



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

Potenzialità del rinnovo del sistema di illuminazione
di un edificio ad uso uffici

-il caso della sede centrale di Manens-tifs-

Relatore : Prof. Pietro Fiorentin

Correlatore: Ing. Andrea Fornasiero

Nicola Patella 1128752

Anno Accademico 2017/2018

Indice generale

Introduzione	1
Progetto dell'edificio.....	1
Obiettivi del progetto.....	3
1 Illuminazione dei luoghi di lavoro.....	5
1.1 Riferimenti normativi.....	5
1.2 Applicazione delle normative	7
2 Costruzione del modello dell'edificio	13
2.1 Concept del modello strutturale.....	13
2.2 Esportazione del modello dell'edificio	19
2.3 Inserimento degli elementi nei locali	20
2.4 Posizionamento delle superfici di calcolo	23
3 Progettazione illuminotecnica.....	27
3.1 Scelta del software	27
3.2 Caratteristiche dell'illuminazione nei locali	28
3.2.1 Apparecchi installati.....	28
3.2.2 Apparecchi proposti	29
3.3.4 Stima del fattore di manutenzione	32
3.3 Illuminazione del locale ufficio	33
3.3.1 Verifica delle prestazioni con Siteco Quadrature.....	33
3.3.2 Verifica delle prestazioni con SmartBalance Spacewise	38
3.3.3 Verifica delle prestazioni con Vega.....	43
3.4 Illuminazione del locale open-space	48
3.4.1 Verifica delle prestazioni con Siteco Quadrature.....	48
3.4.2 Verifica delle prestazioni con SmartBalance Spacewise	54
3.4.3 Verifica delle prestazioni con Vega.....	60
3.4.4 Potenziamento della zona archivio	65
4 Conclusioni	69
4.1 Quantificazione del consumo energetico	69
4.2 Considerazioni finali.....	70
Sitografia	72
Bibliografia.....	73

PREFAZIONE

Il progetto di Tesi di Laurea nasce dallo stage svolto presso Manens-Tifs s.p.a., società che si occupa di consulenza specializzata per l'ingegneria nel settore dell'impiantistica in ambito edilizio e di project management.

L'idea nasce dall'interesse dell'azienda verso una rivalutazione dell'impianto di illuminazione della sede operativa di Padova al fine di ottenere migliori prestazioni ed un uso più efficiente e razionale dell'energia elettrica anche attraverso l'uso di tecnologia a LED (light-emitting diode). L'obiettivo del progetto è di acquisire maggiore dimestichezza nella progettazione di illuminazione artificiale e una migliore capacità critica decisionale a riguardo.

Un altro aspetto interessante dello stage è stato l'inizio di un approccio verso un software per la progettazione BIM; questo è stato utile per capire quanto possa essere facilitante sia in termini di tempo che di semplicità nella progettazione non doversi spostare da un software ad un altro per la progettazione in ambito edilizio.

Dal confronto tra l'impianto attuale e le nuove soluzioni progettate si potranno trarre conclusioni in merito alla convenienza nella sostituzione degli apparecchi nell'edificio sia dal punto di vista delle prestazioni offerte che dal minor consumo ottenuto grazie alla sostituzione.

Il progetto di Tesi di Laurea è stato svolto grazie ai software Revit, Dialux evo e Autocad: il primo è un programma di Building Information Modeling di Revit Technologies Inc. grazie al quale è possibile progettare un edificio comprensivo di ogni suo aspetto impiantistico: civile, elettrico e termotecnico. Il secondo è un software di progettazione illuminotecnica di DIAL in cui è possibile costruire o importare il modello architettonico di interi edifici, progettarne l'impianto di illuminazione integrandola eventualmente con la naturale anche sfruttando appositi sistemi di daylight. AutoCAD è il noto software di Computer Aided Design necessario per il disegno tecnico e la creazione di modelli bidimensionali.

Nicola Patella



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Introduzione

Progetto dell'edificio



Figura0. 1 Vista notturna della sede centrale di Manens-Tifs lato ovest

L'edificio posto ad analisi è la sede centrale di Manens-Tifs S.p.a. localizzato a Padova in Corso Stati Uniti, si sviluppa in 2200 m² su quattro piani di cui uno interrato e due rialzati. L'ingresso dell'edificio, situato sul lato est è un grande atrio che si protrae dal piano terra per tutta l'altezza, è qui presente una scala ad elicoide in legno che consente l'accesso ad entrambi i piani rialzati. Il piano interrato è comprensivo di un'area ristoro, di sale riunioni, di una zona archivi e di un magazzino. Il piano terra e i due rialzati sono costituiti da un'organizzazione degli spazi simile, caratterizzata sostanzialmente da tre tipologie di locali: uffici, open space e sale riunioni. La struttura edilizia dell'edificio è costituita da una parete inclinata sul lato ovest che, in corrispondenza del secondo piano, si raccorda con la copertura attraverso un terrazzo; la curva prosegue fino a raggiungere il piano terra nel lato ovest in corrispondenza dell'atrio. La facciata nord è interamente ricoperta da una singola vetrata con serramenti in alluminio; il lato sud è caratterizzato da un doppio strato di vetro con un'intercapedine di 70 cm. Oltre alla vetrata nella

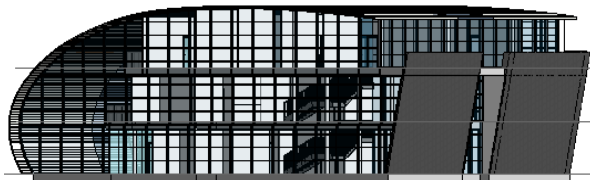


Figura0. 3 Vista assonometrica lato nord-ovest modello in Revit

open-space di essere raggiunti dalla luce solare. Nelle vetrature delle facciate nord e sud sono già installati sistemi di daylighting; nella prima vi sono delle veneziane paraboliche inclinabili o sollevabili a seconda delle esigenze. La facciata sud, vista l'esigenza di una maggior schermatura

terrazza, nel prospetto ovest le due pareti inclinate dell'edificio sono divise da una vetrata verticale che inizia al piano terra e termina sulla copertura consentendo ai due

Figura0. 2 Vista assonometrica prospetto ovest modello Revit



a causa dell'orientazione, è attrezzata con veneziane a profilo spezzato regolabili automaticamente. In aggiunta ai sistemi dinamici citati l'edificio è dotato di un sistema statico frangisole installato al limite della copertura, sopra il terrazzo, nel lato Ovest.

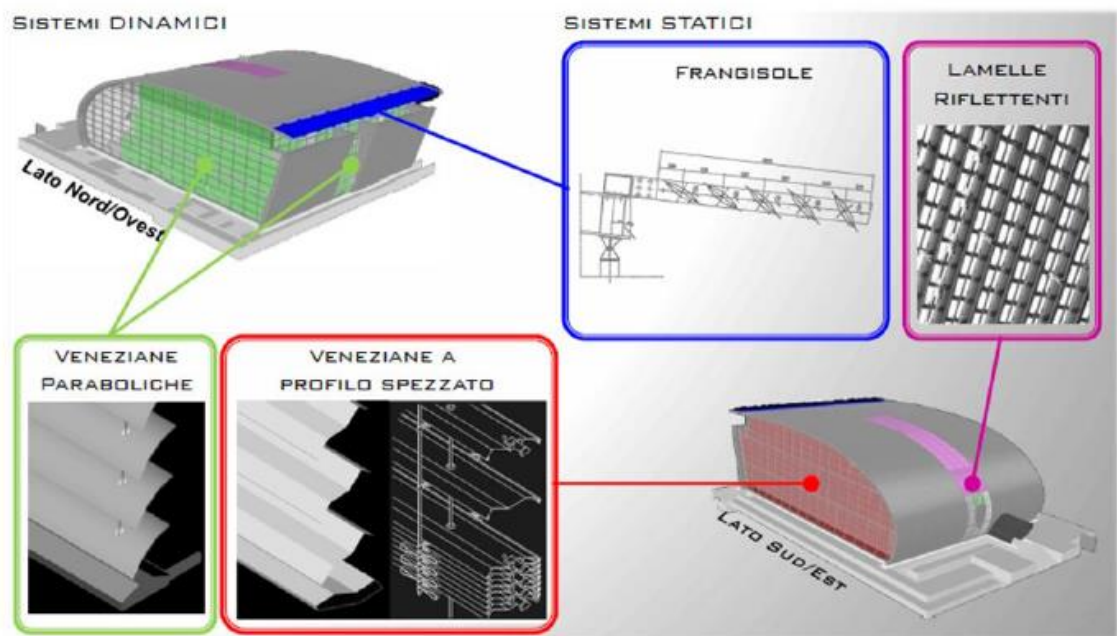


Figura0. 4 Daylight systems utilizzati per la schermatura della luce solare

L'edificio è inoltre dotato di sistemi di automazione per variare l'inclinazione delle veneziane a profilo spezzato manualmente; in ogni ufficio e negli open-space sono presenti sensori crepuscolari per la regolazione dell'illuminamento nel locale.

Gli apparecchi installati nei locali possono essere accessi in funzione manuale, erogando tutto il flusso luminoso, o in modalità automatica, in cui comunicando con i sensori crepuscolari regolano l'emissione in funzione della radiazione solare disponibile.

Obiettivi del progetto

Le simulazioni energetiche rappresentano uno strumento sempre più indispensabile per il settore dell'edilizia in quanto consentono di conoscere il comportamento dell'interazione tra struttura e impianto prima della costruzione dello stesso o prima di una rivalutazione. Permette inoltre il confronto di diverse soluzioni impiantistiche così da poter selezionare quale meglio si adatti alle esigenze della struttura analizzata. Nello specifico la simulazione illuminotecnica per interni ha come obiettivo la verifica dei requisiti necessari ad un'ottima prestazione visiva per le attività previste nei singoli locali, garantendo al contempo sicurezza ed un elevato livello di comfort visivo. La progettazione consiste in un percorso in cui è necessario individuare l'adeguato numero, la giusta tipologia, la migliore posizione e le strategie di gestione degli apparecchi illuminanti attraverso valutazioni che considerino ogni aspetto spaziando dalle normative vigenti a valutazioni di tipo economico e considerazioni energetiche.

Nel progetto di tesi sono stati presi in considerazione i due locali più rappresentativi dell'edificio, entrambi situati al piano terra: open space e l'ufficio del lato sud ad esso adiacente.

Il primo capitolo della tesi è incentrato sulle normative e le esigenze illuminotecniche degli spazi lavorativi da esse prescritte, considerando nello specifico che si tratta di uno studio di consulenza per l'edilizia, dove pertanto sono spesso ispezionate stampe da file CAD e dove ogni utente utilizza assiduamente computer fissi o laptop. Nel capitolo 2 viene descritto il procedimento con cui è stato costruito il modello dell'edificio sfruttando Revit. I software di Building Information Modeling permettono di possedere un unico file in formato "rvt" contenente aspetti di edilizia ed impiantistica con la possibilità di apportare modifiche attraverso un unico file condiviso tra i diversi progettisti; questo approccio all'edilizia permette una progettazione e gestione dell'edificio completamente diversa rispetto al passato. Revit non consente direttamente il posizionamento e calcolo dei parametri illuminotecnici necessari a questo tipo di progettazione; alcuni produttori di software di simulazione illuminotecnica offrono però dei plug-in che consentono l'analisi.

È stato scelto l'utilizzo di Dialux evo per la progettazione vera e propria in quanto gratuito e per testare la possibilità del software di importare il modello di un edificio costruito con una risorsa con maggiori possibilità di modellazione 3D. Nel capitolo 3 è riprodotta e descritta l'illuminazione artificiale attualmente installata nei locali, sono inoltre progettate delle soluzioni differenti dalla precedente modificando tipologia, numero e posizionamento degli apparecchi cercando di garantire le prestazioni illuminotecniche necessarie per i locali esaminati.

Il capitolo 4 è incentrato sulle conclusioni finali inerenti i risultati ottenuti e la stima dell'indice LENI, Lighting Energy Numeric Indicator, indicante il consumo annuo in un locale o in un edificio.

CAPITOLO 1

Illuminazione dei luoghi di lavoro

1.1 Riferimenti normativi

I testi a cui è necessario far riferimento nella disciplina dell'illuminotecnica e della fotometria sono: la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), la quale pubblica in ambito internazionale la documentazione costituente la base scientifica per la normativa, il CEN a livello europeo che redige le norme per mandato della Commissione Europea e UNI che rappresenta la normativa vigente in Italia. Se una norma italiana è seguita dalla sigla EN ciò indica che rappresenta l'accettazione italiana di una normativa in ambito internazionale. Le norme a cui è stato fatto riferimento per lo svolgimento della tesi vengono ora elencate, per alcune di esse saranno poi esposti brevemente i contenuti.

