distanza di 40 cm dalla parete del locale. Ritornando agli oggetti esposti, le vetrine si trovano ad un'altezza di 1,2 m, mentre le vetrine sono alte 1,15 m. Il pavimento della stanza è in cemento liscio, mentre le pareti ed il soffitto sono in intonaco bianco. Le seguenti immagini mostrano la geometria delle stanze, e la posizione dei mobili all'interno di essa:

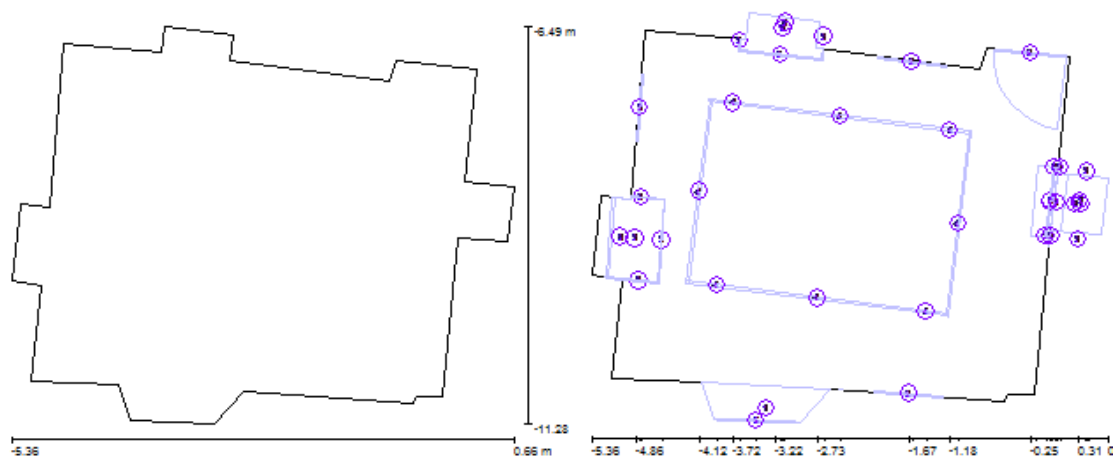


Figura 70: Superficie della stanza e collocazione dei mobili all'interno di essa

Base:	21,21 m ²
Altezza massima locale	2,8 m
Altezza minima locale:	1,6 m
Materiale pareti e soffitto:	intonaco bianco

Figura 71: Caratteristiche principali della stanza

La luce naturale che entra nella stanza passa esclusivamente attraverso la finestra ed attraverso la porta, non è quindi assolutamente sufficiente per illuminare gli oggetti esposti. Si è scelto di fare i calcoli illuminotecnici di questa stanza, proprio perché presenta un soffitto ad arco e perché è necessario illuminare i minerali esposti all'interno delle vetrine. Lo scopo non è quindi quello di creare un'illuminazione omogenea del pavimento, ma è portare in evidenza i tre minerali. Avremo quindi alcuni punti della stanza molto illuminati, mentre il resto sarà poco illuminata, ma comunque sufficiente per garantire sia ai visitatori di muoversi all'interno di essa, che al personale di fare le pulizie. Le immagini raffigurate in seguito mostrano la stanza da alcune direzioni. Non si tratta di vere e proprie fotografie, ma immagini ricreate con il programma di calcolo Dialux. Su queste immagini è inoltre possibile individuare i punti della stanza maggiormente illuminati.



Figura 72: Immagini tridimensionali della stanza ricreata con Dialux

Dalle immagini è possibile notare che le vetrine all'interno del programma Dialux, non si possono rappresentare trasparenti durante la fase di disegno. Una volta eseguiti i calcoli dovuti è però possibile, mediante l'applicazione POV-Ray di Dialux, trasformare le superfici che non appaiono trasparenti, in vetri.

5.4.1. Variante a lampade tradizionali

La prima delle due versioni illuminotecniche della stanza dei minerali dolomitici, riguarda l'uso di corpi illuminanti tradizionali, ma che si sposino bene con le caratteristiche della stanza. L'obiettivo è quello di trovare, nella gamma Zumtobel, un apparecchio in grado di illuminare nel modo più opportuno le vetrine e gli oggetti situati all'interno di esse. La stanza inoltre, come già spiegato in precedenza, non ha il soffitto piatto, ma è arrotondato. Per questo motivo l'unica possibilità che abbiamo di illuminare correttamente le vetrine all'interno della stanza è quello di sospendere ad una certa altezza dal suolo un binario elettrificato di forma rettangolare, sul quale verranno in seguito installati gli apparecchi illuminanti. Si è deciso di sospendere la struttura ad un'altezza di 2,35 m per non creare ai visitatori alcun disturbo. Il passo successivo è stato quello di trovare l'apparecchio giusto da collegare sul binario elettrificato. La scelta è caduta sul faretto PRIO, ma diversamente dal salotto situato al piano terra, si usano in questo caso lampade alogene PAR 20 con potenza di 50W. Il faretto PRIO PAR20 è alto 16,5 cm, per questo, anche se attaccato al binario elettrificato, si trova comunque ancora ad un'altezza di circa 2,20 m dal suolo. Il faretto PRIO PAR 20, collegato al binario elettrificato, si sposa bene con la caratteristica della stanza: è di modeste dimensioni ed

ha un design moderno e facilmente inseribile in un contesto come quello di un museo. Si è scelto l'apparecchio PRIO PAR20 di colore bianco, perché anche le pareti ed il soffitto sono dello stesso colore. Una delle caratteristiche fondamentali del faretto PRIO è la possibilità di orientarlo esattamente sull'oggetto da illuminare, poiché è girevole di 360° ed orientabile in 90°. È inoltre possibile spostarlo in tutte le direzioni lungo il binario sospeso. Le immagini seguenti si descrivono le caratteristiche costruttive del faretto.

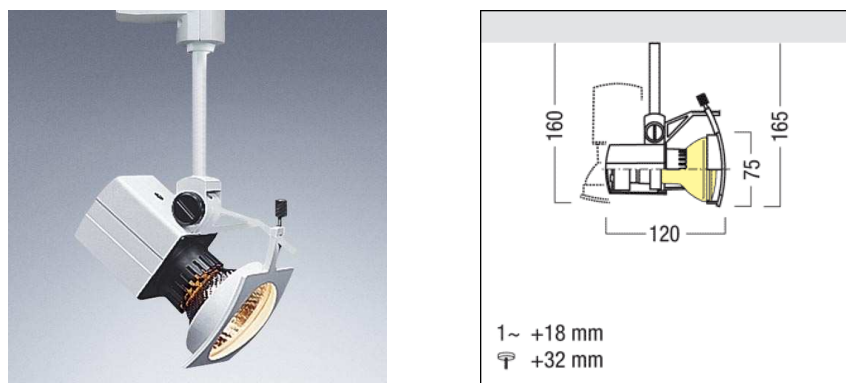
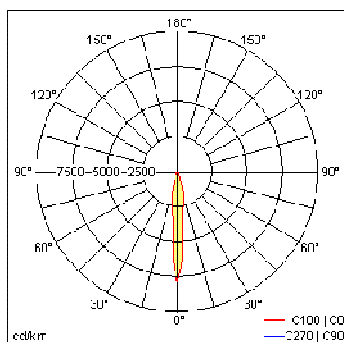


Figura 73: PRIO PAR 20

Non soltanto l'aspetto estetico di un prodotto, in questo caso PRIO PAR20, fa sì che lo si scelga per illuminare gli oggetti, ma bisogna anche valutare con esattezza la curva fotometrica che il faretto produce. PRIO PAR20 con lampade da 50W presenta una curva fotometrica ideale per l'illuminazione di questo genere di stanze. L'andamento fotometrico del raggio luminoso è stretto ed è per questo motivo ideale per illuminare le vetrine d'esposizione e gli oggetti al loro interno.



Lampade:	1x PAR 20/50W
Flusso luminoso totale:	450 lm
Classe resa del colore:	1A
Potenza:	50W

Figura 74: Curva fotometrica di PRIO PAR 20 e caratteristiche tecniche della lampada

Si è scelto di utilizzare otto faretti Zumtobel PRIO20 in questa stanza. Tre di questi apparecchi illuminano direttamente le tre vetrine che espongono i minerali dolomitici, altri tre illuminano i pannelli in vetro che descrivono le caratteristiche dei minerali e gli ultimi due sono orientati direttamente verso il suolo per creare un piacevole effetto ottico. Nelle seguenti immagini, si nota il rendering dei colori sfalsati. Questo permette di vedere in modo tridimensionale la distribuzione della luce all'interno della stanza interessata. Si vede che una volta impostati i colori ai vari livelli di lux tutti gli oggetti sono illuminati nel modo più opportuno. Si è anche scelto di illuminare le vetrine ed i pannelli di vetro da una direzione frontale ad essi, per il semplice motivo che i pannelli che documentano i minerali esposti si trovano a lato delle vetrine ed il

visitatore tende a posizionarsi esattamente tra la vetrina ed il pannello documentativo per poter sia osservare il minerale, che informarsi sulle sue caratteristiche. Rendering dei colori sfalsati.

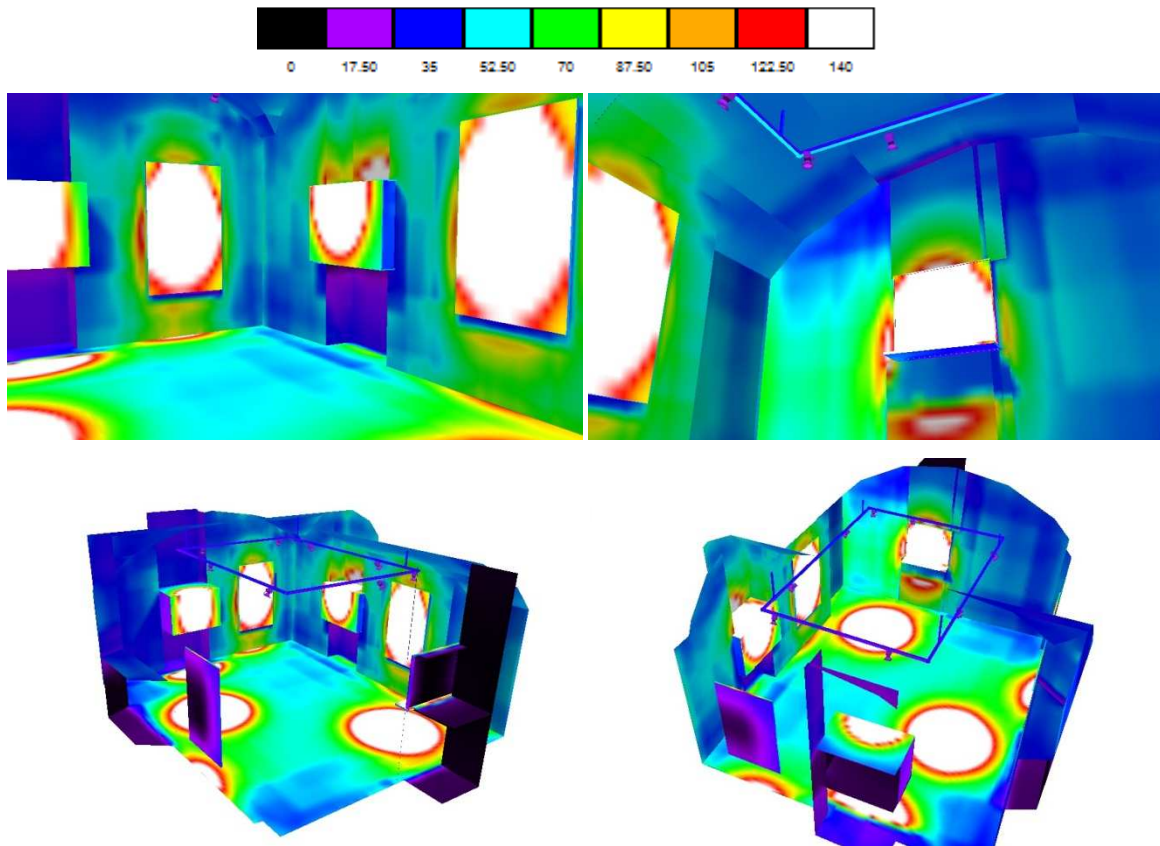


Figura 75: Rendering dei colori sfalsati della stanza illuminata con i faretto PRIO

Sul pavimento abbiamo ottenuto i seguenti valori di illuminazione:

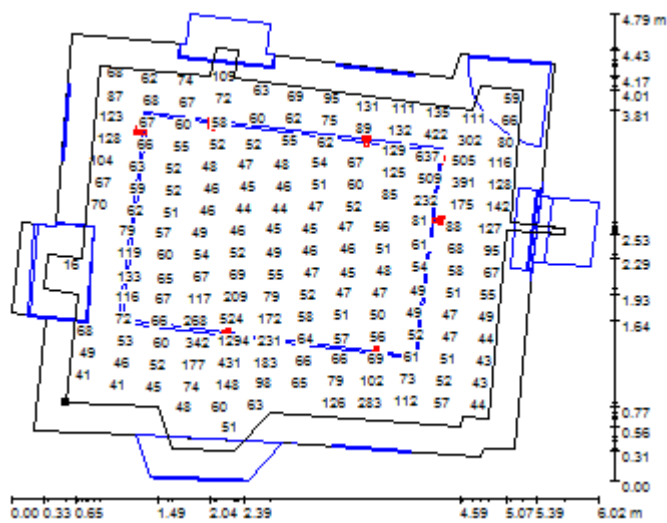


Figura 76: Valori di illuminazione ottenuti sul pavimento della stanza d'esposizione

Essendo questo locale una sala d'esposizione di vari oggetti si è deciso di creare una superficie di calcolo su uno dei tre pannelli in vetro. La superficie di calcolo è perpendicolare alla superficie dell'oggetto e si è ricavata un'ottima uniformità tra valore massimo e valore medio dello 78,6.