NORMA NUMERO: UNI EN 12665

DATA ENTRATA IN VIGORE: 8 Settembre 2011

TITOLO: Luce e illuminazione. Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici

SOMMARIO: La norma definisce i termini fondamentali per l'uso in tutte le applicazioni illuminotecniche; termini specialistici con applicazioni limitate sono forniti nelle singole norme.

NORMA NUMERO: UNI EN 12464-1

DATA ENTRATA IN VIGORE: 21 Luglio 2011

TITOLO: Luce e illuminazione-Illuminazione dei posti di lavoro-Parte 1: Posti di lavoro in interni

SOMMARIO: La presente norma è la versione ufficiale della norma europea EN 12464-1 (edizione giugno 2011). La norma specifica i requisiti di illuminazione per persone, in posti di lavoro in interni, che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva di persone aventi normale capacità oftalmica (visiva). Sono considerati tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che comportano l'utilizzo di attrezzature munite di videoterminali.

NORMA NUMERO: UNI EN 15232-1:2017

DATA ENTRATA IN VIGORE: 19 Ottobre 2017

TITOLO: Prestazione energetica degli edifici - Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici - Moduli M10-4,5,6,7,8,9,10

SOMMARIO: La norma specifica:

- una lista strutturata delle funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono alla prestazione energetica degli stessi; le funzioni sono state classificate e strutturate in funzione della regolamentazione per l'edilizia e così denominate Building automation and control (BAC),

- un metodo per definire i requisiti minimi o ogni altra specifica riguardante le funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono all'efficienza energetica di un edificio, implementabili in edifici di diversa complessità;
- un metodo semplificato per arrivare ad una prima stima dell'impatto delle suddette funzioni su edifici e profili d'uso rappresentativi,
- i metodi dettagliati per valutare l'impatto di queste funzioni su un determinato edificio.

NORMA NUMERO: UNI EN 15193-1:2017

DATA ENTRATA IN VIGORE: 30 maggio 2017

TITOLO: Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione - Parte 1: Specificazioni, Modulo M9

SOMMARIO: La norma specifica la metodologia per la valutazione della prestazione energetica dei sistemi di illuminazione per l'illuminazione generale in edifici residenziali e non-residenziali e per il calcolo o la misurazione della quantità di energia richiesta o utilizzata per l'illuminazione negli edifici. Il metodo può essere applicato ad edifici nuovi, esistenti o ristrutturati. Fornisce inoltre una metodologia (LENI) come misura dell'efficienza energetica degli impianti di illuminazione negli edifici. La norma non comprende i requisiti di illuminazione, la progettazione di sistemi di illuminazione, la pianificazione dei sistemi degli impianti di illuminazione, le caratteristiche dei prodotti di illuminazione (lampade, dispositivi di controllo e apparecchi di illuminazione) e dei sistemi utilizzati come "display lighting", delle lampade da tavolo e degli apparecchi integrati nei mobili. Inoltre la norma non fornisce alcuna procedura per la simulazione dinamica di scena di illuminazione impostate. Il prospetto 1 mostra la corrispondente posizione della norma rispetto all'insieme delle norme sugli EPB nel contesto della struttura modulare come dalla EN ISO 52000-1.

NORMA NUMERO: UNI 11165

DATA ENTRATA IN VIGORE: 2005

TITOLO: Luce e illuminazione. Illuminazione di interni. Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR

SOMMARIO: La norma specifica i criteri per il calcolo dell'indice di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating – Indice unificato di abbagliamento) per interni considerando il solo contributo dell'illuminazione artificiale.

1.2 Applicazione delle normative

La normativa UNI-EN 12464-1 relativa all'illuminazione dei posti di lavoro consiglia, per le tipologie di locali prese in esame le seguenti direttive per illuminamento medio mantenuto \bar{E}_m , abbagliamento UGR_L e resa del colore R_a

UFFICI	\bar{E}_m [lux]	UGR_L	R_a
Stazioni di lavoro CAD	500	19	80
Scrittura, battitura, lettura, trattamento dati	500	19	80
Disegno tecnico	750	16	80
Corridoi	100	25	80

Tabella 1. 1 Prescrizioni normative UNI-EN 12464-1

L'illuminamento medio si riferisce alle superfici relative al compito visivo che variano in altezza a seconda della casistica di utilizzo; per uffici ed open space è previsto il valore standard di 0,85 m mentre per i corridoi è opportuno utilizzare un valore pari a 0,2 m indicante il piano di calpestio. L'indice UGR è variabile a seconda del punto e della direzione di osservazione, è pertanto opportuno calcolare più valori così da poter affermare con alta probabilità che il valore limite, a cui corrisponde la percezione di abbagliamento molesto, non possa essere mai superato.

LAMPADA	R_a
a incandescenza	90-100
alogeni	90-100
fluorescenti tubolari	50-95
fluorescenti compatte	80-90
ai vapori di sodio ad alta pressione	20-39
ai vapori di sodio a bassa pressione	0-10
a ioduri metallici	65-95
LED	75-90

Tabella 1. 2 Indici di resa cromatica per diverse tipologie di lampade

La resa del colore è un parametro dipendente dalla tipologia di lampada installata ed offre la

misura del grado di conformità della percezione dell'osservatore per i colori degli oggetti illuminati dalla sorgente posta nel locale.

La norma tratta inoltre come in un locale lavorativo vi siano tre differenti tipologie di area:

- **zona del compito**: (task area) è la superficie dove ricadono tutti gli elementi che partecipano al compito visivo dell'osservatore;
- **Area circostante**: (surrounding area) è una banda di larghezza almeno 0,5 m che circonda la zona del compito;
- **Area di sfondo**: (background area) una fascia di almeno 3 m attorno alla surrounding area ma contenuta entro i limiti dello spazio considerato.

La norma suggerisce inoltre dei valori con cui sfumare l'illuminamento dalla zona del compito fino ad arrivare all'area di sfondo; gli usuali valori tra zona del compito ed area circostante sono riportati in Tabella 1.3.

$E_{task\ area} [lx]$	$E_{surrounding\ area} [lx]$
≥ 750	500
500	300
200	150
≤ 150	$E_{task\ area}$

Tabella 1.3 Corrispondenza tra illuminamenti nella task area e l'area circostante

Le correlazioni tra i valori in tabella 1.3 sono necessarie affinché non ci siano variazioni troppo brusche tra le zone, pena l'abbagliamento e un conseguente affaticamento visivo.

L'uniformità di illuminamento U_0 si definisce come il rapporto tra illuminamento minimo e illuminamento medio su una determinata superficie, nel progetto è opportuno garantire un valore di uniformità minimo per ogni superficie. Va inoltre considerato che un'eccessiva uniformità porta ad avere un ambiente oltremodo costante e monotono.

UFFICI	$U_{0,task\ area}$	$U_{0,surrounding\ area}$
Stazioni di lavoro CAD	≥ 0.60	$\geq 0,40$
Scrittura, battitura, lettura, trattamento dati	≥ 0.60	≥ 0.40
Disegno tecnico	≥ 0.70	≥ 0.40

Tabella 1.4 Prescrizioni normative relative all'uniformità di illuminamento nelle aree di interesse

La distribuzione e l'equilibrio delle luminanze rappresentano uno dei fenomeni che maggiormente influenzano la visione; nello specifico la luminanza è la grandezza rappresentante la quantità di

luce indirizzata verso l'occhio dell'osservatore. Per ottenere un opportuno bilanciamento è necessario evitare luminanze eccessive che potrebbero causare abbagliamento, contrasti di luminanza troppo alti che causerebbero affaticamento come però anche troppo bassi che porterebbero ad avere ambienti di lavoro poco stimolanti.

Sono da considerare la luminanza direttamente fornita dalle lampade degli apparecchi come anche quella indirettamente prodotta dalla luce riflessa dalle superfici del locale. A seconda del coefficiente di riflessione e della tipologia di materiale di cui è composta una superficie hanno luogo fenomeni riflettenti diversi; gli intervalli di valori consigliati dalla normativa sono esposti in Tabella 1.5.

SUPERFICIE	<i>Da</i>	<i>a</i>
Soffitto	0.60	0.90
Pareti	0.30	0.80
Piani di lavoro	0.20	0.60
Pavimenti	0.10	0.50

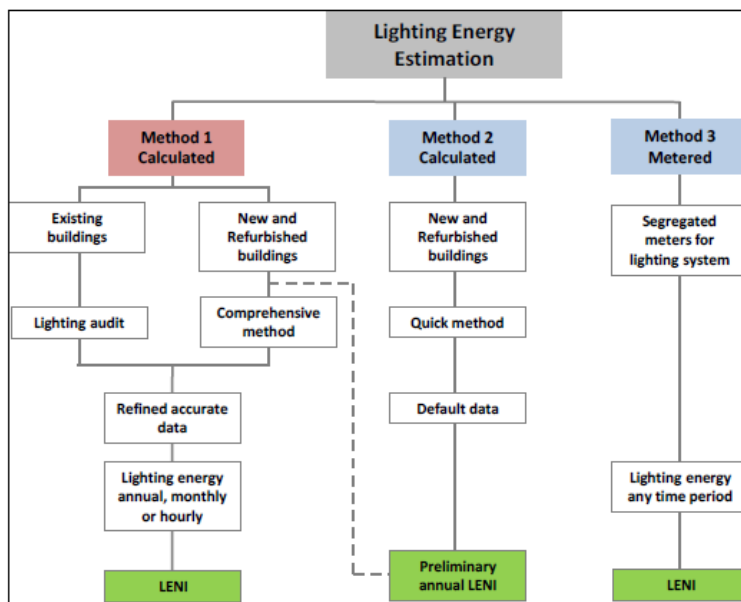
Tabella 1.5 Coefficienti di riflessione consigliati per alcune superfici

L'eliminazione del problema dell'abbagliamento, come già citato, è eseguito attraverso il calcolo dell'indice UGR; è necessario notare però che non esiste solo l'abbagliamento causato direttamente da sorgenti luminose. Riflessioni ad alta luminosità all'interno dell'area sede del compito visivo possono condizionare la visibilità degli oggetti; le raccomandazioni fornite dalla normativa riguardano perciò, oltre all'adeguata ubicazione degli apparecchi, l'utilizzo di superfici per quanto possibile non speculari bensì opache o scabre. In quest'ottica la normativa fornisce delle indicazioni per la limitazione dell'abbagliamento dovuto a videoterminali; la luce riflessa dallo schermo può causare riduzione del contrasto rispetto a ciò che si desidera visualizzare: per schermi lucidi la luminanza dell'apparecchio riflessa sullo schermo potrebbe essere debilitante. Per videoterminali muniti di schermo antiriflesso il problema potrebbe essere rappresentato dalla luminanza di velo creatasi sulla superficie dello schermo stesso. Attenendosi ai limiti esposti in Tabella 1.6 per la scelta degli apparecchi luminosi il progettista può tutelare l'osservatore dai fenomeni esposti garantendo un livello soddisfacente di comfort visivo.

LIVELLO DI LUMINANZA DELLO SCHERMO	SCHERMI A LUMINANZA ELEVATA $L > 200 \frac{cd}{m^2}$	SCHERMI A MEDIA LUMINANZA $L \leq 200 \frac{cd}{m^2}$
CASO A Polarità positiva, medie esigenze di compito visivo	$\leq 3000 \frac{cd}{m^2}$	$\leq 1500 \frac{cd}{m^2}$
CASO B Polarità negativa e/o elevate esigenze di dettaglio	$\leq 1500 \frac{cd}{m^2}$	$\leq 1000 \frac{cd}{m^2}$

Tabella 1.6 Limiti di luminanza media degli apparecchi luminosi che può essere riflessa su schermi piatti

La norma UNI EN 15193 consente il calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale includendo i benefici portati dall'integrazione con la risorsa naturale, i sistemi di schermatura, le caratteristiche climatiche del luogo. Vi sono tre metodi per le valutazioni: i primi due basati sul calcolo ed il terzo su misurazioni dirette dell'impianto di illuminazione. Il metodo di calcolo 1 è completo e necessita della conoscenza dei dati reali delle installazioni specificate nel progetto; è applicabile sia per edifici esistenti che ristrutturati ed in entrambi i casi si perviene all'indicatore LENI dell'intero edificio su base annuale, mensile e oraria. Il metodo 2 è rapido e si applica ad edifici nuovi e/o rivalutati per una stima del carico installato mediante dati tabellati per approssimare il fabbisogno energetico dell'illuminazione attraverso il Preliminary annual *LENI*. Questo secondo metodo è utile solo in fase di concept o di studio di fattibilità del progetto di un edificio.