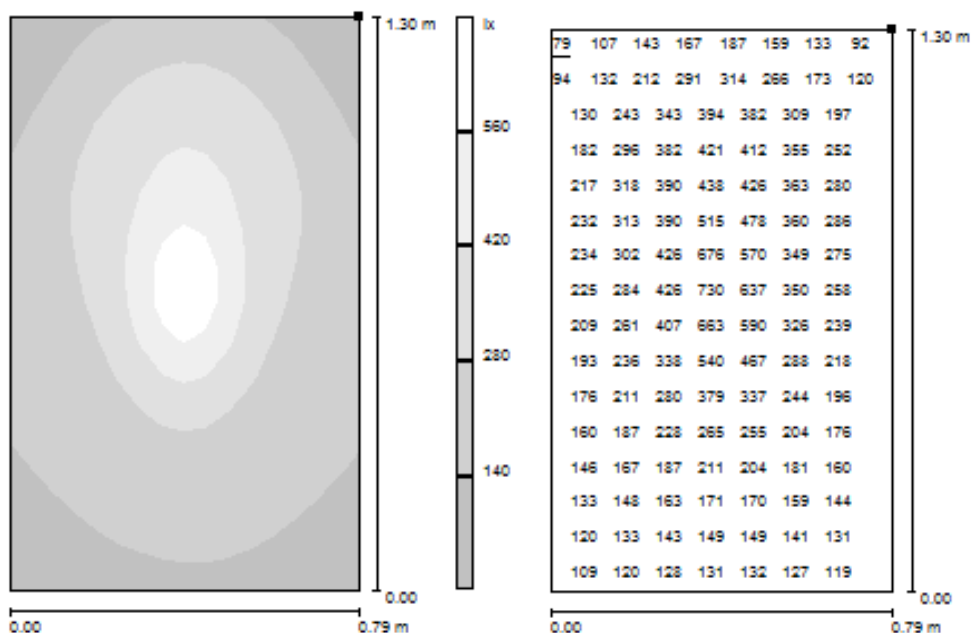


Figura 77: Graduazioni di grigio che e valori ottenuti sulla superficie di calcolo

5.4.2. Variante a lampade a LED

Si è nuovamente scelto di usare il prodotto SUPERSYSTEM di ZUMTOBEL per l'alternativa illuminotecnica di questa stanza. Si tratta di un apparecchio a LED di ultima generazione, sfruttabile in molteplici situazioni, come l'utilizzo ad incasso a plafone o, come in questo caso, per binari elettrificati, caratterizzato da un faretto a LED orientabile in qualsiasi direzione. La possibilità di orientare il faretto in ogni direzione lo rende alquanto interessante per l'uso nei musei. La struttura di SUPERSYSTEM è collegata al binario portante, mentre il faretto è estraibile dalla struttura e quindi orientabile. L'apparecchio SUPERSYSTEM si può avere sia con potenza di 2,5W che con potenza di 4,5W. Si è deciso di usare il prodotto con potenza di 4,5W perché con un flusso luminoso di 370 lumen è più adeguato al genere di illuminazione richiesta.

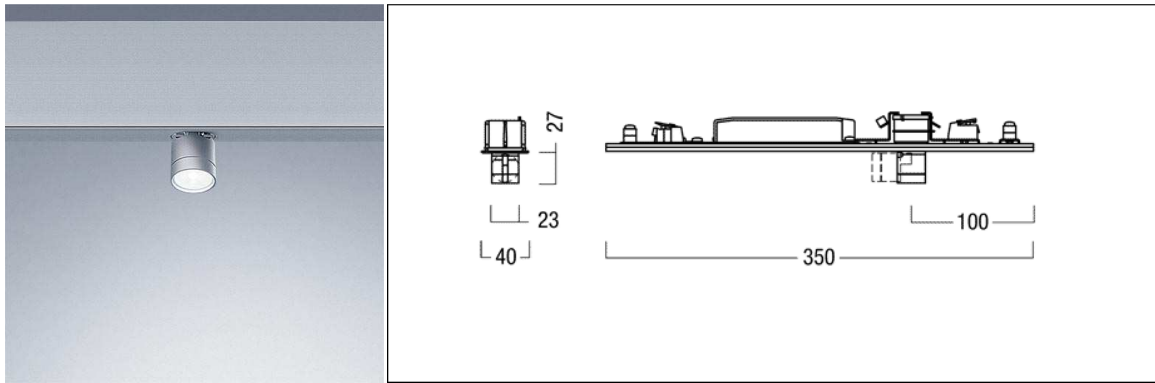


Figura 78: Immagine e dimensioni del faretto SUPERSYSTEM montato sul binario elettrificato

Nelle immagini seguenti si vede il risultato reale ottenuto ed il rendering dei colori falsati, ricavato utilizzando il prodotto SUPERSYSTEM da 4,5W montato su un binario elettrificato.

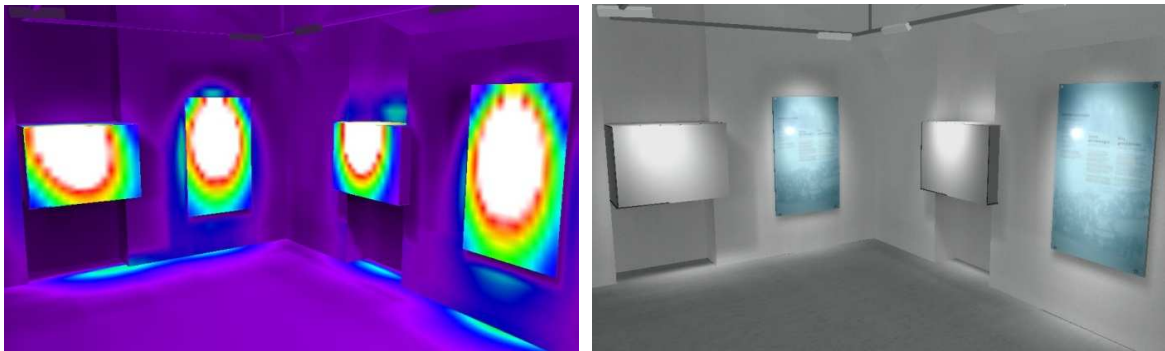
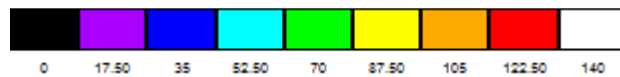


Figura 79: Renderind dei colori sflsati e fotomontaggio della stanza illuminata con faretto LED

Si vede con chiarezza che sia le vetrine, che i pannelli sono perfettamente illuminati, mentre intorno ad essi l'intensità della luce è molto inferiore. Anche in questa stanza lo scopo principale non è quello di illuminare il pavimento, ma gli oggetti d'esposizione, in questo caso pannelli e vetrine. Si nota inoltre che per creare un'illuminazione simile, ma più precisa ed esatta di quella vista prima con i prodotti SUPERSYSTEM, occorrono due apparecchi in meno. La colorazione della luce emessa da SUPERSYSTEM è neutra e completamente non produce raggi UV. Sul pavimento abbiamo ottenuto i seguenti valori di illuminazione:

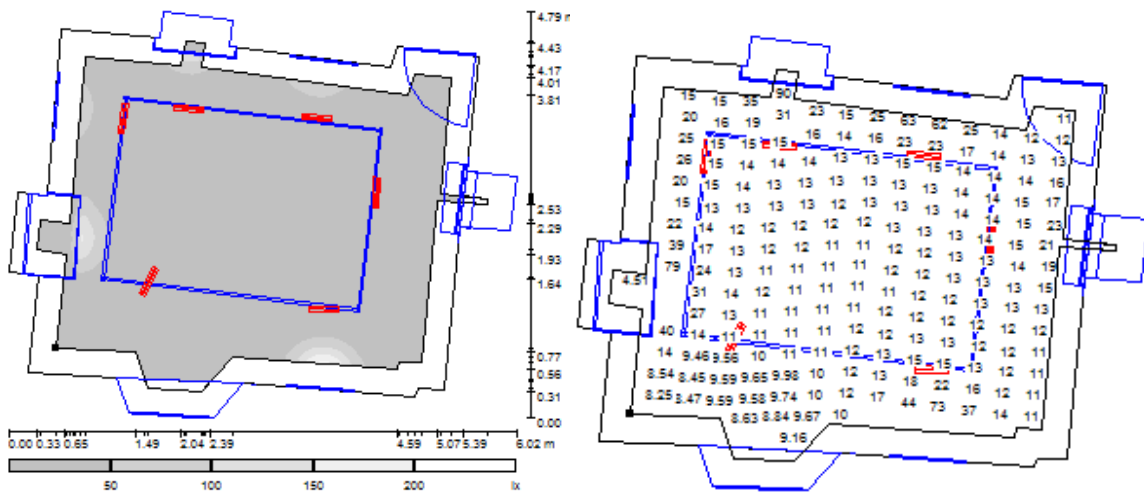


Figura 80: Tonalità di grigio e valori d'illuminazione sul pavimento del locale

Si vede che il numero di lux sulla superficie del pavimento è basso, ma come spiegato prima, è più che necessario, perché il nostro obiettivo primario è quello di illuminare le vetrine.

Sulla superficie di calcolo abbiamo invece ottenuto i seguenti valori di illuminazione:

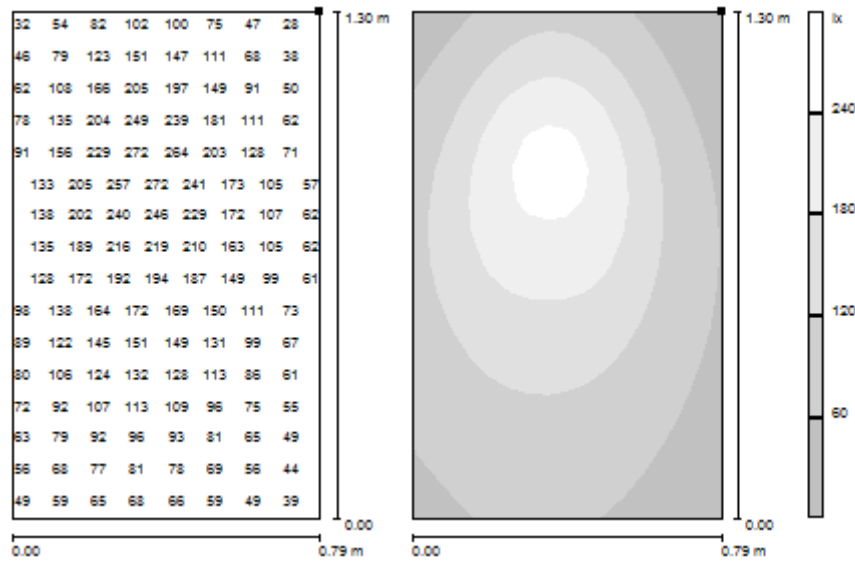


Figura 81: Graduazioni di grigio che e valori ottenuti sulla superficie di calcolo

5.4.3. Distinta lampade e conclusione

Da queste immagini vediamo che l'illuminazione con gli apparecchi SUPERSYSTEM è inferiore rispetto all'illuminazione con l'apparecchi PRIO PAR20. L'illuminazione è comunque più che necessaria anche con l'utilizzo degli apparecchi a LED ed è inoltre distribuita in modo molto più omogeneo rispetto all'illuminazione effettuata con PRIO.

Tabella 14: Variante lampade tradizionali

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	8	Zumtobel Set PRIO 1PH 1/50W PAR20 TI	450	50,0

Potenza totale: 400W

Flusso luminoso: 3.600lm

Potenza allacciata specifica: $18,86 \text{ W/m}^2 = 17,90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 21,21 m²)

Tabella 15: Variante a diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	6	Zumtobel 60210344 SUPER 1/4,5W LED WW 230V SP	280	6,5

Potenza totale: 39W

Flusso luminoso: 1.680lm

Potenza allacciata specifica: $1,84 \text{ W/m}^2 = 10,10 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 21,21 m²)

Anche se l'impianto illuminotecnico creato con i faretti PRIO dotati di lampada alogena PAR 20 50W, fornisce più del doppio del flusso luminoso rispetto all'impianto creato con SUPERSYSTEM 4,5W, i 1.680 lm dell'impianto creato con gli apparecchi a LED sono più che necessari. Da notare invece, la grande differenza di potenza elettrica necessaria per illuminare la stanza con un sistema oppure con l'altro. L'impianto creato con SUPERSYSTEM necessita di soli 39W, contro i 400W complessivi degli otto apparecchi PRIO20. Un'altra differenza tra i due impianti è quella estetica. L'impianto con faretti PRIO è molto più ingombrante rispetto all'altro sistema essendo Supersystem perfettamente inserito all'interno del binario elettrificato. Per questo motivo, anche la pulizia dell'impianto di illuminazione eseguito con l'apparecchio a LED risulta molto più semplice e quindi i costi di manutenzione calano ulteriormente. Vediamo il fotomontaggio eseguito con POV-Ray. Tutti i dettagli delle superfici della stanza e dei mobili all'interno di essa sono perfettamente riconoscibili ed ora anche le superfici vetrate risultano trasparenti.