Figural. 1 Panoramica delle diverse metodologie di determinazione del LENI

Il Lighting Energy Numeric Indicator è definito come:

$$LENI = \frac{W}{A} \left[\frac{kWh}{m^2 anno} \right]$$
 dove W rappresenta l'energia totale annua utilizzata per l'illuminazione e A la superficie di pavimento totale considerata. W è definito come la somma tra l'energia necessaria per l'illuminazione annua, W_L , e l'energia dovuta ai sistemi di automazione W_P . A loro volta i due sono definiti come:

$$W_L = \sum \frac{P_n \cdot F_C \cdot (t_D F_O \cdot F_D + t_N \cdot F_O)}{1000} [kWh]$$

$$W_P = \sum \frac{P_{PC} \cdot (t_y - (t_D + t_N)) + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} [kWh]$$

Con "P" sono indicate tutte le potenze, con "t" i termini temporali e con "F", fattori compresi tra 0 e 1 ricavabili per via analitica nel calcolo completo o approssimato con il metodo 2 sfruttando dei valori tabulati nella normativa. I singoli termini sono definiti come:

- P_n è la potenza totale delle lampade installate nell'area considerata;
- P_{PC} rappresenta la potenza parassita totale dei sistemi di regolazione quando le luci non sono attive;
- P_{em} si riferisce al contributo dovuto alla carica dell'illuminazione d'emergenza, che nella trattazione sarà trascurata;

- t_y fa riferimento al valore standard annuale in ore di 8760 [h];
- t_D sono le ore nell'anno in cui sono sfruttati i locali durante la giornata;
- t_N sono le ore di buio durante l'anno di utilizzo dei locali;
- t_{em} durata annuale della carica dell'illuminazione d'emergenza
- F_D , daylight dependency factor, lega l'utilizzo dell'illuminazione installata alla disponibilità della risorsa naturale e dal tipo del sistema di controllo dei sistemi di daylighti nell'area analizzata;
- F_O , occupancy dependency factor, lega lo sfruttamento dell'illuminazione artificiale in base al tempo di occupazione e al numero di utenti che occupano la zona d'interesse;
- F_C , constant illuminance factor: durante la progettazione gli impianti sono sovradimensionati in modo da considerare l'inevitabile decadimento di prestazioni dei componenti nel tempo, il fattore allora considera la presenza di sistemi di regolazione dell'illuminazione perché questa rimanga più costante possibile nel tempo per il locale analizzato.

Dalla normativa è stato possibile ricavare i seguenti valori standard per i tre dependency factors adatti ai luoghi di lavoro analizzati:

DEPENDENCY FACTOR	MANUALE	AUTOMATICO
F_D	1	0.7 *
F_O	1	0.9**
*dimming dell'illuminamento regolato con sensore in funzione della luce naturale ** almeno il 60% del carico deve essere connesso		
	Constant illuminance control system ON	Constant illuminance control system OFF
F_C	1	0.9

Tabella1. 7 Valori standard per uffici dei dependency factor

Sono specificati i rimanenti valori di default in Tabella 1.9:

COSTANTI	VALORE
t_D	1800 [h]
t_N	250 [h]

Tabella1. 8 Valori di default relativi ai locali d'interesse

Calcolato il LENI è possibile confrontare il risultato con i valori massimi limite della normativa a seconda dell'attività svolta nell'edificio analizzato, della presenza o meno del cte (constant illuminance control system) e della qc, quality class. La presenza del cte e di sistemi di regolazione automatica consente la diminuzione del valore limite previsto diminuisca, il qc permette di attribuire una valutazione in numero di stelle all'impianto (da una a tre) in base a quanto durante la progettazione si siano rispettati i canoni normativi illuminotecnici della norma UNI EN 12464-1.

	LIGHTING DESIGN CLASS		
	*	**	***
Costanza dell'illuminamento nell'area del compito visivo	✓	✓	✓
Rispetto dei limiti per UGR	✓	✓	✓
Assenza di fenomeni flicker o stroboscopici	✓	✓	✓
Verifica delle riflessioni velanti e abbaglianti		✓	✓
Resa del colore		✓	✓
Verifica dell'uniformità d'illuminamento		✓	✓
Appropriata distribuzione delle luminanze		✓	✓
Cautela verso eventuali problemi di salute			✓
✓ : conformità con quanto specificato verbalmente nella UNI EN 12464-1 ✓ : conformità con i valori richiesti nella UNI EN 12464-1			

Tabella 1. 9 Criteri necessari all'assegnazione della quality class

I valori limite standardizzati per l'indice LENI per i locali d'interesse sono riportati in Tabella 1.11.

QC	LENI $\left[\frac{kWh}{m^2 \text{annuo}} \right]$ limit value			
	NO CTE		CTE	
	MANUAL	AUTO	MANUAL	AUTO
*	42.10	35.30	38.30	32.20
**	54.60	45.50	49.60	41.40
***	67.10	55.80	60.80	50.60

Tabella 1. 10 Valori limite del LENI per edifici adibiti ad uso ufficio

CAPITOLO 2

Costruzione del modello dell'edificio

Le esigenze organizzative ed energetiche hanno subito una forte evoluzione nell'ultimo decennio; è allora rinato un approccio graduale all'utilizzo di software BIM (Building Information Modeling) per riuscire a rendere più trasparente ed efficace il rapporto tra società di ingegneria, imprese responsabili della costruzione fisica dell'opera e cliente. Uno dei principali vantaggi nell'utilizzo di questa risorsa è la possibilità di gestire un edificio non solo durante la fase di progettazione attraverso una migliore coordinazione dei diversi uffici tecnici responsabili ma durante tutto il ciclo di vita dell'opera costruita. In quest'ottica è stato deciso di affidarsi a Revit per la costruzione del modello architettonico al fine di iniziare ad affrontare l'approccio al sistema BIM.

2.1 Concept del modello strutturale

La strategia individuata per la costruzione dell'edificio in Revit si articola in:



- Studio dei file DWG contenenti il progetto architettonico per poter ricavare: le piante dei piani dell'edificio così da poter posizionare ogni componente nella relativa posizione e una sezione dell'edificio per valutare le altezze di ciò che si va a costruire.
- “pulizia” dei file DWG dagli elementi di eccessivo dettaglio non necessari alla realizzazione del progetto architettonico.



Figura2. 1 DWG del piano terra della sede centrale di Manens-Tifs

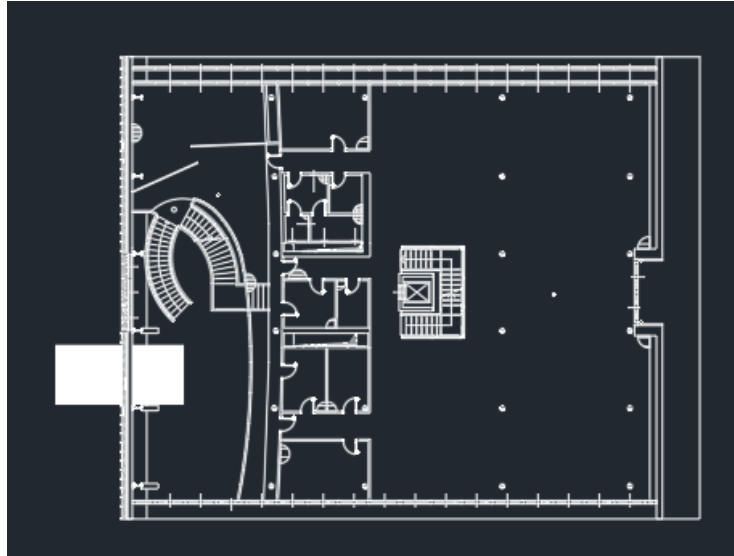


Figura2. 2 DWG del primo piano della sede centrale di Manens-Tifs

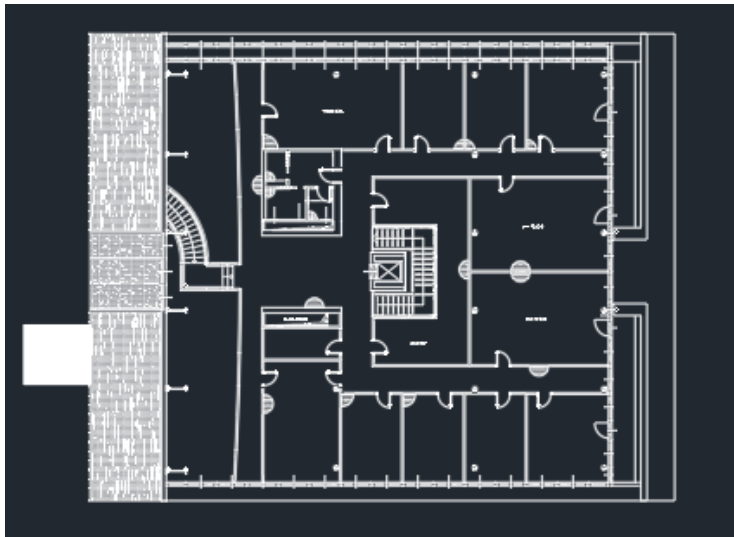


Figura2. 3 DWG del secondo piano della sede centrale di Manens-Tifs

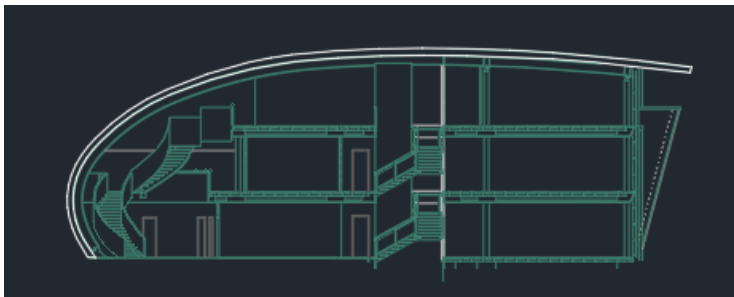


Figura2. 4 Prospetto lato nord della sede centrale di Manens-Tifs

- Importazione delle piante dell'edificio in Revit: ognuna dista in altezza 3,5 m dall'altra così da poter creare successivamente in modo agevole i livelli della struttura a cui ogni piano farà riferimento: Livello 0, Livello 1, Livello 2 e Livello 3 rispettivamente per piano terra, primo piano, secondo piano e tetto come rappresentato in figura 2.5.