Figura 82: Fotomontaggio finale della stanza d'esposizione dei minerali illuminata correttamente

5.5. *Calcolo illuminotecnico della stanza multimediale al secondo piano*

Si è deciso di eseguire il calcolo illuminotecnico del locale multimediale situato al secondo piano, all' interno della torre centrale del castello. Diversamente dagli ambienti analizzati finora, questa stanza è di forma rettangolare, ed è alta 3,60 m. Le pareti della stanza sono tutte in pietra, mentre il soffitto è di legno, ed è sorretto da sei travi orizzontali, anch'esse di legno. Il pavimento è rivestito in legno e presenta tre avvallamenti che sono stati regolati, all'altezza media della stanza per mezzo di lastre di vetro, attraverso le quali è possibile osservare il pavimento originale in pietra. All'interno della suddetta è situata una scala di cemento liscio a sei gradini, che consente ai visitatori del museo di passare dal corridoio del secondo piano alla stanza. Questo locale è molto buio durante l'orario d'apertura del museo, non essendoci finestre. Come nella stanza multimediale del primo piano anche qui monitor dei PC sono posti su tre tavoli triangolari di vetro. I tavoli sono sorretti da una struttura di vetro leggermente trasparente usata per creare un effetto luminoso che attira i visitatori verso le postazioni multimediali. Nelle due immagini che seguono si nota la geometria del locale e la posizione dei mobili.

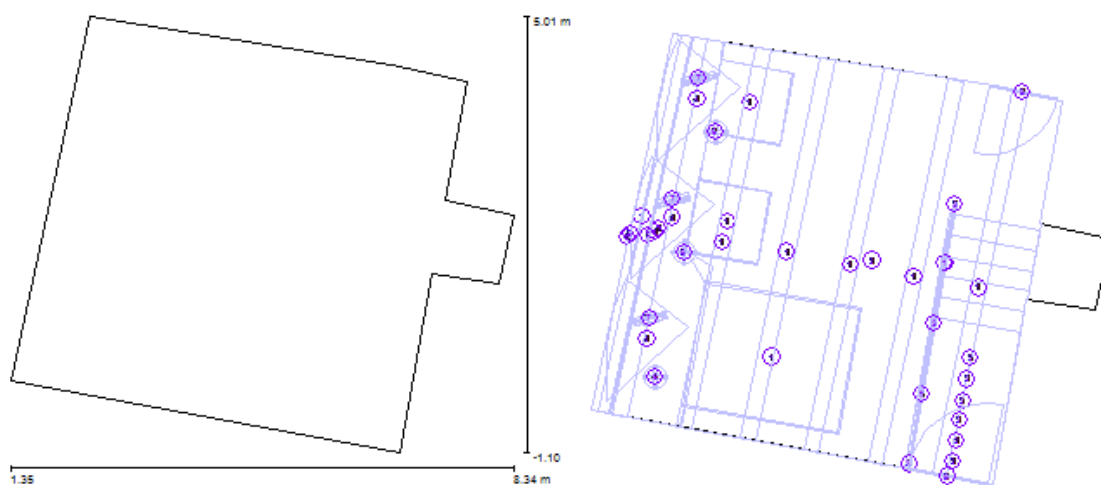


Figura 83: Planimetria della stanza multimediale e disposizione dei mobili

Altezza locale:	3,6 m
Materiale superfici pareti:	pietra a vista
Materiale pavimento:	legno scuro
Materiale soffitto:	legno
Base:	29,43 m ²

Tabella 16: Caratteristiche principali della stanza

Come notato in precedenza la stanza è molto buia e non è previsto che venga illuminata completamente. L'obiettivo primario dell'impianto illuminotecnico in loco è illuminare a regola d'arte la scala e di trovare un apparecchio che soddisfi le esigenze illuminotecniche in fase di pulizia delle locale. Nelle immagini successive si può osservare la struttura ed i mobili all'interno della stanza e l'illuminazione delle scale.



Tabella 17: Immagini della stanza e dei mobili all'interno di essa

5.5.1. Variante a lampade tradizionali

Il primo progetto illuminotecnico effettuato in questo ambiente, situato all' interno della torre riguarda l'uso di corpi illuminanti tradizionali. La fase iniziale prevede la scelta di un apparecchio Zumtobel che soddisfi le esigenze d'illuminazione della scala. La norma 10380 prevede che tutte le scale, sia fisse che mobili, situate all'interno di edifici e zone pubbliche presentino un'illuminazione media di 150 lux. È dunque necessario illuminare i sei scalini in modo tale che l'illuminazione media sia di 150 lux e la sicurezza dei visitatori venga garantita. La norma UNI EN 12464-1 prevede inoltre che il coefficiente di riflessione luminoso UGR_L per stanze che presentano all'interno monitor di PC non superi il 19.

Per ciò che riguarda l'illuminazione delle scale si è scelto l'apparecchio 2LIGHT MINI E. Si tratta di un apparecchio da incasso quadrato e di modeste dimensioni avente i lati di soli 115 mm. La lampada scelta per questo apparecchio è una lampada ad alogenuri metallici HIT-TC-CE da 35W. L'armatura dell'apparecchio è completamente chiusa e non possono per questo motivo entrare corpi estranei. La superficie esposta è un vetro di sicurezza IP44. Il 2LIGHT MINI è equipaggiato con un vetro di protezione che crea un effetto Mellow-Downlight, che diffonde la luce in maniera morbida. Entrando nella stanza dall'entrata superiore il visitatore non viene in alcun modo ostacolato trattandosi di un apparecchio da incasso. Nelle immagini sottostanti si notano le dimensioni, il design e la curva fotometrica dell'apparecchio 2LIGHT MINI.

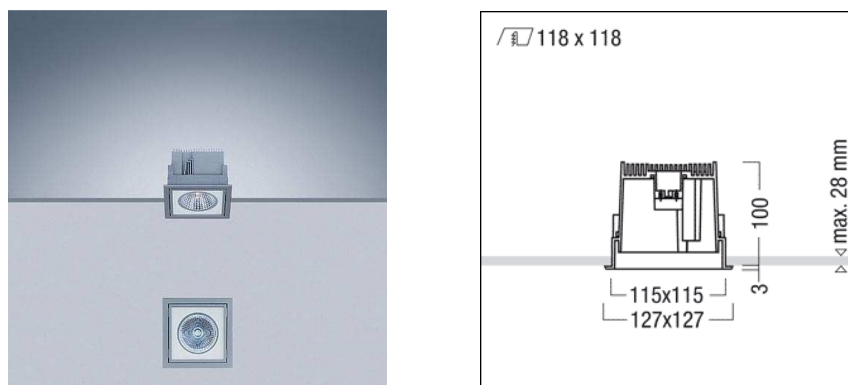


Figura 84: 2 LIGHT-MINI

Trattandosi di un apparecchio ad emissione FLOOD, il fascio di luce creato è abbastanza largo da illuminare con sufficienza tutta la larghezza della scala. Usando il programma di calcolo Dialux, si è notato che per creare 150 lux lungo tutta la medesima sono necessari tre 2LIGHT MINI. Osservando il rendering dei colori sfalsati si nota che l'illuminazione sulla scala supera i 150 lux e quindi il primo obiettivo posto nel progetto illuminotecnico della stanza è stato raggiunto. Negli altri punti dello spazio soggetto allo studio in questione avremo invece molta meno luce, ma è quello che richiede il genere di locale, ed i 10 lux di media presenti sul pavimento sono più che sufficienti a garantire la sicurezza del visitatore. Usando questo genere di apparecchi e ponendoli nella corretta posizione è possibile creare il cosiddetto effetto scolloping; tale effetto è la distribuzione dei coni luminosi lungo una parete. Affinché sia gradevole alla vista è necessario che gli apparecchi siano posti alla stessa distanza l'uno dall'altro e dalla parete illuminata. Si nota l'effetto scolloping nell'immagine successiva.

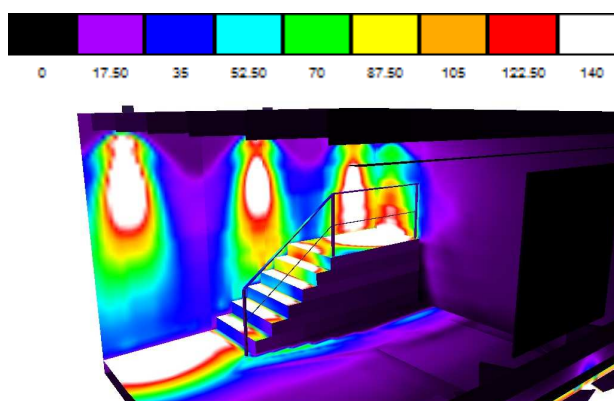


Figura 85: Rendering dei colori sfalsati della stanza multimediale

Per l'illuminazione completa del locale si è invece scelto l'apparecchio a plafone SLOTLIGHT. Si tratta di un linea luminosa con la struttura di alluminio ed il riflettore in vetro opale. Usando due apparecchi SLOTLIGHT con due lampade T16 da 49W e dato che l'apparecchio dispone di una lunghezza totale di 2.855 mm è possibile illuminare con precisione tutta la stanza. SLOTLIGHT è disponibile sia a plafone che da incasso ma si è dovuto optare per la prima soluzione a causa del raggio molto aperto della curva fotometrica.

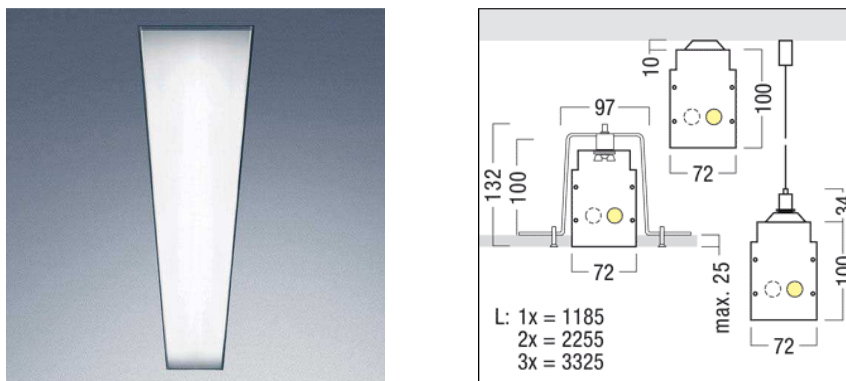
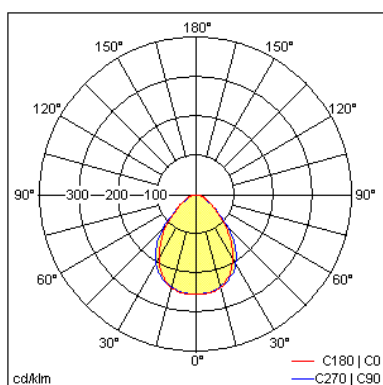


Figura 86: SLOTLIGHT

Dall'immagine si vede come siano collocate le due lampade T16 all'interno dell'apparecchio. Si è deciso di usare questo prodotto poiché è molto lungo e stretto e per questo se collocato tra una trave ed un'altra non disturba in alcun modo la geometria del locale. Si vede la curva fotometrica di SLOTLIGHT nella prossima immagine.



Lampade:	2 x T16 / 49W
Flusso luminoso totale:	8.600 lm
Classe resa del colore:	1B
Potenza:	101,6W

Figura 87: Curva fotometrica e caratteristiche principali dell'apparecchio SLOTLIGHT

La curva fotometrica di questo apparecchio è molto larga e di forma rotonda, permette quindi di illuminare in modo ottimale tutta la stanza e di creare la luce perfetta in fase di pulizia del locale. Vediamo adesso le immagini a colori sfalsati della stanza prima illuminata con i soli apparecchi 2LIGHT MINI e poi con l'accensione dei due apparecchi SLOTLIGHT.

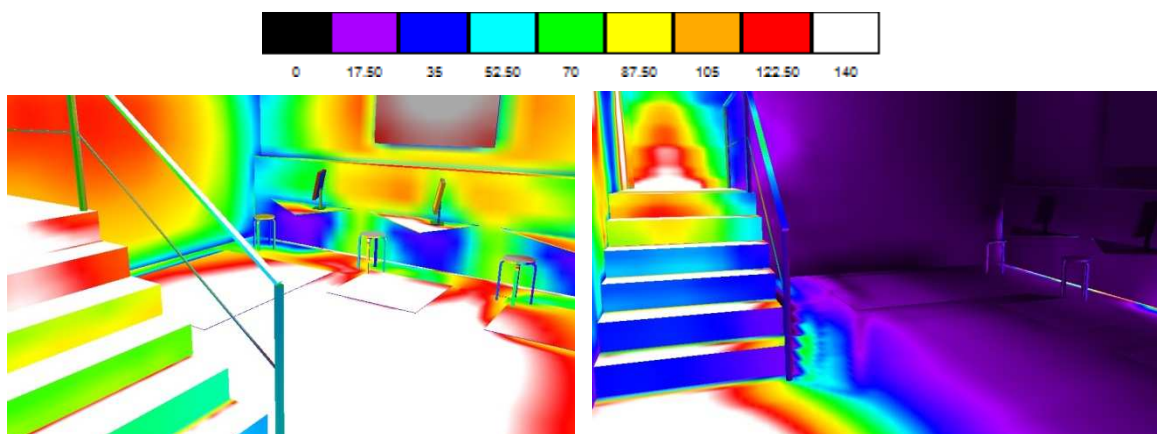


Figura 88: Rendering dei colori sfalsati

5.5.2. Variante a LED

Per l'alternativa con apparecchi LED si sono scelti di utilizzare nuovamente 2 LIGHT MINI ma con una lampada LED da 20W. Questo apparecchio è identico nell'aspetto e nelle dimensioni all'apparecchio tradizionale visto in precedenza; il livello di protezione e la caratteristica di emettere una luce morbida e ben distribuita accomuna questo apparecchio con la versione a HIT-TC-CE da 35W di 2LIGHT MINI della variante illuminotecnica precedente. 2 LIGHT MINI LED si differenzia però dalla versione con lampada a ioduri metallici per la capacità di creare un'illuminazione molto neutra e per non emettere in alcun modo raggi ultravioletti. Con la lampada a LED di 20W si può inoltre creare un flusso luminoso di oltre 500 lm.

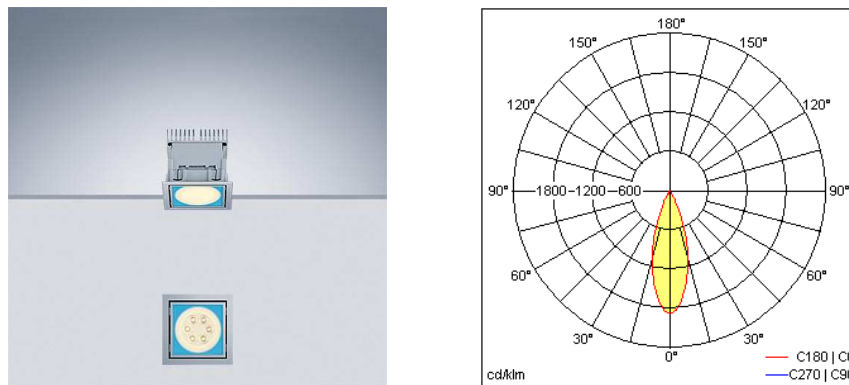


Figura 89: 2 LIGHT-MINI LED e rispettiva curva fotometrica

Posizionando cinque apparecchi 2LIGHT MINI sopra la superficie delle scale e distanziandoli l'uno dall'altro di un metro, si riesce nuovamente ad ottenere l'illuminazione desiderata di 150 lux. Nella versione precedente sono stati necessari solamente tre apparecchi, ma si nota che riusciamo ad ottenere anche in questo caso un effetto scolloping con coni di luce più alti e pronunciati. Nelle altre zone della stanza si sono raggiunti valori nella media di 10 lux. Si possono osservare i 150 lux raggiunti sulle scale e l'effetto scolloping nelle immagini seguenti.

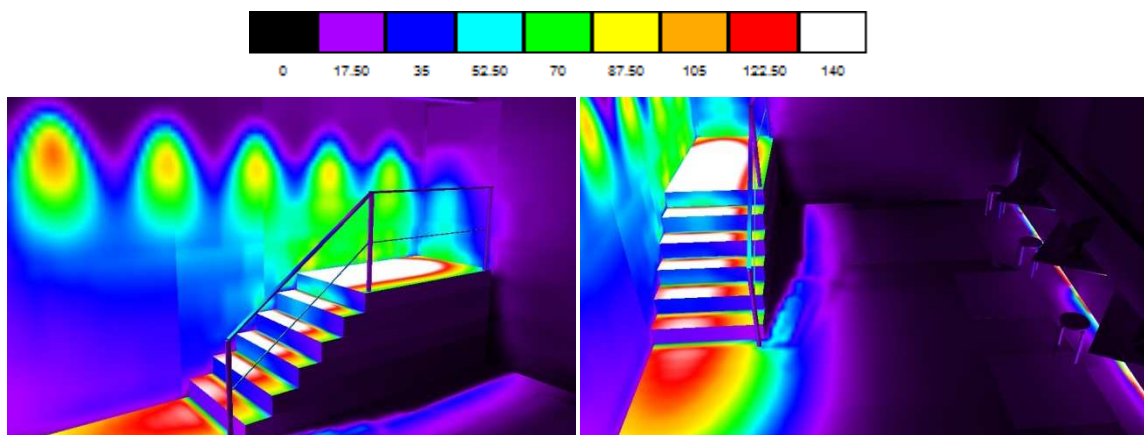


Figura 90: Rendering dei colori sfalsati ed effetto scolloping

Anche con l'alternativa a diodi luminosi è stata creata una variante illuminotecnica della stanza che crei abbastanza luce per eseguire la pulizia del pavimento e delle altre superfici. Per questa variante si è scelto di

utilizzare l'apparecchio CAREENA con potenza di 52W. La lampada CAREENA ha la caratteristica fondamentale di creare una tonalità di luce neutra di 3.500K. Altro vantaggio fondamentale dell'apparecchio in questione è l'elevata resa cromatica e la durata delle sorgenti luminose, superiore alle 50.000 ore con un flusso del 70%. Questo permette di risparmiare molto sulla manutenzione e quindi sui costi complessivi dell'impianto; si è inoltre scelto questo prodotto per la sua distribuzione luminosa. L'apparecchio CAREENA con potenza di 52W presenta una curva fotometrica ideale per l'illuminazione di questa stanza, infatti l'andamento fotometrico del raggio luminoso è molto largo ed è ideale per illuminare tutta la stanza. CAREENA fornisce inoltre 4.300 lumen.

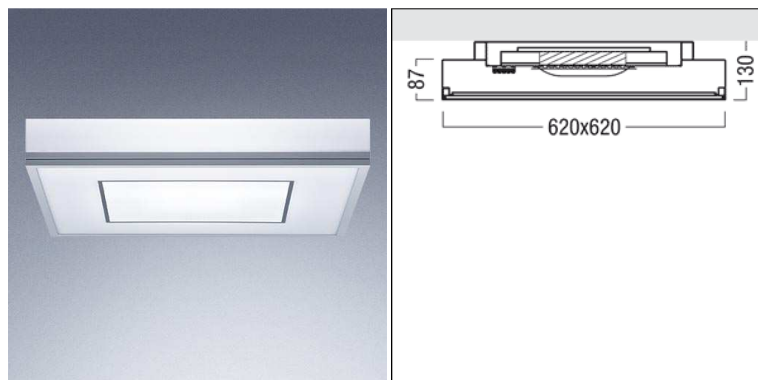


Figura 91: CAREENA LED

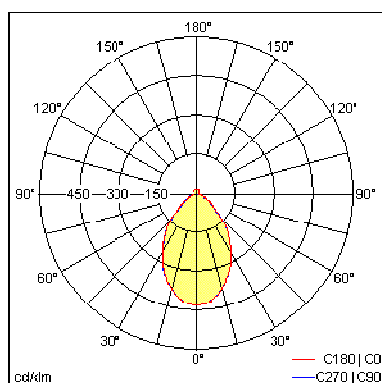


Figura 92: Curva fotometrica e caratteristiche principali di CAREENA

Lampade:	1 x LED / 52W
Flusso luminoso totale:	4.300 lm
Classe resa del colore:	A1
Potenza:	52W

Nelle seguenti immagini si vede il risultato illuminotecnico ottenuto ed il rendering dei colori sfalsati, molto utile per individuare tridimensionalmente i punti della stanza illuminati in modo adeguato.

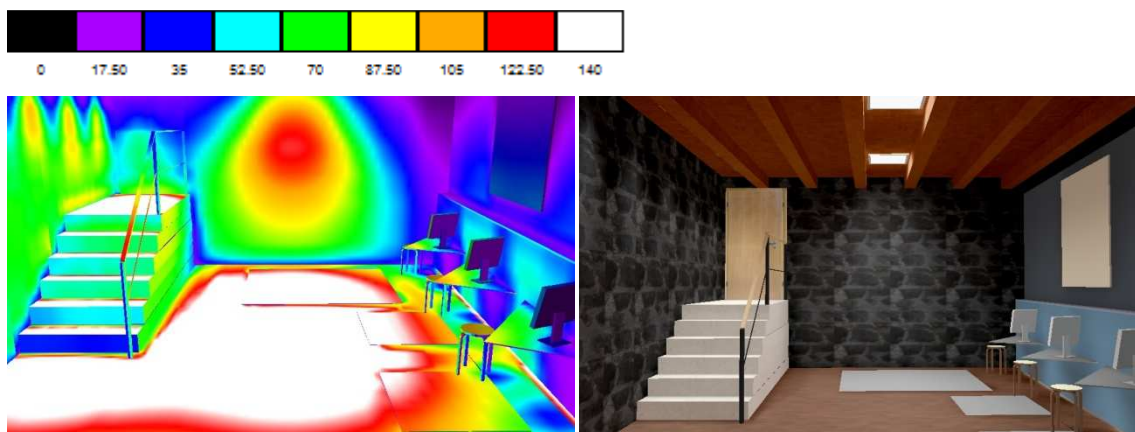


Figura 93: Rendering dei colori sfalsati e fotomontaggio della stanza multimediale

5.5.3. *Distinta lampade e conclusione*

La differenza tra l'illuminazione della sala multimediale situata all'interno della torre, eseguita con gli apparecchi tradizionali (2LIGHT MINI e SLOTLIGHT), e l'illuminazione effettuata con gli apparecchi a LED (2(LIGHT MINI e CAREENA) consta nella differenza di flusso luminoso erogato e nella potenza elettrica necessaria per il funzionamento degli apparecchi. Il flusso luminoso del primo impianto è maggiore del flusso luminoso erogato dagli impianti a LED ma la potenza e quindi i costi d' impiego sono minori nella variante a LED.

Tabella 18: Variante con lampade tradizionali

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	3	Zumtobel TECTON 1/35W T16 WH	3.300	39,0
2	2	Zumtobel SLOTLIGHT 2x1/49W PMMA LDE IP40	8.600	106,1
3	3	Zumtobel 2LIGHT MINI E 1/20W HIT PGJ5 WFL-S TI	1.500	25,0
Totale:			31.600	404,2

Potenza allacciata specifica: $13,73 \text{ W/m}^2 = 7,09 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $29,43 \text{ m}^2$)

Tabella 19: Variante con diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione	[lm]	P [W]
1	3	Zumtobel TECTON 1/35W T16 WH	3.300	39,0
2	2	Zumtobel CAREENA E 52W LED 935 M600 EVG KA	4.300	52,0
3	5	Zumtobel 62LIGHT MINI E 1/20W LED RGB/WW 24V TI	500	20,0
Totale:			21.000	321,0

Potenza allacciata specifica: $11,28 \text{ W/m}^2 = 6,95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $29,47 \text{ m}^2$)

Per concludere, si nota il fotomontaggio della stanza, eseguito per mezzo di POV-Ray afferente al programma Dialux, il quale mostra nei minimi dettagli tutte le superfici ed i mobili della stanza multimediale. È possibile notare l'effetto luminoso creato da TECTON, la trasparenza dei tavoli sui quali sono appoggiati i PC e dei vetri disposti sul pavimento.



5.6. Calcolo illuminotecnico della torre

L'ultimo locale del quale si descrive lo sviluppo dei calcoli illuminotecnici è la torre principale del castello. Essa presenta una forma quadrata e dal terzo piano dell'edificio abitativo si estende per ulteriori 15 m; è suddivisa in quattro pianerottoli aventi un'altezza di 2,6 m e collegati tra di loro da rampe di scale costruite in acciaio. Per salvaguardare la sicurezza dei visitatori del museo lungo le rampe vi è uno scorrimento di metallo che parte dal fondo della torre ed arriva fino in cima. Le pareti della torre sono interamente edificate in pietra mentre i soffitti sono di legno e vengono sorretti da travi del medesimo materiale. Il soffitto della torre non è parallelo al pavimento ma segue la forma piramidale del tetto; si estende quindi in altezza per altri 4,5 m. Le travi di sostegno poste alla base del tetto non sono più poste l'una di fianco all'altra ma si incrociano per assicurare l'adeguata stabilità strutturale al tetto. Per garantire al visitatore l'accesso alla torre vi è una sola entrata mentre le due finestre presenti su ogni soppalco permettono la vista verso l'esterno. Al quarto piano della torre sono presenti otto finestre, due per ogni lato, che consentono al visitatore di ammirare il panorama. Le due immagini che seguono mostrano la struttura della torre.