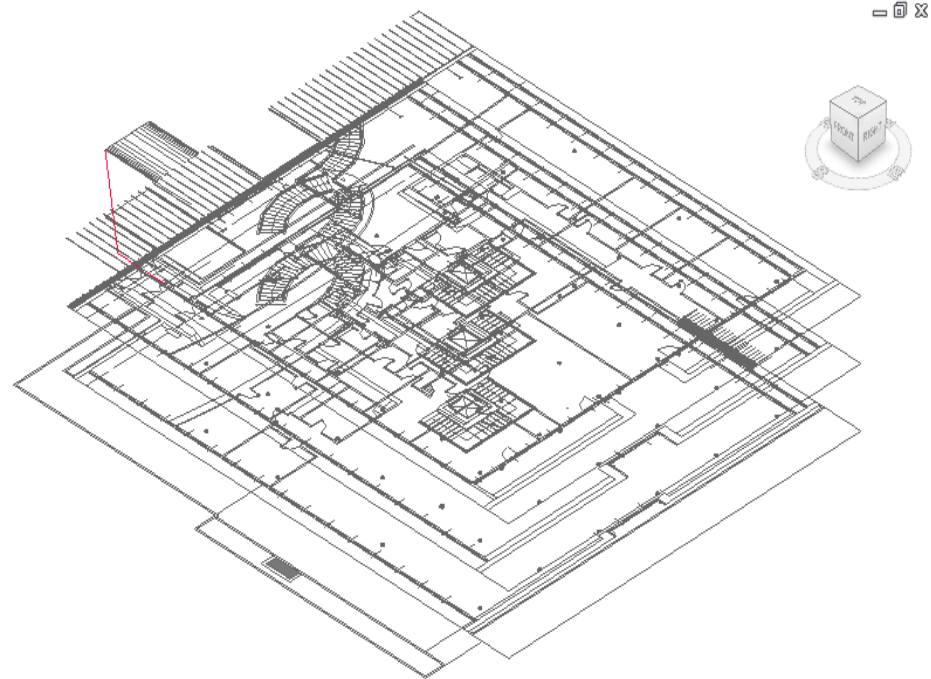


Figura2. 5 Importazione dei piani dell'edificio nel software BIM

- In ogni livello creato, al fine di delimitare i locali che ne fanno parte, sono state inserite le pareti, caratterizzate da superfici opache o vetrate, i controsoffitti ed i pavimenti. Inizialmente si è delimitato l'edificio tracciandone i contorni esterni per poi riempire ogni spazio con i relativi locali e corridoi. Ogni elemento è caratterizzato da una struttura geometrica stratificata ed in cui è possibile definirne il materiale e modificarne le grandezze fisiche che lo descrivono. Al fine del calcolo illuminotecnico i parametri di maggiore interesse sono il coefficiente di riflessione la rugosità superficiale ed il colore. Le caratterizzazioni poste, al momento dell'esportazione del modello in formato IFC-improved verranno trasmesse direttamente a Dialux Evo, con la successiva possibilità di modifica nello stesso software di simulazione illuminotecnica. Inerentemente alla mobilia e al sistema di daylight dei locali è sembrato più conveniente impostarla direttamente in Dialux Evo poiché la mole di dati da esportare da Revit, dopo alcuni test, impediva o ostacolava la corretta importazione dell'edificio. In ogni locale sono presenti delle colonne cilindriche metalliche, a scopo strutturale, la cui base inferiore è posizionata al piano terra e terminano sulla copertura. Come accennato nella descrizione iniziale dell'edificio all'ingresso è presente una scala elicoidale che permette l'accesso ad entrambi i piani rialzati dell'edificio, all'interno dell'edificio vi è un'altra scala che collega gli open-space del piano terra e del primo piano con il secondo. Anche per le scale costruite si sono incontrati dei problemi nell'esportazione: dopo alcuni

test il modello senza scala veniva importato correttamente, quello includente la scala causava terminazione del software senza specificarne il motivo; la scala d'interesse per l'analisi del locale open-space è stata pertanto costruita direttamente in Dialux. In figura 2.6 e 2.7 sono visualizzati i risultati ottenuti fino a questo punto della modellazione.

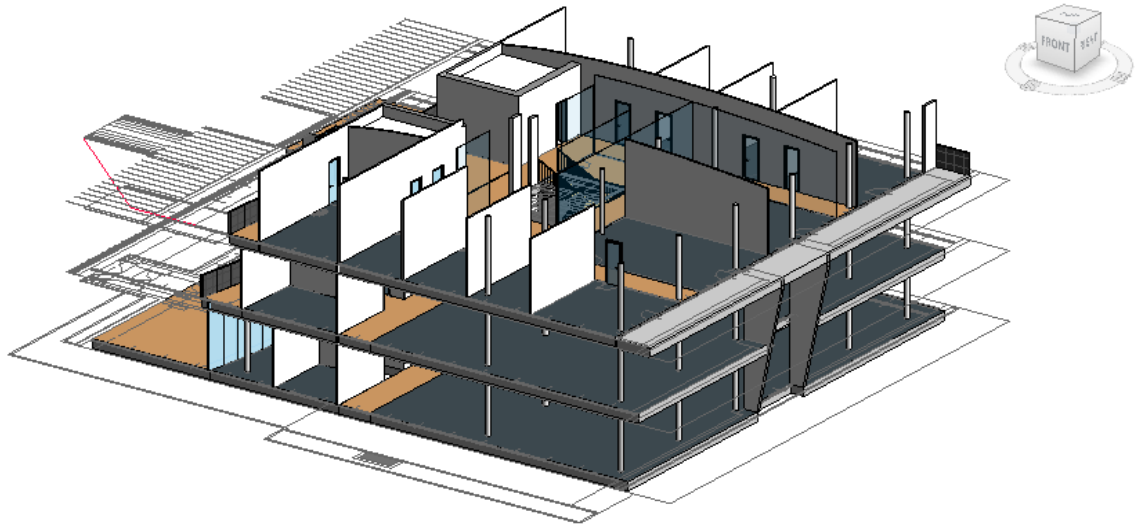


Figura2. 6 Prospetto nord-ovest dell'edificio modellato in Revit

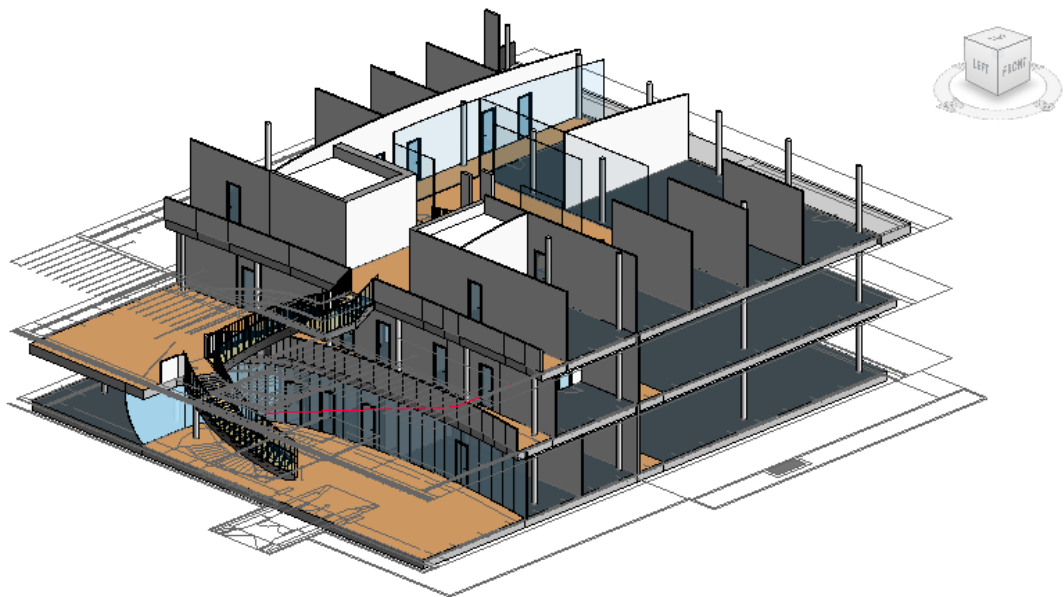


Figura2. 7 Prospetto nord-est dell'edificio modellato in Revit

- Il passo successivo è la realizzazione della copertura dell'edificio; per la sua costruzione è stato necessario sfruttare delle strategie di modellazione che integrassero sia Revit che Autocad. È stato necessario sfruttare il prospetto di figura 2.4 in Autocad per avere il riferimento della forma e della curva tracciata dal tetto dell'edificio. Tutte le linee spezzate che costituiscono la copertura sono state accorpate in uno stesso gruppo cosicché i software considerassero il perimetro individuato come un unico componente monolitico. La porzione isolata è stata esportata da Autocad a Revit ancora una volta come file in formato DWG; selezionando il perimetro è stato poi possibile definirne la superficie all'interno ed estruderla per tutta la larghezza dell'edificio in tre parti distinte al fine di distinguere quella centrale vetrata da quelle laterali metalliche. Il software è necessario percepisca la struttura creata come tetto, non come elemento generico, è stato pertanto necessario unire i tre volumi creati in un unico gruppo e indicarne l'appartenenza alla famiglia "roof". Per questo step della modellazione il risultato ottenuto è evidenziato in figura 2.8.

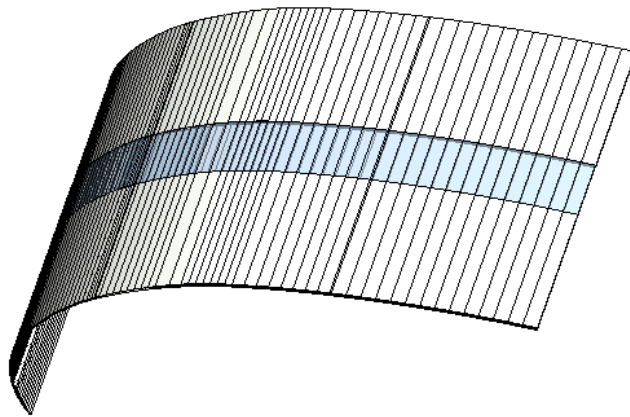


Figura2. 8 Copertura della sede centrale di Manens-Tifs

- Si è poi passati alla costruzione delle vetrate che delimitano l'edificio nel lato nord, sud e ovest; queste sono composte per la maggior parte da pannelli di vetro di 0.855 m in altezza e 1,78 m in lunghezza, i montanti in alluminio sono di 10 mm e ne circoscrivono il perimetro per intero. Nelle zone adiacenti il lato est ed il lato ovest le vetrate seguono le forme imposte rispettivamente dalla copertura e dalle pareti inclinate e pertanto vi sono posizionati pannelli di dimensioni variabili. Nel lato nord dell'edificio è presente una singola parete vetrata, nel lato sud è doppia ma divisa da un'intercapedine di 700 mm di aria funzionale, con i propri moti convettivi, a ridurre la trasmittanza termica della parete. Le porte dell'edificio sono in vetro satinato e maniglia in alluminio, esse impediscono che nei locali vi sia accentuazione di riflessi dovuti all'illuminazione artificiale o alla luce solare e perciò possibilità di abbagliamento. Il risultato ottenuto fino a questa fase della modellazione è riportato nei prospetti delle figure 2.9-2.10.

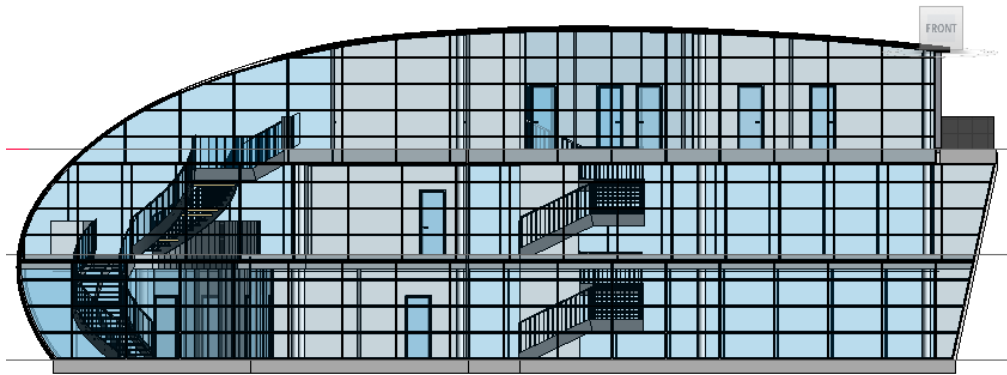


Figura2. 9 Prospetto nord della sede centrale di Manens-Tifs

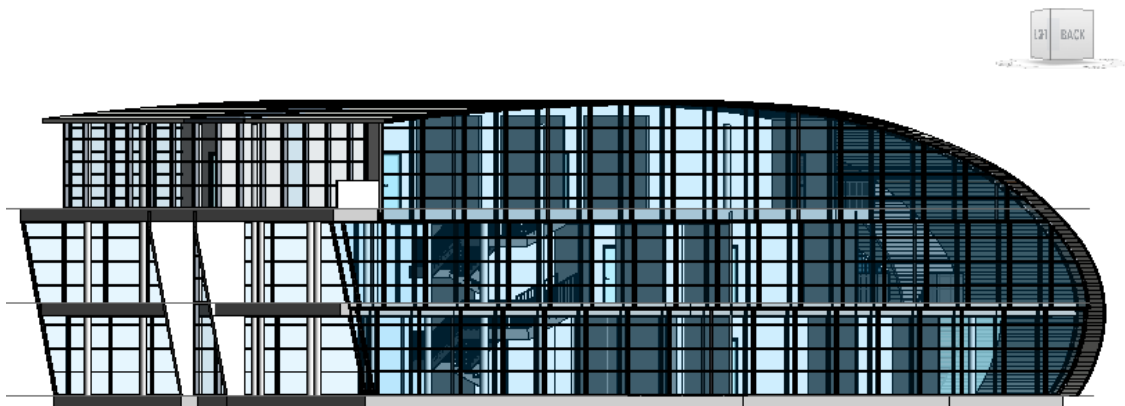


Figura2. 10 Prospetto sud-ovest sede centrale di Manens-Tifs

- L'ultima struttura mancante all'edificio sono le mura inclinate del lato ovest, il metodo deciso per costruirle sfrutta la stessa strategia di modellazione utilizzata per la copertura, seguendo una linea retta anziché una curva. È stata preso il perimetro del parallelepipedo corrispondente alla sezione del muro inclinato, lo si è importato in Revit, è stata presa la superficie al suo interno e la si è estrusa per formare il volume di muro necessario. Il muro ricavato e una sua copia sono stati posizionati nel lato ovest del modello a chiudere i due open-space del piano terra e del primo piano collegandosi con le vetrate.