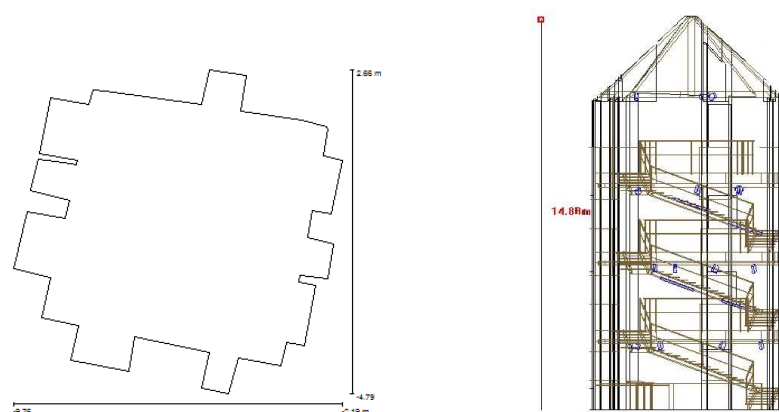


Figura 94: Planimetria e profilo della torre

L'intento principale del calcolo illuminotecnico di questa torre è creare ovunque l'illuminazione desiderata; al piano terra è esposta una struttura che all'epoca veniva usata come mangiatoia ed è necessario che catturi l'attenzione dei visitatori, mentre la rampa di scale deve essere illuminata a sufficienza per garantire di camminare con sicurezza. Nelle immagini visibili nella pagina successiva si nota la struttura delle scale, della mangiatoia e la struttura interna del tetto.



Figura 95: Immagini del piano terra della torre. Da notare la mangiatoia

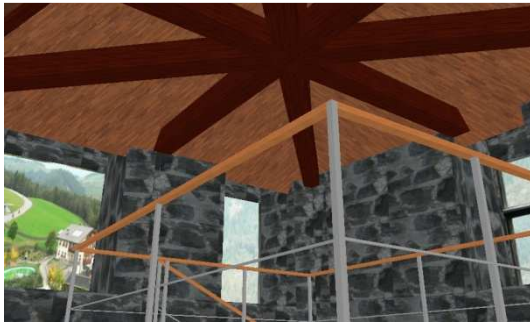


Figura 96: Immagini della torre

5.6.1. Variante a lampade tradizionali

Il primo progetto illuminotecnico effettuato all'interno della torre prevede l'uso di apparecchi Zumtobel che si sposino bene con la geometria della medesima ed assicurino la luce richiesta sia sui pianerottoli che lungo le rampe di scale. Al piano terra vi è una mangiatoia da illuminare mentre sugli altri piani non sono esposti particolari oggetti ma si è cercato di creare piacevoli effetti di luce lungo le pareti. L'apparecchio scelto per l'illuminazione della torre è il modello XENO di Zumtobel; si tratta di un faretto che monta una lampada alogena HIT 1/35W. Il medesimo viene sospeso su un binario elettrificato ma consente anche il montaggio verticale a parete ed è orientabile a 365° e la testata dell'apparecchio è orientabile di 90° con snodo a croce e per questo motivo permette di illuminare con grande precisione qualsiasi oggetto esposto. Esso consente inoltre di montare all'interno di un apposito anello frontale diversi tipi di filtri colorati, di protezione, ottiche a nido d'ape oppure lenti ovali; in questo caso XENO viene utilizzato per illuminare il pavimento del soppalco e per creare effetti di luce sulle pareti in pietra della torre, pertanto si è deciso di utilizzare la lente a fascio largo. Il faretto XENO ha in posizione di proiezione orizzontale un'altezza di 182 mm ed invece in proiezione verticale di 254 mm ma in questo contesto illuminotecnico si sposa bene nonostante le grandi dimensioni. Osserviamo la forma di XENO con lampada alogena con potenza di 35W.

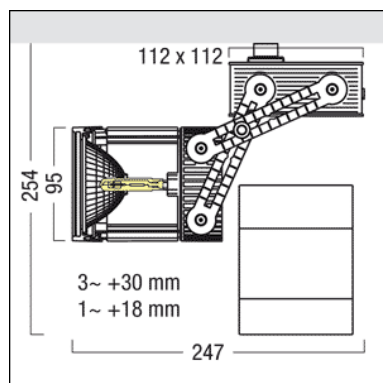


Figura 97: Faretto XENO

La gamma XENO è disponibile in svariate grandezze e con la possibilità di montare diversi tipi di lampada, ma eseguendo i calcoli illuminotecnici si è visto che la lampada alogena HIT 1/35W è ideale per illuminare la torre del castello. Al primo piano si sono montati tre apparecchi privi di lenti speciali di cui due orientati verso la mangiatoia e la struttura che la descrive; si sono ottenuti valori di illuminazione nell'ordine dei 180 lux, quindi molto elevati, ma l'obiettivo di catturare l'occhio del visitatore è riuscito essendo la mangiatoia illuminata dall'alto e quindi ci si può avvicinare per guardare all'interno di essa. Un faretto invece è orientato verso i gradini delle scale ed è montato in modo da non abbagliare i visitatori neanche quando scendono le scale. Anche al secondo e terzo piano della torre si è scelto di montare tre apparecchi XENO, mentre al quarto piano se ne sono montati solo due ed orientati uno verso la scala ed uno al centro della stanza per garantire, grazie alla lente a fascio largo Wideflood, 150 lux distribuiti in maniera molto uniforme. Vediamo il rendering dei colori sfalsati ottenuto al piano terra ed al secondo piano usando XENO HIT 1/35W:

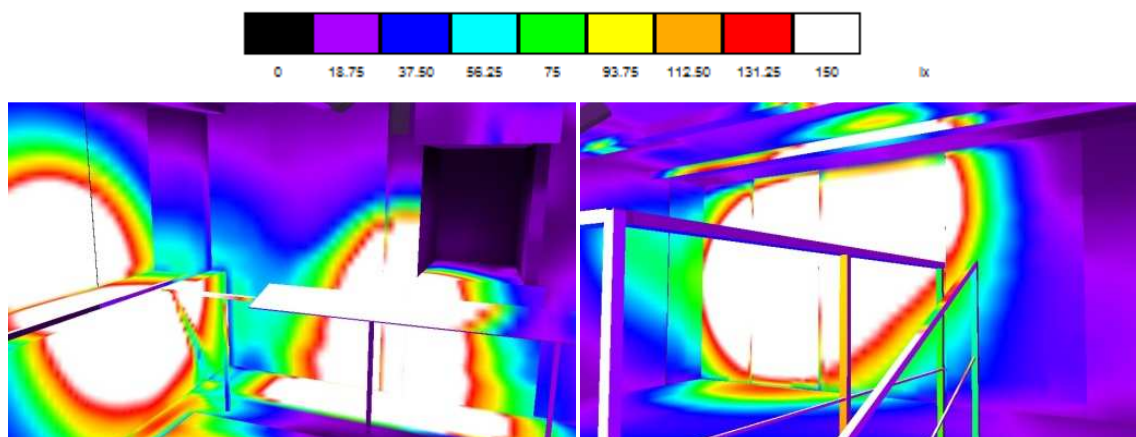


Figura 98: Rendering dei colori sfalsati

Si vuole ricordare che lo scopo dell'impianto realizzato con i faretti non era quello di creare una luce distribuita uniformemente sulla superficie dei pianerottoli ma osservando i risultati ottenuti si può constatare che l'effetto luminoso sulle pareti della torre è riuscito e che la mangiatoia posta al piano terra viene

illuminata correttamente. Complessivamente sono stati utilizzati undici apparecchi XENO per lo svolgimento dei calcoli illuminotecnici, nove privi di lenti, mentre tre di essi con lente wideflood.

Come descritto anche in precedenza l'illuminazione media delle scale deve essere di almeno 150 lux; la norma 10380 prevede questo valore per assicurare in ogni circostanza la sicurezza sulla rampa di scale. Per la corretta illuminazione dei gradini delle scale si è scelto di usare l'apparecchio SLOTLIGHT e di montare quest'ultimo sotto alla rampa di scale che porta al pianerottolo superiore. Si tratta di una linea luminosa con la struttura di alluminio ed il riflettore in vetro opale che garantisce la giusta illuminazione per questo tipo di applicazione. Facendo numerosi calcoli si è giunti alla conclusione che la lampada 2x1/54W, quindi a doppia lunghezza, fosse l'ideale per illuminare la scalinata. Nelle immagini successive si nota l'apparecchio SLOTLIGHT.

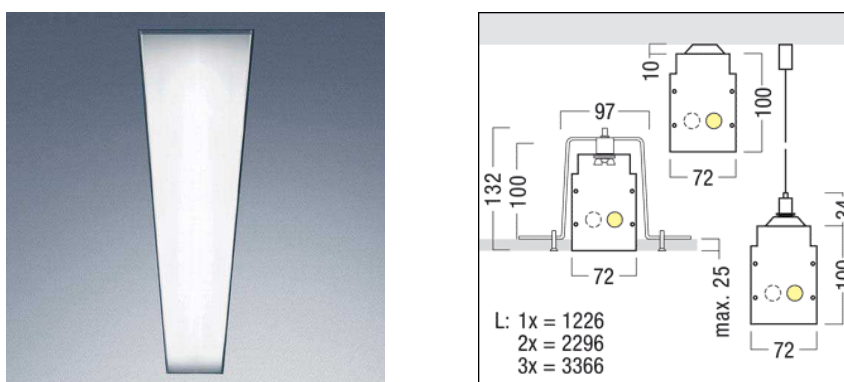
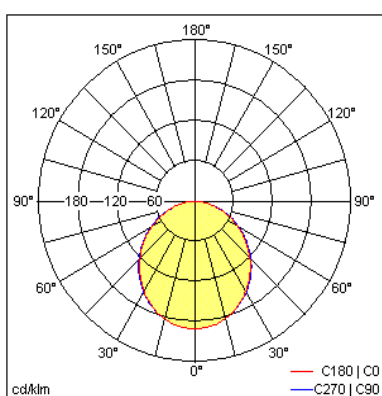


Figura 99: SLOTLIGHT

Dall'immagine si vede come siano collocate le due lampade T16 all'interno dell'apparecchio. Si è optato per questo prodotto perché è molto lungo e stretto e per questo nella posizione nella quale è applicato non disturba in alcun modo la geometria del locale. Si vede la curva fotometrica di SLOTLIGHT nella prossima immagine.



Lampade:	2 x T16 / 54W
Flusso luminoso totale:	8.900 lm
Classe resa del colore:	1B
Potenza:	114,5W

Figura 100: Curva fotometrica di SLOTLIGHT e caratteristiche principali

SLOTLIGHT è disponibile sia a plafone che da incasso ma si è dovuto optare per la prima soluzione a causa della superficie sulla quale è stato montato; è situato sulla parte inferiore delle scale e permette in

questo modo di illuminare la rampa di scale sottostante. SLOTLIGHT è montato parallelamente alla rampa di scale in un'angolazione di 22° gradi. Utilizzando l'ottica opale che si è scelto di applicare all'apparecchio viene minimizzata anche la riflessione luminosa assicurando comunque la giusta illuminazione. Si nota che la curva fotometrica di questo apparecchio è molto larga e di forma rotonda, permette quindi di illuminare in modo ottimale tutta la larghezza delle scale; si ricorda che in lunghezza l'illuminazione è garantita dalla lunghezza prossima ai tre metri del apparecchio. Nelle successive immagini si vede il rendering dei colori sfalsati eseguito sulle scale; lo scopo è quello di dimostrare che la norma 10380 è soddisfatta e la media di 150 lux è stata raggiunta. Complessivamente si sono utilizzati due apparecchi SLOTLIGHT ed anche in questo caso l'obiettivo dell'illuminazione è stato centrato.