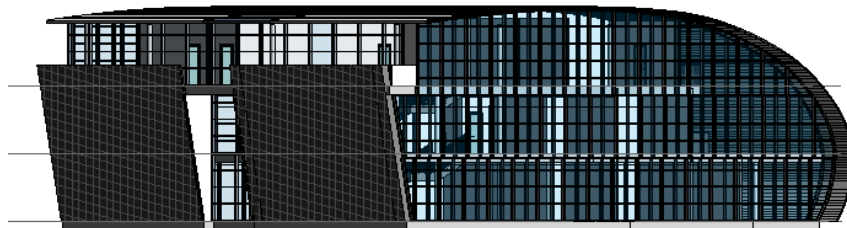


Figura2. 11 Risultato della modellazione Revit della sede centrale di Manens-Tifs

2.2 Esportazione del modello dell'edificio



DIALux evo

Il modello di dati IFC (Industry Foundation Classes) è stato concepito per descrivere informazioni nell'ambito dell'edilizia e delle costruzioni. È una tipologia di file "neutrale" leggibile da moltissimi software di modellazione che punta a facilitare la coordinazione e l'interoperabilità tra

le discipline necessarie alla realizzazione di un edificio: architettura, impianti elettrici, sistemi di illuminazione, condizionamento dell'aria, ventilazione, reti idrauliche e sistemi acustici.

Dopo alcuni tentativi di esportazione sfruttando la funzione offerta direttamente da Revit ne è risultato che Dialux non fosse in grado di interpretare correttamente il modello architettonico.

Indagando sulle tipologie di formati ifc ne è stato individuato uno che permette di migliorare la comunicazione durante l'esportazione del modello architettonico chiamato "ifc-improved".

Il formato individuato è un'iniziativa di Graphisoft e consente di ottenere una migliore possibilità di collegamento tra i due software BIM più diffusi nel mercato Archicad e Revit, la funzione è disponibile attraverso un add-in installabile direttamente nei software. Quando il file è stato trasformato si è proceduto all'importazione in Dialux Evo attraverso la procedura guidata del software che consente di scegliere cosa importare e con che livello di dettaglio per le superfici.

È stato deciso di importare le tipologie di materiale, i loro coefficienti di riflessione, le vetrate, il tetto, tutta la muratura, le porte e le colonne; dopo alcuni test queste sono state le migliori modalità di importazione individuate, l'edificio completo in Dialux Evo è riportato in figura 2.12

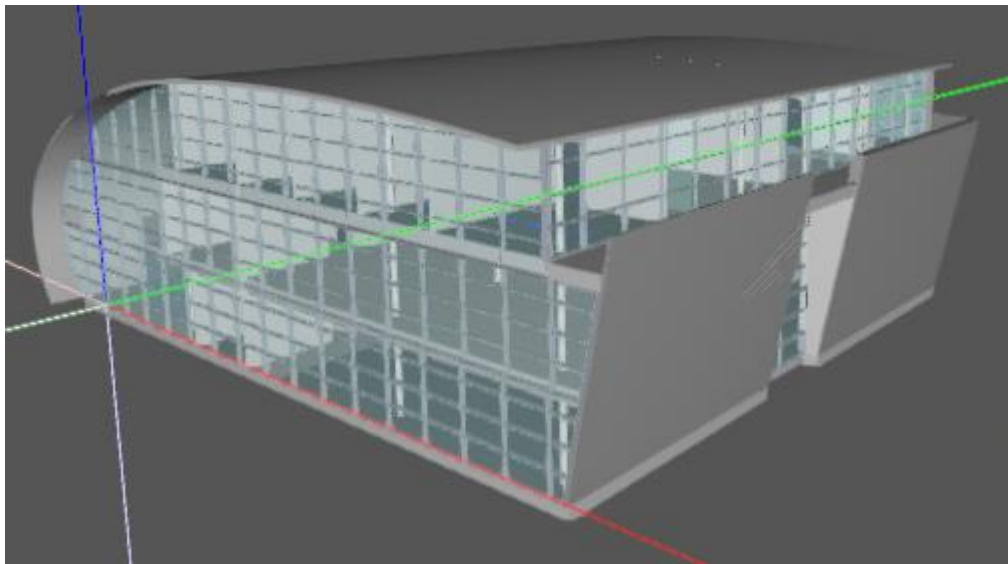


Figura2. 12 Modello della sede centrale di Manens-Tifs importato in Dialux Evo

Dall'edificio sono stati poi selezionati solo i locali di interesse, open-space ed ufficio ad esso adiacente del piano terra, in modo da alleggerire il software da oneri computazionali eccessivamente gravosi ad ogni ciclo di calcolo.

2.3 Inserimento degli elementi nei locali

Come affermato precedentemente dopo l'importazione sarebbe stato necessario inserire nei locali, prima degli apparecchi, i mobili, la scala, le veneziane, in quanto sistema di daylighting installato nella struttura e tutti gli elementi del locale che possono influire sul computo illuminotecnico. L'arredamento dei locali non è stato definito nei minimi particolari poiché trascurare piccoli elementi non altera in modo sensibile i risultati delle simulazioni, soprattutto se questi sono posti nelle zone di margine degli ambienti. Nella definizione di tutti gli elementi è importante sottolineare che Dialux considera le superfici come perfettamente diffondenti e pertanto il materiale e la sua scabrosità non influenzano le riflessioni scaturenti dall'interazione con la luce. I parametri che influenzano il computo illuminotecnico sono il coefficiente di riflessione e il colore della superficie; variando il coefficiente di riflessione la tonalità del colore selezionato si modifica. Ad un aumento del coefficiente corrisponde uno schiarimento della tonalità del colore scelto mentre ad una diminuzione corrisponde uno scostamento verso un tono più cupo. I colori sono stati scelti per similitudine mediante ispezione dei locali; i coefficienti di riflessione sono stati supposti sfruttando i dati usati per simulazioni illuminotecniche passate eseguite dall'azienda e sfruttando i valori consigliati dal software.

ELEMENTO DEL LOCALE	COLORE	COEFFICIENTE DI RIFLESSIONE
PARETI	BIANCHE	55%
SCALA IN LEGNO	MARRONE	40%
PAVIMENTO MOQUETTE	GRIGIO SCURO	15%
PAVIMENTO PARQUET	MARRONE, LEGNO	40%
SOFFITTO	BIANCO	70%
PIANO DELLA SCRIVANIA -open-space-	MARRONE	30%
PIANO DELLA SCRIVANIA -ufficio-	GRIGIO	40%
SCAFFALI	GRIGIO	60%
LIBRERIA	MARRONE	40%
SEDIE	GRIGIO	20%
COLONNE	BIANCHE	50%
VETRATE	TRASPARENTI	10% 90% grado di trasmissione
SCHERMI COMPUTER	NERO	23%
PORTE DI VETRO SATINATO	AZZURRO	10%
VENEZIANE	GRIGIO	65%
SEDIE	GRIGIO	20%
SÈPARÈ	GRIGIO SCURO	20%

Tabella2. 1 Coefficienti di riflessione delle superfici dei locali

Dopo l'inserimento di scrivanie, sedie, colonne, scaffali, porte e computer la planimetria dei due locali è presentata nelle figure 2.13 e 2.15 mentre i rendering ottenuti nelle 2.14 e 2.16

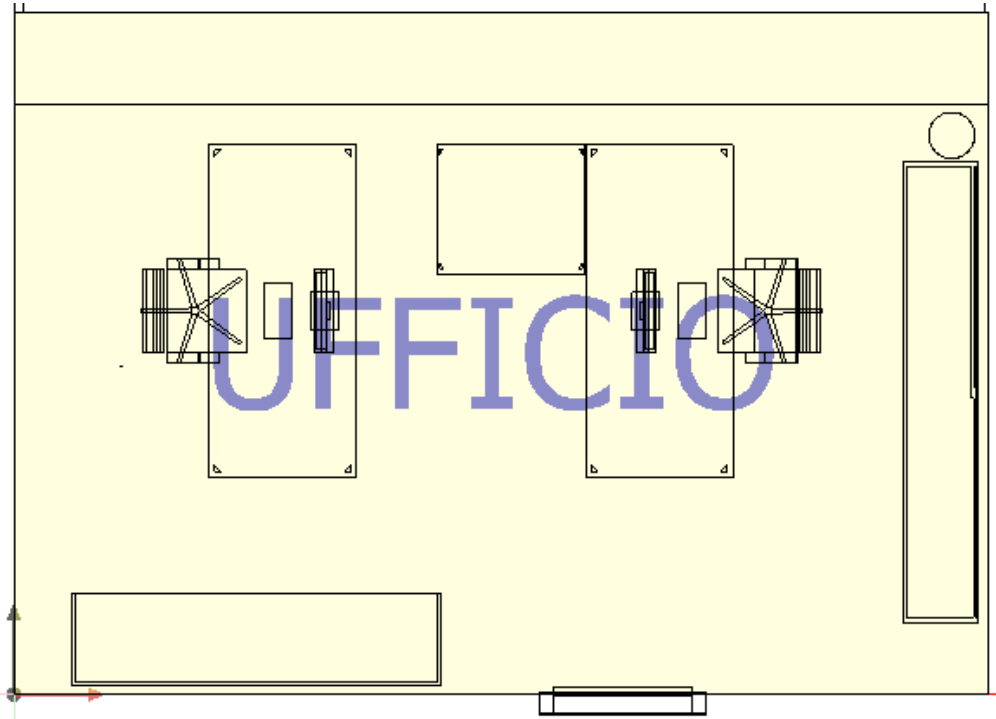


Figura2. 13 Planimetria dell'ufficio lato sud

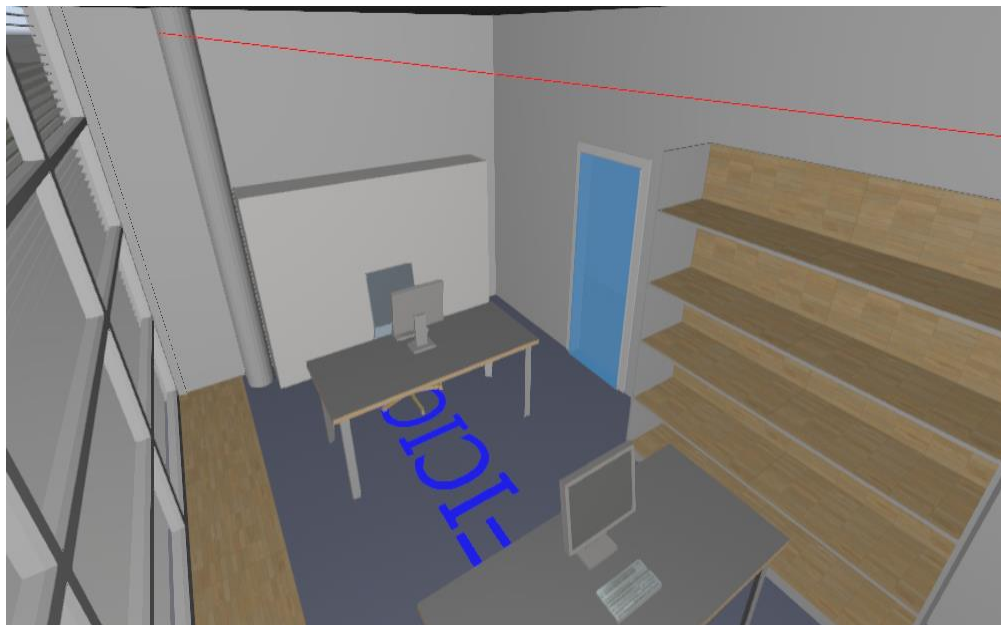


Figura2. 14 Rendering dell'ufficio lato sud

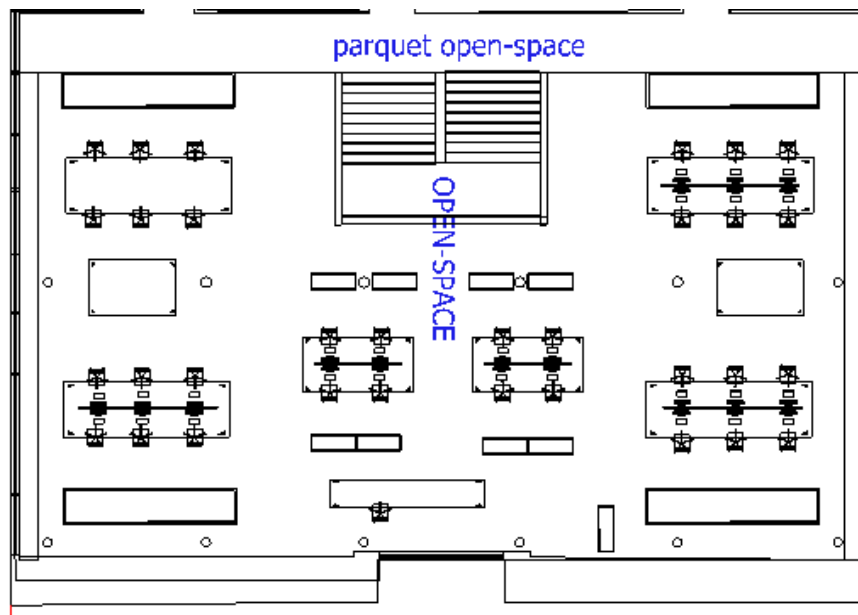


Figura2. 15 Planimetria dell'open-space



Figura2. 16 Rendering dell'open-space

È opportuno sottolineare come i locali analizzati siano ambienti di lavoro dinamici dove possono anche avvenire riconfigurazioni nel posizionamento del mobilio.