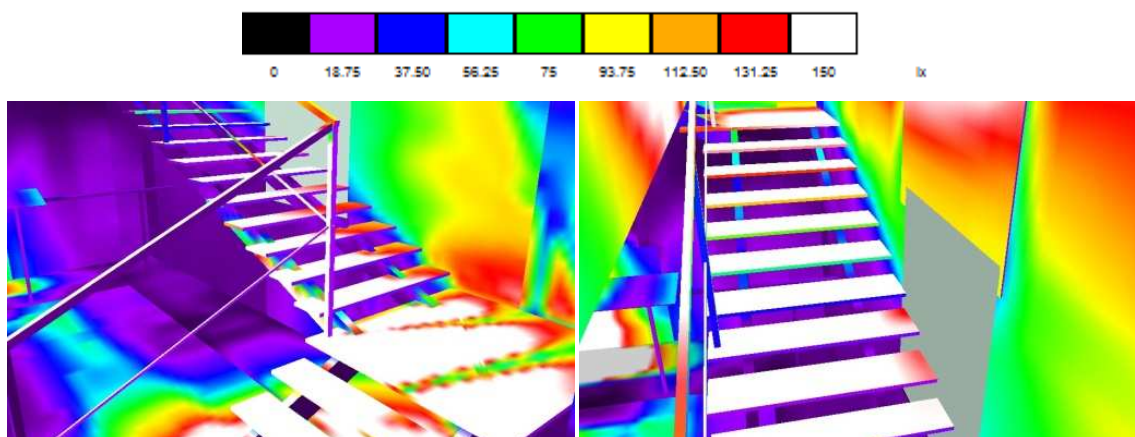


Figura 101: Rendering dei colori sfalsati delle scale

5.6.2. Variante a LED

Per l'alternativa con apparecchi a LED si sono scelti di utilizzare al posto dei proiettori con lampada alogena XENO sempre dei proiettori Zumtobel ma questa volta di più modeste dimensioni e con una potenza minore; trattasi di VIVO LED equipaggiato con un led con potenza di 30W. Questo apparecchio è identico nell'aspetto e nelle dimensioni all'apparecchio tradizionale VIVO. Si tratta di un faretto di modeste dimensioni e quindi molto compatto; in posizione orizzontale occupa solamente 16,5 cm ed anche in questo caso si è deciso di montarlo su un binario elettrificato che percorre il soffitto da un lato all'altro della torre. Il proiettore permette di creare una luce priva di raggi ultravioletti UV ed ha la testata girevole di 360° orientabile a 90°, questa caratteristica permette come nella variante presentata in precedenza di orientare il faretto esattamente nella direzione desiderata ed illuminare in questo modo le opere esposte. In tonalità neutra questo faretto possiede un'elevata resa cromatica ($R_a > 80$) e la sua durata di vita è di addirittura 50.000 ore. VIVO è interamente costruito in alluminio ed è molto robusto; il colore del medesimo è inoltre disponibile di colore grigio oppure bianco. Alcune caratteristiche come la possibilità di montare VIVO a parete e di scegliere tra molte ottiche intercambiabili per creare diversi effetti luminosi lo accomunano al faretto XENO esaminato in precedenza. Il faretto VIVO crea un'illuminazione meno accentuata ma che mette comunque in evidenza la mangiatoia al piano terra e crea effetti luminosi sulle pareti. Nelle immagini successive vediamo il faretto VIVO LED.

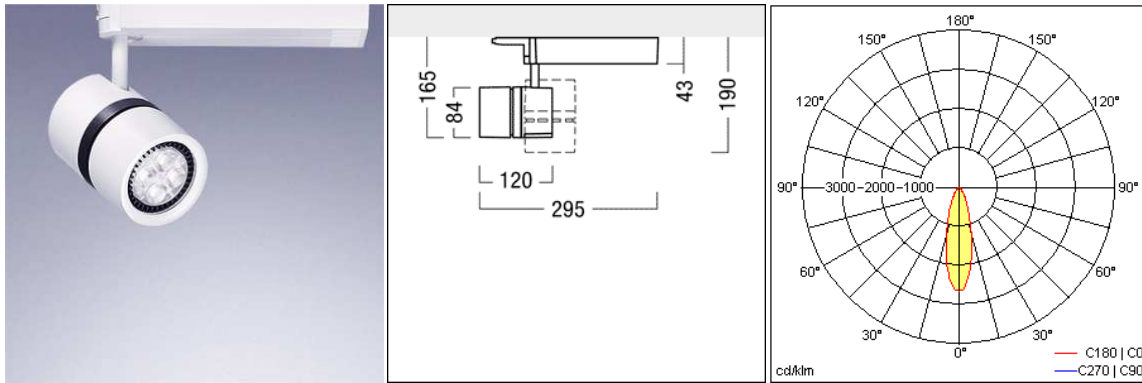


Figura 102: Faretto VIVO LED e curva fotometrica

Lampade:	1 x LED 1150/30W
Flusso luminoso totale:	1.150 lm
Durata:	50.000h
Potenza:	32W

Tabella 20: Caratteristiche principali di VIVO LED 30W

Complessivamente si sono utilizzati 15 faretti: quattro posti sul soffitto di ognuno dei tre soppalchi e tre posizionati sulle travi che sorreggono il tetto della torre. Al piano terra si è cercato di illuminare la mangiatoia ed il mobile sul quale sono descritte le caratteristiche della torre, mentre sugli altri piani si è tentato di creare effetti ottici, illuminare il pavimento ed in parte le scale. Osservando con attenzione il rendering dei colori sfalsati notiamo che la mangiatoia è illuminata in modo molto uniforme: tutta la struttura è illuminata con una media di 100 lux ed anche l'interno di essa è ben visibile dato che VIVO è montato molto in alto. Anche alla base della rampa di scale è stato possibile ottenere i 150 lux richiesti dalla norma. Guardando la curva fotometrica del prodotto vediamo che nonostante si tratti di un faretto senza lenti wideflood, il fascio luminoso è comunque largo. VIVO equipaggiato con led da 30W è in grado di creare un flusso luminoso totale di 1150 lm. Ni nota l'immagine della mangiatoia e l'effetto ottenuto al quarto ed ultimo piano della torre con la luce entrante dalle finestre alle ore 14.

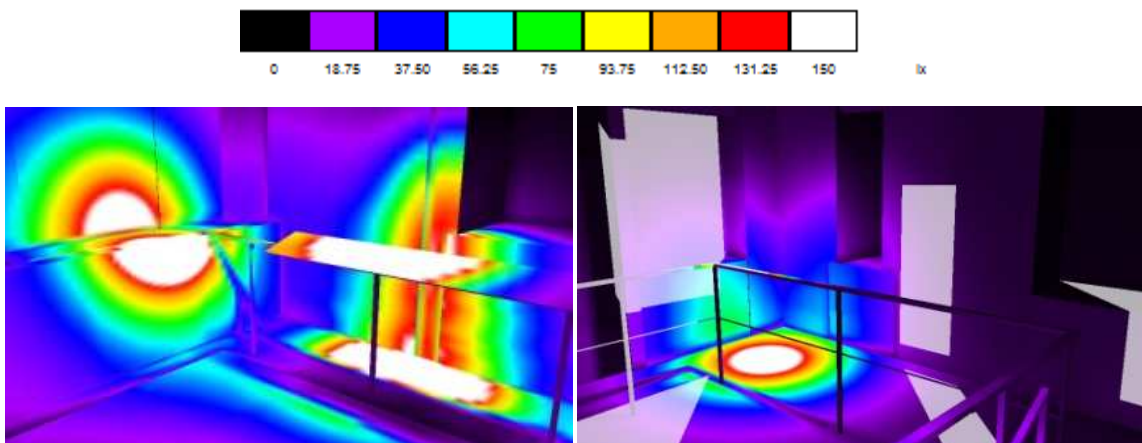


Figura 103: Rendering dei colori sfalsati

Per l'illuminazione mediante tecnologia a LED delle rampe di scale si è optato per l'apparecchio HEDERA con potenza di 42W disponibile per montaggio a parete, incassato oppure come in questo caso a plafoniera. Come nel caso precedente viene montato sotto la rampa di scale ma in questo caso è necessario collegare in serie due prodotti per volta a causa della sua lunghezza di soli 950 mm. HEDERA è utilizzabile sia in ambienti esterni che interni e come visibile nell'immagine di cui sopra è disponibile anche nella versione con LED colorati. Altro vantaggio fondamentale del medesimo è l'elevata resa cromatica e la durata delle sorgenti luminose superiore alle 50.000 ore con un flusso del 70% e questo permette di risparmiare molto sulla manutenzione e quindi sui costi complessivi dell'impianto. Esso produce un raggio luminoso molto stretto e per questo è possibile illuminare con precisione i gradini delle scale.

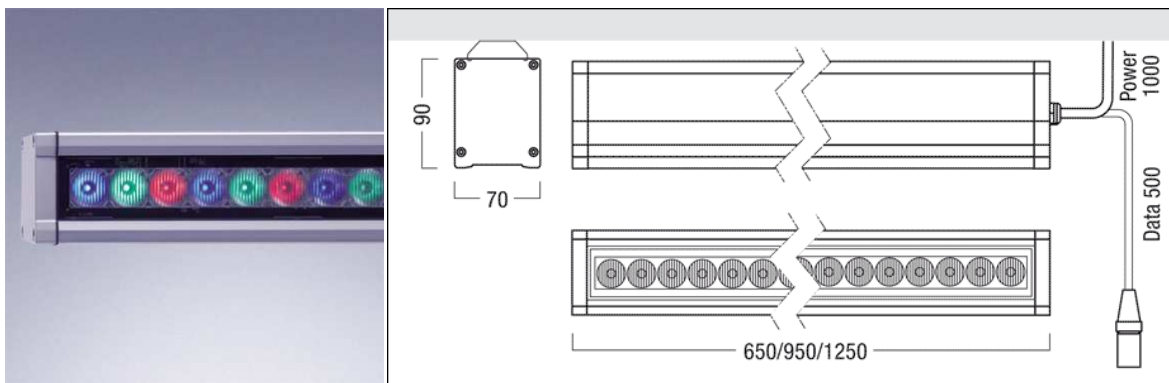


Figura 104: Apparecchio HEDERA

Lampade:	3 x LED 4RGB 300x46 / 14W
Flusso luminoso totale:	1.300 lm
Classe resa del colore:	1A
Potenza:	42W

Tabella 21: Caratteristiche fondamentali dell'apparecchio HEDERA

Nelle seguenti immagini si vede il risultato illuminotecnico ottenuto ed il rendering dei colori sfalsati. Notiamo che le rampe delle scale hanno nuovamente un'illuminazione di 150 lux su ogni gradino ed valori prescritti dalla norma sono soddisfatti.

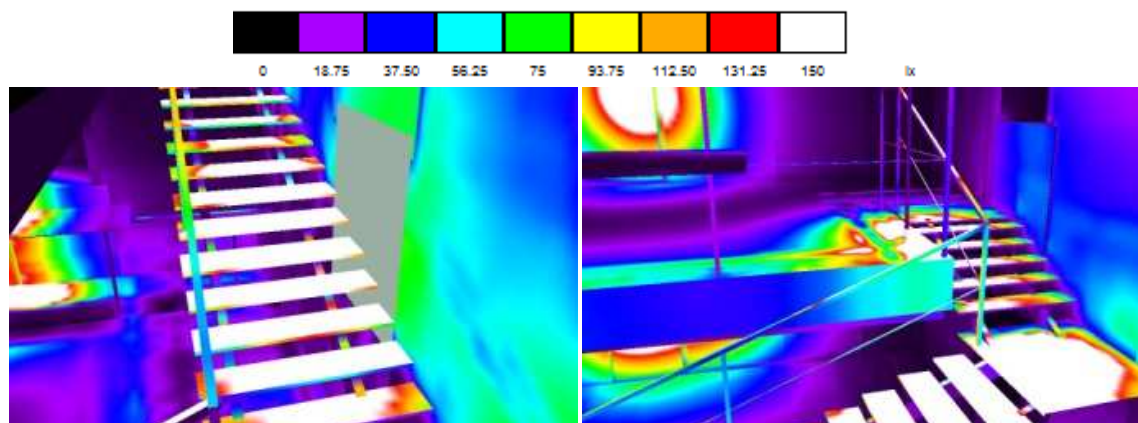


Figura 105: Rendering dei colori sfalsati delle scale illuminate con HEDERA

5.6.3. *Distinta lampade e conclusione*

La differenza principale tra l'illuminazione della torre centrale eseguita con gli apparecchi tradizionali (XENO e SLOTLIGHT) e l'illuminazione effettuata con gli apparecchi a LED (VIVO LED e HEDERA) si vede osservando le tabelle sottostanti. La prima variante emette un flusso luminoso complessivo molto elevato rispetto alla variante creata con lampade a LED; lo scopo non è stato quello di creare impianti illuminotecnici con valori identici usando apparecchi differenti, ma quello di dare origine a due varianti che illuminano la torre in modo diverso. Con XENO e SLOTLIGHT si è creato un ambiente molto illuminato mentre con VIVO e HEDERA una illuminazione più soffusa. Notiamo anche che nella variante a LED nonostante si siano utilizzati cinque apparecchi in più il consumo elettrico sia la metà che nella versione apparecchi normali.

Tabella 22: Variante a lampade tradizionali

No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	[lm]	P [W]
1	3	Zumtobel SLOT 2X1/54W T16 LDE	17.800	232,0
2	11	Zumtobel XENO S 3PU 1/35W HIT G8,5 EVG FL-S TI	3.300	44,5

Potenza totale: 1.185W

Flusso luminoso totale: 89.700lm

Potenza allacciata specifica: $23,99 \text{ W/m}^2 = 28,57 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $37,89 \text{ m}^2$)

Tabella 23: Variante a diodi luminosi

No.	Pezzo	Denominazione (Fattore di correzione)	Φ [lm]	P [W]
1	4	Zumtobel HEDERA L12 42W LED RGB EB DMX-F	1.200	42,0
2	15	Zumtobel VIVO S 1/30W LED WW ETR 3PV FL	870	32,0

Potenza totale: 656,0W

Flusso luminoso totale: 17.850lm

Potenza allacciata specifica: $17,31 \text{ W/m}^2 = 40,76 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: $37,89 \text{ m}^2$)

Per concludere si nota il disegno tridimensionale virtuale della stanza creato con POV-Ray di Dialux, grazie a questa modalità di disegno è possibile presentare nel modo più accurato gli effetti dell'illuminazione creata. Si notano i dettagli riguardanti la mangiatoia descritta precedentemente; essa si è costruita esattamente come quella reale e i materiali sono gli stessi.

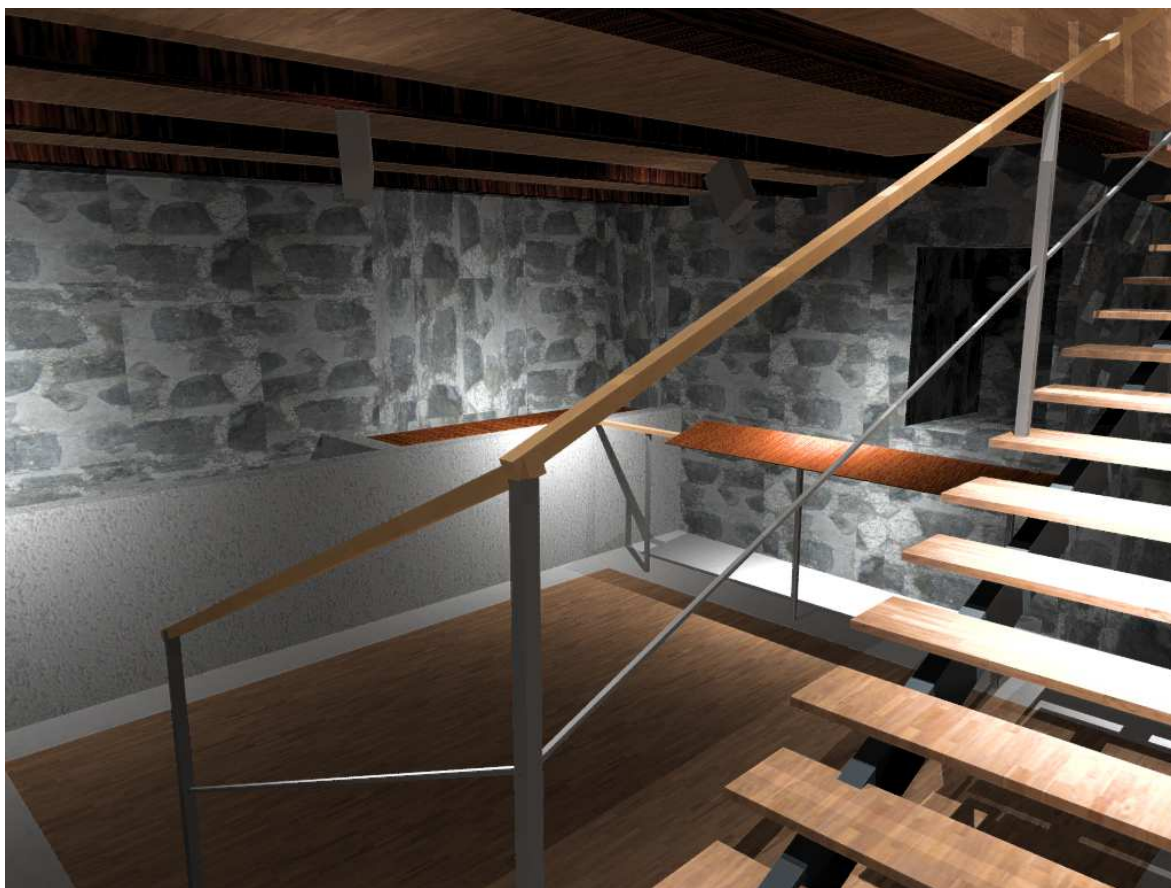


Figura 106: Fotomontaggio finale

6. Valutazioni

In questo capitolo si sono confrontati dal punto di vista numerico il comportamento energetico ed economico delle varianti illuminotecniche trattate nei capitoli precedenti. Sotto vengono riportate le tabelle che descrivono i risultati determinati.

6.1. Valutazione energetica dell'illuminazione esterna

Le tabelle sottostanti individuano dal punto di vista energetico le due varianti dell'illuminazione precedentemente prese in considerazione. Verrà inizialmente considerata la prima variante calcolata nel capitolo 4.1 usando solamente lampade tradizionali.

No.	Denominazione	Ore vita (h)	Totale pezzi	P [W]
1	BEGA 2231 1 QT-DE12 60W	3.000	8	60
2	BEGA 2238 1 QT14 40W	3.000	1	40
3	BEGA 7864 1 HIE 70W	15.000	6	85
4	BEGA 7873 1 HIE 150W	15.000	1	170
5	BEGA 7874 1 HIE 150W/	15.000	1	170
6	BEGA 8083 1 QT9-ax 5W	3.000	7	5
7	BEGA 8847 1 TC-TEL 26W	10.000	15	28
8	Zumtobel 2LIGHT MINI E 1/35W	15.000	1	45
			40	1.870

Tabella 25: Elenco dei prodotti di illuminazione tradizionali usati per illuminare l'esterno

Tabella 24: Valutazione energetica

Si è scelto di considerare l'orario di funzionamento giornaliero

No.	Lampada	Ore di funz. annuo (h)	P [W]	Energia consumata (kWh/anno)	Totale pezzi	Energia consumata totale (kWh/anno)	Energia consumata in 20 anni (kWh)
1	QT-DE12 60W	1.825	60	109,5	8	876	17.520
2	QT14 40W	1.825	40	73	1	73	1.460
3	HIE 70W	1.825	85	155,13	6	930,78	18.616
4	HIE 150W	1.825	170	310,25	1	310,03	6.205
5	HIE 150W	1.825	170	310,25	1	310,03	6.205
6	QT9-ax 5W	1.825	5	9,13	7	70	1.400
7	TC-TEL 26W	1.825	28	51,1	15	766,5	15.330
8	1/35W	1.825	45	82,13	1	82,13	1.643
			1.870	1.100	40	3.412,7	68.255

pari a 5 ore, questo perché sarebbe inutile illuminare il castello durante tutta la notte; viene ipotizzato di attivare l'impianto luminoso nelle ore adiacenti al tramonto fino alla mezzanotte. Sommando le ore di funzionamento giornaliero otteniamo 1.825 ore di funzionamento annuo ed osservando le tabelle si nota che la durata di vita delle lampade utilizzate non è molto alta. Tutto questo comporterà, nel corso degli anni, spese di manutenzione elevate essendo necessario cambiare le lampade frequentemente. Osserviamo adesso le tabelle che riportano i valori energetici della variante illuminotecnica caratterizzata prevalentemente dagli apparecchi a LED analizzata nel capitolo 4.2.

No.	Denominazione	Ore vita (h)	Totale pezzi	P [W]
1	BEGA 2222 LED 12W	50.000	7	12
2	BEGA 2228 LED 5W	50.000	1	5
3	BEGA 7740 LED 25W	50.000	13	25
4	BEGA 8699 LED 5W	50.000	7	5
5	BEGA 8720 1 HST-DE 150W	15.000	8	170
6	2LIGHT MINI E 1/20W LED	50.000	1	20
			37	1.870

Tabella 26: Elenco dei prodotti di illuminazione a LED usati per illuminare l'esterno

No.	Lampada	Ore di funz. annuo (h)	P [W]	Energia consumata (kWh/anno)	Totale Pezzi	Energia consumata totale (kWh/anno)	Energia consumata in 20 anni (kWh)
1	LED 12W	1.825	12	21,9	8	175,2	3.504
2	LED 5W	1.825	60	109,5	1	109,0	2.190
3	LED 25W	1.825	25	45,63	6	273,75	5.475
4	LED 5W	1.825	5	9,13	1	9,13	182,5
5	HIE 150W	1.825	170	310,25	1	310,25	6.205
6	LED 20W	1.825	20	36,5	7	255,5	5.110
			292	532,91	40	1.132,83	22.667

Tabella 27: Valutazione energetica

Se osserviamo le differenze tra la prima variante illuminotecnica e la seconda variante dell'illuminazione eseguita prevalentemente mediante apparecchi a diodi luminosi, notiamo che il consumo energetico annuo cala notevolmente nella seconda. I LED infatti hanno una durata di vita molto più elevata ed i consumi invece sono inferiori rispetto alle lampade tradizionali.

6.2 Valutazione energetica ed economica dell'illuminazione interna

In questo paragrafo si è analizzato, oltre all'aspetto energetico degli impianti illuminotecnici, anche l'aspetto economico; inizialmente si sono considerati gli apparecchi tradizionali utilizzati per illuminare tutte le stanze ed i corridoi del castello e si è eseguita la valutazione energetica, come in precedenza, con l'illuminazione esterna del castello. Nella valutazione energetica dell'illuminazione interna, eseguita con soli apparecchi a lampade tradizionali, si sono ottenuti i seguenti risultati.

No.	Denominazione	Ore vita (h)	Totale pezzi	P [W]
1	Zumtobel 60 710 633 PRIO 3PU 1/50W PAR16 WH	3.000	15	50
2	Zumtobel Set PRIO 1PH 1/50W PAR20	3.000	15	50
3	Zumtobel Set PICO 50 1/50W QR-CBC NV WH	3.000	17	23
4	Zumtobel S7 127 310 XENO S 3PU 1/35W HIT G8,5	15.000	13	44,5
5	Zumtobel 60710592 SPIRIT 3PU 1/20W HIT PGJ5	15.000	11	25
6	Zumtobel 42 159 304 PERLUCE O 2/18W TC-L PM	10.000	10	40
7	Zumtobel 42128509 TECTON 1/28W T16 LDE WH	10.000	3	31,4
8	Zumtobel 42 128 159 TECTON 1/35W T16 WH	10.000	12	39
9	Zumtobel 60 810 974 2LIGHT MINI E 1/20W HIT PGJ5	15.000	31	25
10	Zumtobel 42 173 678 L-FIELDS W-ID 1/80W TC-L	10.000	11	86
11	Zumtobel 42176884 SLOT2 2x1/49W T16 LDE	10.000	4	106,1
12	Zumtobel 42 160 032 SLOT 2X1/54W T16 LDE	10.000	5	232
14	Zumtobel S7708590 KAVA/E210X210 1/35W HIT	15.000	15	45
			162	7.687,1

Tabella 29: Elenco apparecchi

No.	Lampada	Ore di funz. annuo (h)	P [W]	Energia consumata (kWh/anno)	Totale pezzi	Energia consumata totale (kWh/anno)	Energia consumata in 20 anni (kWh)
1	1/50W PAR16	2.296	50	114,8	15	1.722	34.440
2	1/50W PAR20	2.296	50	114,8	15	1.722	34.440
3	1/50W QR-CBC	2.296	23	52,8	17	897,6	17.952
4	1/35W HIT	2.296	44,5	102,17	13	1.328,21	26.564
5	1/20W HIT	2.296	25	57,4	11	631,4	12.628
6	2/18W	318	40	12,7	10	127	2.540
7	1/28W T16	2.296	31,4	72,09	3	216,27	4.325
8	1/35W T16	2.296	39	89,54	12	1.074,48	21.490
9	1/20W HIT	2.296	25	57,4	31	1.779,4	35.588
10	1/80W TC-L	2.296	86	197,47	11	2.172,17	43.433
11	2x1/49W T16	1.800	106,1	190,98	4	763,92	15.278
12	2X1/54W T16	2.296	232	532,672	5	2.663,36	53.267
14	1/35W HIT	2.296	45	103,32	15	1.549,8	30.996
			8.362,1	1.835,9	162	17.023,53	332.941

Tabella 28: Valutazione energetica

Le due tabelle appena osservate descrivono con chiarezza la valutazione energetica dell'impianto di illuminazione interna eseguita con lampade tradizionali; è evidenziato il consumo di kW/h in un anno ed anche il consumo in un arco di tempo di 20 anni; i valori ottenuti saranno necessari per eseguire il confronto con l'impianto progettato con soli LED. Viene sotto riportata la valutazione economica fatta riguardo alle altre spese di questo impianto: la spesa iniziale d'acquisto degli apparecchi ed il costo delle lampade. La seconda tabella descrive invece la durata effettiva di funzionamento di una lampada; viene valutato il costo di sostituzione delle lampade nel corso dei 20 anni considerati.