Quanto è stato inserito nel modello cerca di far riferimento il più fedelmente possibile ai dati ricavati da osservazioni, misurazioni e planimetrie fornite dall'azienda.

2.4 Posizionamento delle superfici di calcolo

Per tutte le simulazioni è stata usata la stessa configurazione di superfici di calcolo; la strategia con cui sono state posizionate ha cercato di avvicinarsi il più possibile alle esigenze che gli ambienti analizzati incontrano. Per ogni locale il software crea automaticamente una superficie utile a 0.8 m d'altezza dal pavimento, questa verrà sfruttata per valutare l'illuminamento medio dell'ambiente da cui è complessivamente caratterizzato.

Nell'ufficio sono state inserite due aree postazioni di lavoro ad un'altezza di 0.85 m dal pavimento, come zona del compito è stato deciso di includere metà della superficie totale della scrivania, nello specifico dove è posizionato il computer e in cui l'attenzione dell'utente cade per la maggior parte del tempo. Entrambe le aree circostanti sono state impostate in una fascia di 0.3 m per monitorare che la banda attigua alla zona del compito conservi il rapporto per garantire un determinato livello di uniformità; considerando la superficie del locale è stata poi individuata un'unica zona di sfondo per entrambe le postazioni di lavoro e alla loro stessa altezza.

Per la verifica dell'abbagliamento sono state posizionate due superfici di calcolo, dove sono inserite le sedie, con un offset di 1.20 m in altezza rispetto al pavimento; l'intervallo di controllo è da 90 a 270° con passo di 15°, considerando il diverso orientamento delle due postazioni.

Sono inoltre presenti uno scaffale e una libreria dove sono state posizionate due superfici di calcolo verticali con l'obiettivo di verificare che vi incida un livello di illuminamento adeguato all'ispezione o ricerca di manuali e documenti.

In figura 2.17 e 2.18 è possibile vedere la distribuzione di superfici create.

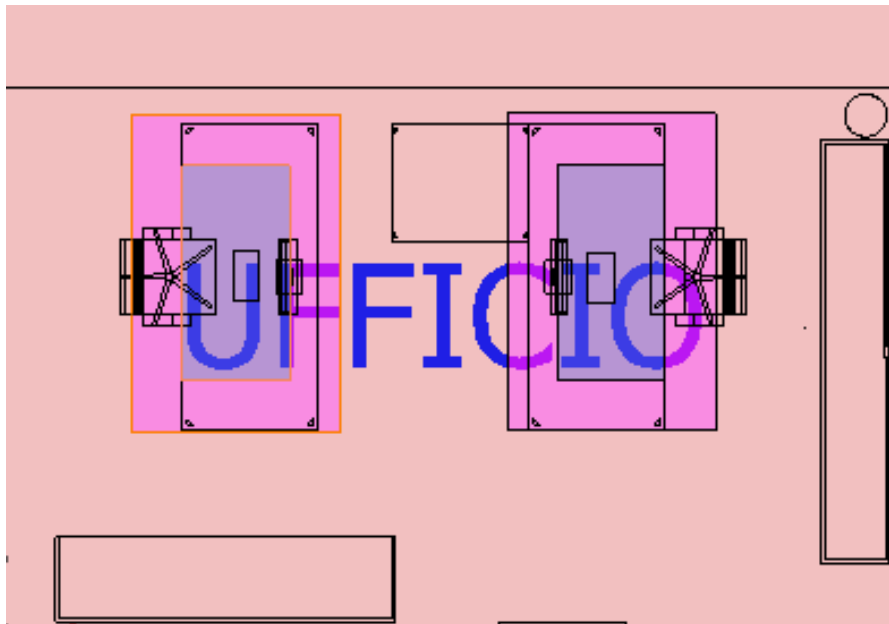


Figura2. 17 Posizionamento postazioni di lavoro nell'ufficio

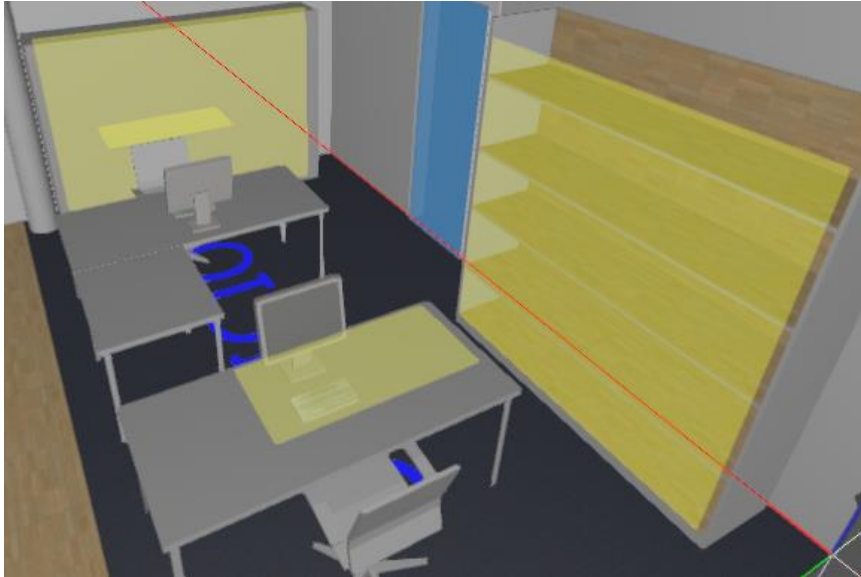


Figura2. 18 Posizionamento delle superfici di calcolo per UGR e illuminamento verticale nell'ufficio

Nel locale open-space sono state posizionate postazioni di lavoro a 0.85 m dal pavimento in ogni scrivania dove vi siano degli schermi per computer; la zona del compito visivo è stata posizionata fino allo schermo mentre l'area circostante è stata impostata di 0.5 m e fino a raggiunge i séparé in ogni tavolo. L'ampiezza della banda è stata scelta di 20 centimetri in più rispetto all'ufficio per monitorare con più ampiezza la distribuzione di illuminamento nell'area operativa degli utenti. Sono presenti due tavoli, uno a nord e uno a sud, posizionati tra le due file di scrivanie dotate di computer, dove vengono frequentemente ispezionati progetti CAD, per questi sono state inserite due superfici apposite di calcolo per monitorare che vi incida l'adeguato livello di illuminamento. Nelle scrivanie prive di computer lato nord e nei tavoli adiacenti alla scala sono state inserite superfici di calcolo e non aree di lavoro poiché rappresentano zone di consultazione e non sono occupate per tempi molto prolungati nell'arco della giornata lavorativa. La zona del parquet ha la peculiarità di non essere definita come semplice area di passaggio in quanto di fronte alle scale è presente un archivio incassato a muro. Sono state inserite pertanto due superfici di calcolo verticali in cui di volta in volta è stato monitorato l'illuminamento incidente. Per ogni libreria o scaffale presente nel locale è stata inserita una superficie di calcolo verticale per verificare che vi siano le giuste condizioni di illuminazione per la ricerca di libri e documenti. Per quanto concerne il controllo dell'abbagliamento con l'indice UGR nel open-space sono state inserite per ogni tavolo dotato di sedie superfici di calcolo con offset dal pavimento di 1.2 m e intervallo di ispezione da 90° a 270°, o viceversa a seconda dell'orientamento della scrivania, con passo di 15°. La planimetria con le postazioni di lavoro e il rendering con le superfici di calcolo sono evidenziate in figura 2.19 e 2.20

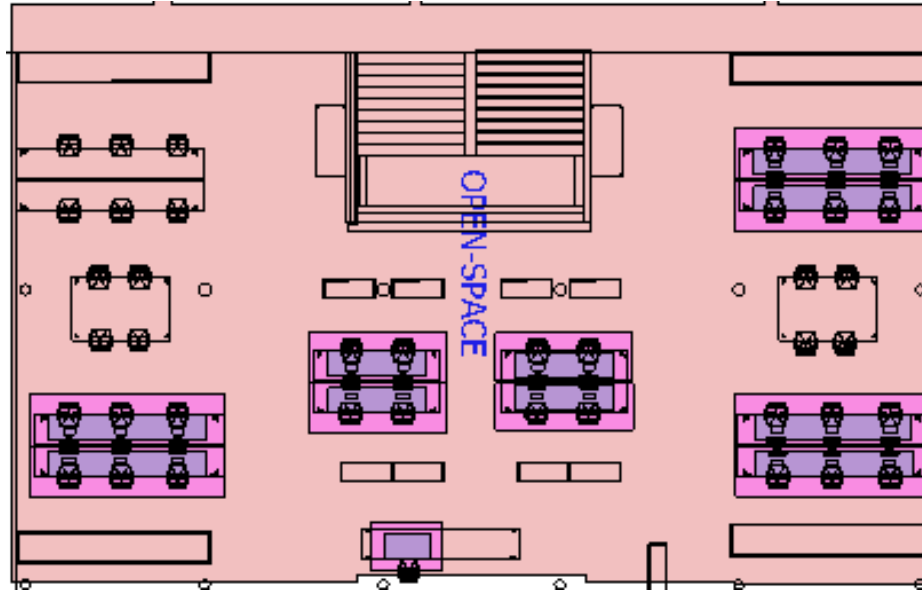


Figura2. 19 Posizionamento delle postazioni di lavoro nel locale open-space

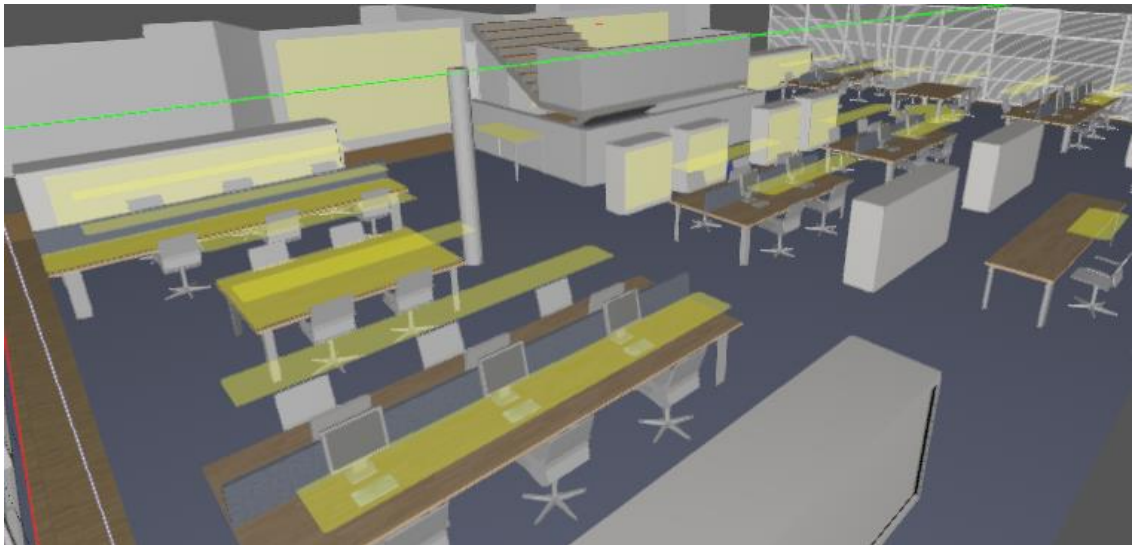


Figura2. 20 Posizionamento delle superfici di calcolo nel locale open-space

CAPITOLO 3

Progettazione illuminotecnica

3.1 Scelta del software

Nella fase preliminare dell'attività di tesi sono stati due i software sondati per lo svolgimento dei calcoli illuminotecnici: Dialux Evo e Radiance. I due software sfruttano metodi di calcolo diversi, Dialux adotta il metodo del Radiosity mentre Radiance utilizza il Raytracing.