No.	Lampada	Prezzo apparecchio (€)	Totale pezzi	Prezzo totale apparecchi (€)	Prezzo lampada (€)	Totale pezzi	Prezzo totale lampade (€)
1	PRIO 3PU 1/50W PAR16	129,00	15	1.935,00	6,00	15	90,00
2	PRIO 1PH 1/50W PAR20	129,00	15	1.935,00	6,00	15	90,00
3	PICO 50 1/50W QR-CBC	232,00	17	3.944,00	5,00	17	85,00
4	XENO S 3PU 1/35W HIT	509,00	13	6.617,00	25,00	13	325,00
5	SPIRIT 3PU 1/20W HIT	447,00	11	4.917,00	28,00	11	308,00
6	PERLUCE O 2/18W TC	183,00	10	1.830,00	4,00	20	80,00
7	TECTON 1/28W T16	157,00	3	471,00	5,00	3	15,00
8	TECTON 1/35W T16	170,00	12	2.040,00	5,00	12	60,00
9	2LIGHT M 1/20W HIT	207,00	31	6.417,00	28,00	31	868,00
10	L-FIELDS W-ID 1/80W	589,00	11	6.479,00	8,00	11	88,00
11	SLOT2 2x1/49W T16	680,00	4	2.720,00	4,00	8	32,00
12	SLOT 2X1/54W T16	593,00	5	2.965,00	4,00	5	20,00
13	KAVA/E 1/35W HIT	364,00	15	5.460,00	25,00	15	375,00
			162	47.730,00			2.436,00

Tabelle 30 e 31: Valutazione economica della variante d'illuminazione interna tradizionale

No.	Lampada	Prezzo totale lampade (€)	Funzionamento annuo (h)	Ore vita (h)	Intervallo di cambio lampada (anni)	Prezzo totale lampade in 20 anni (€)
1	PRIO 3PU 1/50W PAR16	90,00	2.296	2.000	0,87	2.066,40
2	PRIO 1PH 1/50W PAR20	90,00	2.296	2.000	0,87	2.066,40
3	PICO 50 1/50W QR-CBC	85,00	2.296	2.000	0,87	1.951,60
4	XENO S 3PU 1/35W HIT	325,00	2.296	7.000	3,05	2.131,15
5	SPIRIT 3PU 1/20W HIT	308,00	2.296	7.000	3,05	2.019,67
6	PERLUCE O 2/18W TC	80,00	318	10.000	31,45	50,87
7	TECTON 1/28W T16	15,00	2.296	10.000	4,36	68,81
8	TECTON 1/35W T16	60,00	2.296	10.000	4,36	275,23
9	2LIGHT M 1/20W HIT	868,00	2.296	7.000	3,05	5.691,80
10	L-FIELDS W-ID 1/80W	88,00	2.296	10.000	4,36	403,67
11	SLOT2 2x1/49W T16	32,00	1.800	10.000	5,55	115,32
12	SLOT 2X1/54W T16	20,00	2.296	10.000	4,36	91,74
13	KAVA/E 1/35W HIT	375,00	2.296	7.000	3,05	2.459,00
						17.916,00

La cifra che salta subito all'occhio è il prezzo elevato delle lampade di ricambio che, nella somma finale, sarà da considerare con estrema attenzione. Nelle successive due tabelle vengono elencati i valori energetici ottenuti usando solamente apparecchi di ultimissima generazione a LED; l'arco di tempo dell'analisi che si è scelto di effettuare è nuovamente di 20 anni.

No.	Denominazione	Ore vita (h)	Totale pezzi	P [W]
1	Zumtobel 42178033 HEDERA L12 56W LED	50.000	4	56
2	Zumtobel 60710815 VIVO S 1/30W LED	50.000	35	32
3	Zumtobel 60210344 SUPER 1/4,5W LED	45.000	50	6.5
4	Zumtobel 60812329 2LIGHT MINI E 1/20W LED	50.000	32	20
5	Zumtobel 42177951 CAREENA E 52W LED	50.000	6	52
6	Zumtobel 42 128 159 TECTON 1/35W T16	10.000	15	39
7	Zumtobel PASO2 D120 1/4,3W LED	45.000	4	4.3
8	Zumtobel 60811977 ORILED 2/1W LED	45.000	15	2.4
			164	3.259,2

Tabella 32: Elenco dei prodotti di illuminazione a LED usati per illuminare gli interni

No.	Lampada	Ore di funz. annuo (h)	P [W]	Energia consumata (kWh/anno)	Totale pezzi	Energia consumata totale (kWh/anno)	Energia consumata in 20 anni (kWh)
1	56W LED	1.800	56	100,8	4	403,2	8.064
2	1/30W LED	2.296	32	73,5	35	2.572,5	51.450
3	1/4,5W LED	2.296	6,5	14,92	50	746	14.920
4	1/20W LED	2.296	20	45,9	32	1.468,8	29.376
5	52W LED	318	52	16,54	6	99,24	1.985
6	1/35W T16	2.296	39	89,5	15	1.342,5	26.850
7	1/4,3W LED	2.296	4,3	9,87	4	39,8	796
8	2/1W LED	2.296	2,4	5,51	15	82,7	1.654
			3.427,2		164	7.056,8	135.095

Tabella 33: Valutazione energetica

Si nota subito che il consumo energetico di questo sistema nell'arco di 20 anni è molto più basso, come si poteva presumere; anche in questo caso si è deciso di considerare il prezzo d'acquisto degli apparecchi ed il costo di ricambio delle lampade.

No.	Lampada	Prezzo apparecchio (€)	Totale pezzi	Prezzo totale apparecchi (€)	Prezzo lampada (€)	Totale pezzi	Prezzo lampade totale (€)
1	HEDERA L12 56W LED	1876,00	4	7.504			0,00
2	VIVO S 1/30W LED	427,00	35	14.945			0,00
3	SUPER 1/4,5W LED	331,00	50	16.550			0,00
4	2LIGHT-M 1/20W LED	529,00	32	1.6928			0,00
5	CAREENA E 52W LED	1080,00	6	6.480			0,00
6	TECTON 1/35W T16	170,00	15	2.550	5,00	15	75,00
7	PASO2 1/4,3W LED	906,00	4	3.624			0,00
8	ORILED 2/1W LED	579,40	15	8.691			0,00
			161	77.272			75,00

Tabella 34,35: Valutazioni economiche illuminazione a LED

No.	Lampada	Prezzo totale lampade (€)	Funzionamento annuo (h)	Ore vita (h)	Intervallo di cambio lampada (anni)	Prezzo totale lampade in 20 anni (€)
1	HEDERA L12 56W LED	0,00	1.800	50.000	27,8	0,00
2	VIVO S 1/30W LED	0,00	2.296	50.000	21,8	0,00
3	SUPER 1/4,5W LED	0,00	2.296	50.000	21,8	0,00
4	2LIGHT-M 1/20W LED	0,00	2.296	50.000	21,8	0,00
5	CAREENA E 52W LED	0,00	318	50.000	157,2	0,00
6	TECTON 1/35W T16	75,00	2.296	10.000	4,36	344,00
7	PASO2 1/4,3W LED	0,00	2.296	50.000	21,8	0,00
8	ORILED 2/1W LED	0,00	2.296	50.000	21,8	0,00
						344,00

Come da aspettative, il prezzo d'acquisto degli apparecchi con tecnologia LED è molto più elevato, mentre il prezzo di manutenzione degli apparecchi, tra i quali troviamo anche il cambio delle lampade è ovviamente nullo. La prima variante illuminotecnica analizzata aveva un prezzo iniziale minore alla variante con soli LED, nel conto finale però si devono considerare anche il prezzo dei ricambi delle lampade ed il costo energetico che è relativamente elevato rispetto alla variante a LED. Nelle tabelle successive sono riportati i costi finali considerando un arco temporale di 20 anni ed il prezzo del kW/h 0,15€ privo d IVA.

<i>Energia totale consumata in 20 anni (kW/h)</i>	<i>Costo kWh (€)</i>	<i>Spesa totale energia 20 anni (€)</i>	<i>Investimento iniziale (€)</i>	<i>Spesa totale ricambio lampade (€)</i>	<i>COSTO FINALE 20 ANNI (€)</i>
332.941	0,15	49.941,00	47.730,00	17.915,86	115.587,00
<i>Energia totale consumata in 20 anni (kW/h)</i>	<i>Costo kWh (€)</i>	<i>Spesa totale energia 20 anni (€)</i>	<i>Investimento iniziale (€)</i>	<i>Spesa totale ricambio lampade (€)</i>	<i>COSTO FINALE 20 ANNI (€)</i>
135.095	0,15	20.264,00	72.272	34.400	92.880,00

Tabella 36: Costo totale dei due impianti

7. Conclusioni

La luce artificiale concorre in modo considerevole alla nostra percezione degli spazi, crea livelli, modifica i colori, assumendo così la valenza di un vero e proprio materiale architettonico. In relazione al tipo di sorgente utilizzata, la luce è in grado di suscitare sensazioni differenti e anche di migliorare l'aspetto dell'ambiente in cui si trova inserita; un'impianto di illuminazione deve essere parte integrante del contesto in cui va ad inserirsi, non può essere avulso da ciò che lo circonda. Per questo motivo è importante progettare la luce ed è necessario conoscere a fondo il luogo in cui si va ad intervenire, a maggior ragione se si tratta di un'ambientazione in cui la luce deve sottolineare le dimensioni storico-artistiche originarie.

Il lavoro svolto offre diversi spunti di riflessione a riguardo, ma soprattutto mette in evidenza quanto uno studio illuminotecnico eseguito correttamente influisca sulla scelta finale degli apparecchi da utilizzare.

Per ciò che riguarda l'illuminazione della parte esterna del castello sono state valutate due alternative: nella prima sono state utilizzate lampade tradizionali, mentre nella seconda si è fatto uso prevalentemente di apparecchi funzionanti a LED; l'utilizzo di questi ultimi ha permesso di risparmiare circa due terzi dell'energia necessaria per illuminare correttamente il castello nel periodo ventennale considerato. Lavorando con esattezza con il programma di calcolo Dialux e scegliendo in questo modo il numero di apparecchi necessari per la corretta illuminazione, si è riusciti a risparmiare oltre 45.000 kW/h in 20 anni. Si è inoltre sempre cercato di ridurre il più possibile il fastidioso problema dell'inquinamento luminoso.

Per quanto riguarda l'illuminazione interna del museo si percepisce, dai risultati ottenuti, quanto un progetto illuminotecnico eseguito con apparecchi a LED di ultima generazione influisca sul suo aspetto energetico ed economico. Dalla valutazione energetica effettuata in precedenza è possibile constatare che l'installazione di apparecchi d'illuminazione a diodi luminosi permette di risparmiare, fin dal principio, circa la metà dell'energia necessaria per l'illuminazione degli ambienti. Nei 20 anni considerati invece vi è un risparmio misurato in circa 200.000kW/h che corrispondono economicamente ad una spesa pari a 30.000€ in meno sul resoconto finale. Nelle tabelle 28, 29, 32 e 33 osserviamo inoltre che la durata di vita delle lampade tradizionali, quali la lampada alogena, la lampada a scarica ed i tubi fluorescenti è minore e quindi sono necessarie delle sostituzioni nel corso dei 20 anni considerati. La manutenzione menzionata sopra è fonte di spese economiche sia nella fase iniziale di acquisto delle lampade che per il tempo necessario a sostituirle. Nel range temporale considerato per effettuare il confronto non vi è stato bisogno di sostituire alcun LED, mentre le lampade tradizionali sono state sostituite frequentemente. Sulla sostituzione dei corpi illuminanti si sono risparmiati, usando i diodi luminosi, oltre 17.000€. Si nota invece come il prezzo d'acquisto degli apparecchi a LED sia maggiore rispetto a quello calcolato usando lampade tradizionali, ma, nonostante ciò, essi consentono di risparmiare molto nei confronti della spesa dovuta alla sostituzione delle lampade.

Possiamo quindi affermare che, dal punto di vista economico ed energetico, conviene utilizzare prevalentemente apparecchi a LED, così confermando le tesi enunciate all'inizio di tale studio. Se consideriamo che la tecnologia a diodi luminosi è solamente all'inizio del suo sviluppo energetico e che in futuro si evolverà ancora diventando, soprattutto dal punto di vista economico, molto più accessibile, possiamo affermare che la tecnologia LED è la soluzione ottimale in termini di risparmio energetico,

economico (anche a fronte di un investimento iniziale molto più elevato), ma soprattutto è efficace dal punto di vista della sostenibilità ambientale nei riguardi della riduzione dell'inquinamento luminoso.

8. Bibliografia e Sitografia

www.zumtobel.it

www.bega.com

www.glashuette-limburg.de

www.museumladin.it

www.osram.it

www.enel.it

www.inquinamentoluminoso.it

www.impianti-illuminazione.com

www.provincia.bz.it

www.suedtirol.info

Zumtobel Licht-Handbuch für den Techniker

Manuale Cremonese di Elettrotecnica

RINGRAZIAMENTI

Un grazie di cuore a tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni di Università, che mi hanno sostenuto moralmente e che hanno condiviso con me ogni momento: la mia famiglia e le persone a me care.

Un grande abbraccio ai miei coinquilini Ale, Betta, Franzi, Dado, Fabri, Caldato e Lucia che hanno dedicato il loro tempo e le loro forze per vivere con me quest'esperienza.

Ringrazio il Prof. Lorenzo Fellin, che ha accettato di seguire con me questo particolare tema.

Un grazie sincero a Georg Gabrielli, per i suoi preziosi aiuti e consigli, per la sua disponibilità, e per la generosità del supporto tecnico e morale.