Il primo si basa sulle leggi della trasmissione del calore e considera tutte le superfici come diffusori ideali che pertanto seguono la legge di Lambert riflettendo la luce incidente allo stesso modo in ogni direzione. Le superfici inserite nel software sono suddivise in sottosuperfici formate a loro volta da poligoni elementari caratterizzati da uguale colore e coefficiente di riflessione; per ognuno di questi è valutato l'illuminamento incidente. Con questo approccio ogni elemento che viene creato riceve una quantità di energia luminosa e ne restituisce la percentuale non assorbita all'ambiente esterno; il processo rispecchia le logiche del principio di conservazione dell'energia. Il principale svantaggio di questa impostazione è l'impossibilità di rendere riflessioni speculari, in quanto contraddistinte prevalentemente da direzionalità, pertanto superfici completamente o parzialmente speculari non riescono ad essere descritte appropriatamente.

Nel Raytracing i raggi luminosi sono tracciati dall'occhio dell'osservatore, rappresentante il punto di vista scelto, fino alle sorgenti luminose passando tra le superfici presenti nell'ambiente e considerando fenomeni di riflessione, rifrazione e trasmissione.

Nel backward raytracing sono considerati tutti i fotoni che giungono fino al punto di vista e non tutti quelli presenti nell'ambiente analizzato, sono inoltre considerate trasparenze e riflessioni multiple. Poiché il computo di volta in volta è descritto a seconda del punto di vista adottato è necessario un nuovo ciclo di calcolo per ogni punto d'osservazione, questo rappresenta il principale svantaggio nell'utilizzo del Raytracing.

Dopo aver affrontato un periodo di prova per entrambi i software la scelta è ricaduta su Dialux Evo in quanto i locali analizzati non sono caratterizzati da grande presenza di superfici speculari.

Il software scelto è carente rispetto a Radiance per quanto concerne la modellazione dei locali, situazione però compensata con l'utilizzo di Revit per il modello architettonico.

Un ulteriore deterrente all'utilizzo di Radiance è stata l'interfaccia a linea di comando che lo contraddistingue; questi fattori hanno portato alla scelta di un software con un'interfaccia grafica molto più user-friendly come Dialux Evo. Si procederà ora a riprodurre più fedelmente possibile l'impianto di illuminazione esistente e a valutarne i risultati illuminotecnici ed energetici ottenuti.

3.2 Caratteristiche dell'illuminazione nei locali

3.2.1 Apparecchi installati

Attualmente in entrambi i locali sono installate le Siteco Quadrature, sfruttando la tecnologia Eldacon, attraverso un pannello prismatico si riflette internamente all'apparecchio la componente diretta della luce e permette di rilasciarne all'ambiente principalmente per componente diffusa. Le lampade sono caratterizzate da un'importante componente indiretta, come è possibile notare dalla curva fotometrica in figura 3.1, ottenuta grazie alle aperture praticate nella superficie rivolta verso l'alto dell'apparecchio. Con la tecnologia Eldacon è stato possibile limitare l'abbagliamento sia diretto che indiretto dovuto a riflessioni sulle superfici dell'ambiente e conferire maggiore uniformità agli ambienti.

Gli apparecchi sono inoltre descritti dalle caratteristiche riportate in tabella 3.1, dalla curva fotometrica in figura 3.1 e una loro immagine in figura 3.2

GRANDEZZA	MISURA
Tecnologia lampade	Fluorescenza
Lunghezza	1196 mm
Larghezza	329 mm
Altezza	37 mm
Flusso Luminoso	5200 lm (regolabile)
Rendimento del punto luce	80%
Potenza	64 W
Distribuzione DIRETTA-INDIRETTA	55%-45%
GRADO DI PROTEZIONE	IP20

Tabella3. 1 Caratteristiche di Quadrature

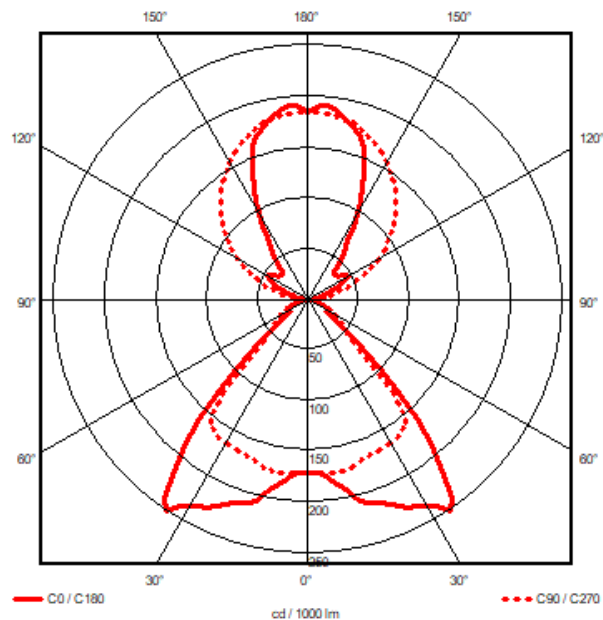


Figura3. 1 Curva fotometrica di Quadrature



L'azienda ha fornito il file in formato "eulumdat" contenente la fotometria dell'apparecchio; una volta aperto come file di testo sono state selezionate le righe opportune ed è stato possibile inserire tutte le caratteristiche geometriche, illuminotecniche ed energetiche evidenziate in tabella 3.1.

Figura3. 2 Foto di Quadrature

3.2.2 Apparecchi proposti

Il primo apparecchio sostitutivo con cui è stata eseguita l'analisi è lo SmartBalance Spacewise di Philips Lighting; è caratterizzato da un livello di flusso simile agli apparecchi attualmente installati, differisce però nella distribuzione luminosa, prevalentemente diretta ma con una percentuale più che dimezzata di componente indiretta rispetto a Quadrature. I dati completi sono esposti in tabella 3.2.

GRANDEZZA	MISURA
Tecnologia lampade	LED
Lunghezza	1340 mm
Larghezza	240 mm
Altezza	50 mm
Flusso Luminoso netto	4100 lm (regolabile)
Efficienza luminosa	119 lm/W
Potenza	38.5 W
Distribuzione DIRETTA-INDIRETTA	79%-21%
Colore della luce	840
Temperatura di colore	4000 K
Classe di isolamento	I (messa a terra)
UGR osservazione longitudinale all'asse apparecchio	≤ 19
UGR osservazione perpendicolare all'asse dell'apparecchio	≤ 19
Grado di protezione	IP40

Tabella3. 2 Caratteristiche tecniche SmartBalance Spacewise

Come è possibile notare dalla curva fotometrica in figura 3.4 il fascio luminoso diretto dell'apparecchio raggiunge i 100°; in figura 3.3 è riportata una foto dell'apparecchio.



Figura3. 3 Foto di SmartBalance Spacewise

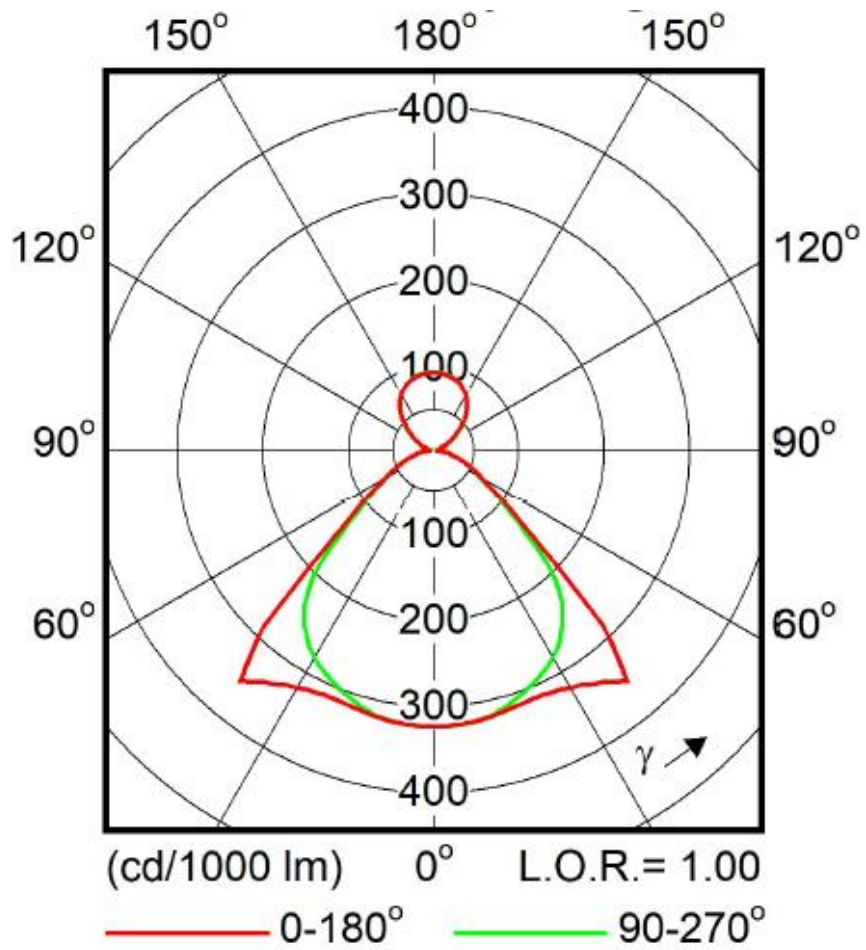


Figura3. 4 Curva fotometrica dell'apparecchio SBS

Il secondo apparecchio che si utilizzerà nella trattazione è il Vega di Siteco; è caratterizzato da una distribuzione di flusso simmetrica ed ibrida diretta-indiretta come è possibile osservare dalla fotometria di figura 3.5. A differenza del Quadrature non ha una distribuzione diretta bilaterale di tipo “batwing” ma meno aperta e concentrata tra i 10°-15°. La componente indiretta è caratterizzata da picchi a 115° che permettono di sfruttare le riflessioni laterali sul soffitto contribuendo a rendere l’atmosfera del locale più gradevole. Sono riportate le caratteristiche tecniche in tabella 3.54 e una foto dell’apparecchio in figura 3.6.

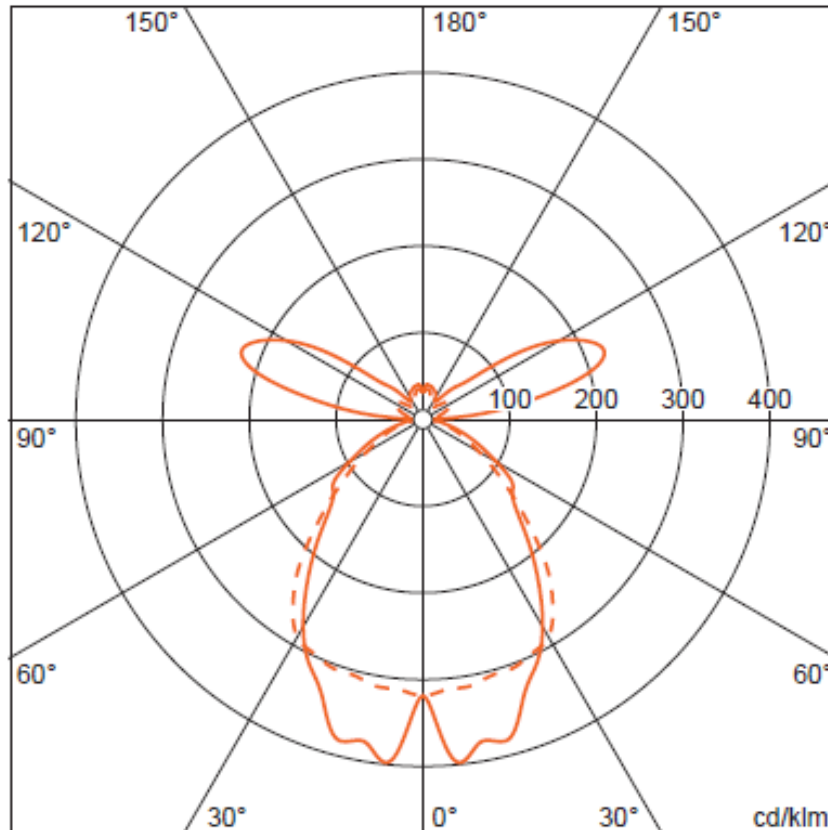


Figura3. 5 Curva fotometrica dell'apparecchio Vega



Figura3. 6 Foto di Vega

GRANDEZZA	MISURA
Tecnologia lampade	LED
Lunghezza	1250 mm
Larghezza	350 mm
Altezza	43 mm
Flusso Luminoso netto	4300 lm (regolabile)
Efficienza luminosa	123 lm/W
Potenza	35 W
Distribuzione DIRETTA-INDIRETTA	70%-30%
Colore della luce	830
Temperatura di colore	3000 K
Classe di isolamento	I (messa a terra)
UGR osservazione longitudinale all'asse apparecchio	≤ 16
UGR osservazione perpendicolare all'asse dell'apparecchio	≤ 16
Grado di protezione	IP20

Tabella3. 3 Caratteristiche tecniche dell'apparecchio Vega

3.3.4 Stima del fattore di manutenzione

Per poter impostare la simulazione illuminotecnica è necessario stimare il fattore di manutenzione dei locali analizzati; questo parametro valuta nel progetto il calo nel livello di illuminamento dovuto a sporcizia, guasti delle lampade ed usura che possono verificarsi nella vita dell'impianto. La valutazione passa per l'osservazione delle condizioni dell'ambiente e degli intervalli di manutenzione, gli intervalli dei programmi di pulizia degli apparecchi e la durata di esercizio delle lampade. Il fattore di manutenzione si ricava attraverso il prodotto di quattro parametri:

- LLMF (fattore di manutenzione del flusso luminoso): indicante la riduzione specifica del flusso luminoso di una lampada nel corso della sua vita, dovuto pertanto all'invecchiamento;
- LSF (fattore di durata delle lampade): che esprime il tasso di mortalità delle lampade installate nel locale;
- LMF (fattore di manutenzione dell'apparecchio): consente di valutare il flusso luminoso specifico perduto a causa di sporcizia accumulata nell'apparecchio;
- RSMF (fattore di manutenzione del locale): esprime il calo dei coefficienti di riflessione, dovuto alla sporcizia accumulata sulle superfici perimetrali del locale.

$$FM = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

Per gli apparecchi installati considerando la tipologia di lampada, l'intervallo di manutenzione dei locali di 3 anni, la manutenzione per gli apparecchi ogni 2-3 anni, il fattore di manutenzione è stato impostato a 0.75. Per entrambe le altre tipologie a LED è stato considerato il valore standard proposto dalla normativa pari a 0.80, la scelta è giustificata in particolare per il fatto che gli apparecchi non necessitano di manutenzione.

3.3 Illuminazione del locale ufficio

3.3.1 Verifica delle prestazioni con Siteco Quadrature

Nell'ufficio sono disposti 3 apparecchi, installati su una rotaia posizionata a 30 cm dal soffitto grazie alla quale le lampade sono alimentate dall'impianto elettrico. Nell'ambiente è installato un unico binario che permette il posizionamento dei 3 apparecchi parallelamente alla vetrata; questi sono posti con il baricentro a 0.95 m dalle pareti laterali, a 1.9 m dalla vetrata e con un passo di 1.7 m l'uno dall'altro come esposto in figura 3.7 dove sono inoltre indicati i nomi con cui verranno denominate le aree di interesse per l'analisi.

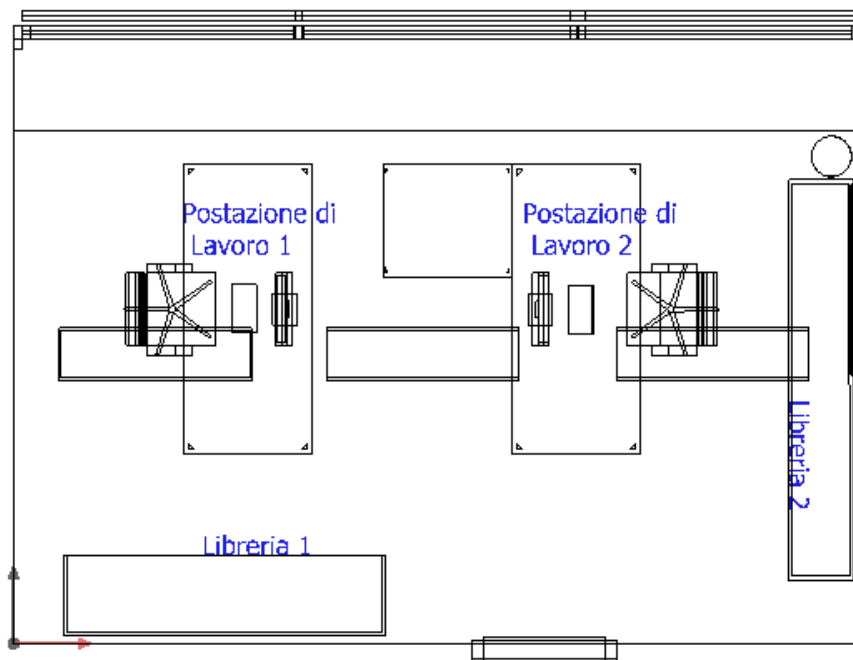


Figura 3.7 Posizionamento punti luce nel locale ufficio

Con la configurazione attuale sono installati nel locale 12447 lm di flusso luminoso totale e 192 W di potenza. Una volta impostato il coefficiente di manutenzione a 0.75 e lanciata la simulazione si sono ottenuti i risultati in tabella 3.5. È possibile notare come non siano raggiunti i 500 lx previsti dalla normativa sulla zona del compito visivo e l'illuminamento medio sia inferiore ai 400 lx. Grazie anche alla importante componente indiretta dell'apparecchio sono però ampiamente soddisfatti i criteri di uniformità di illuminamento. Si evidenzia in figura 3.8 un'immagine del locale a colori sfalsati in modo da ottenere una percezione grafica dei risultati ottenuti nella simulazione. Gli indici UGR sono ampiamente entro il limite fissato a 19, con il massimo per la postazione di lavoro 1 a 105°, mentre per la postazione 2 è a 75°

TIPOLOGIA di SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Task area P.L.1</i>	348	383	0.79	-
<i>Area circostante P.L.1</i>	337	396	0.75	-
<i>Abbagliamento P.L.1</i>	-	-	-	13.0
<i>Task area P.L.2</i>	344	377	0.79	-
<i>Area circostante P.L.2</i>	334	384	0.76	-
<i>Abbagliamento P.L.2</i>	-	-	-	12.5
<i>Libreria 1</i>	170	212	0.65	-
<i>Libreria 2</i>	123	230	0.36	-
<i>Superficie utile</i>	258	407	-	-

Tabella3. 4 Risultati riassuntivi illuminotecnici, configurazione con Siteco Quadrature

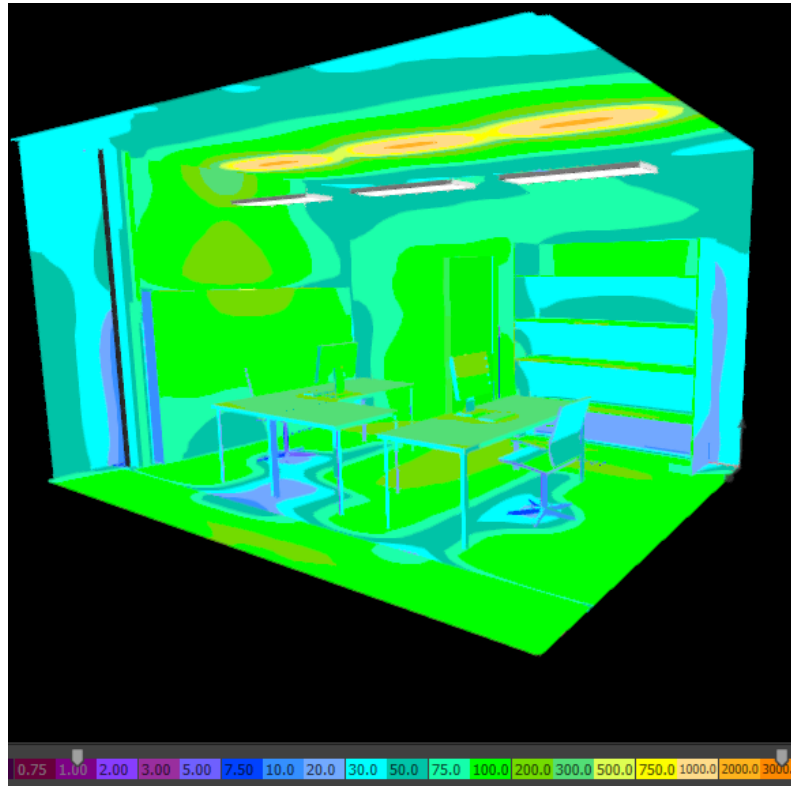


Figura3. 8 Rappresentazione a colori sfalsati dell'illuminamento nell'ufficio con la configurazione SitecoQuadrature

Per ogni superficie analizzata si riportano ora i risultati, se si esamina l'illuminamento vengono evidenziati i valori puntuali e le curve isolinee sulla superficie stessa, se l'indice UGR sono vagliati tutti i valori assunti nella superficie per ogni angolo d'osservazione.

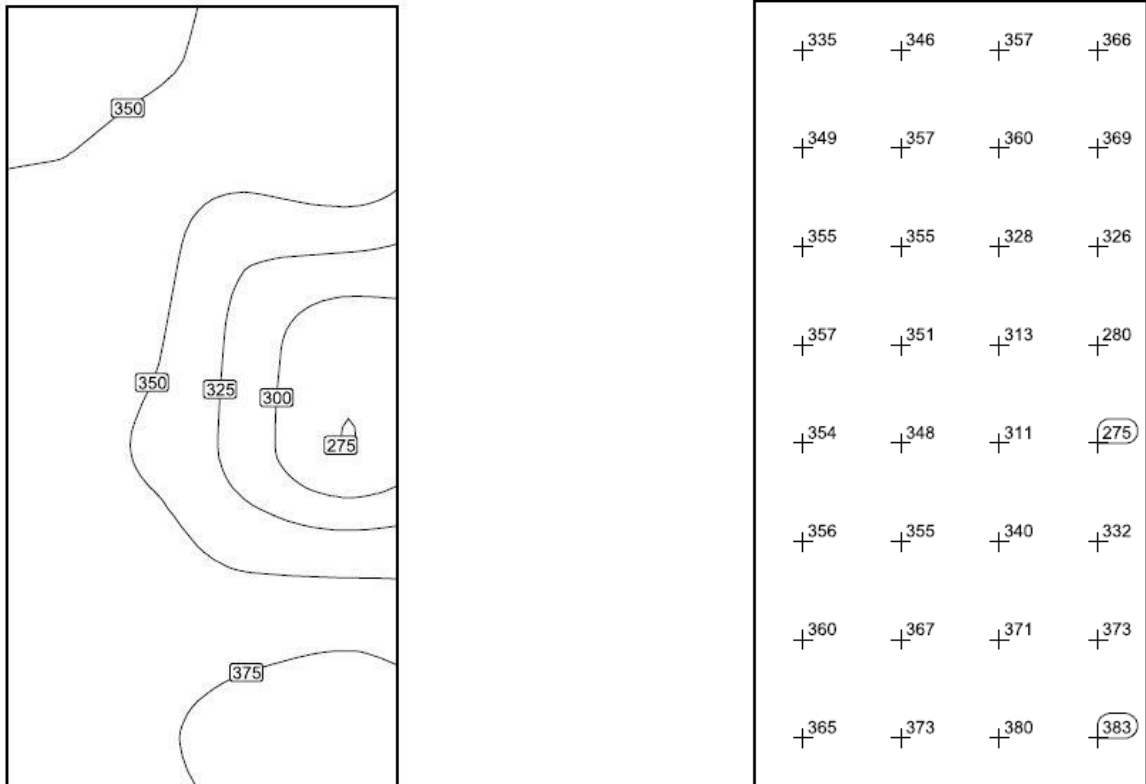


Figura3. 9 UGR, isolinee, raster di illuminamento e UGR per la PLI per ufficio con Quadrature

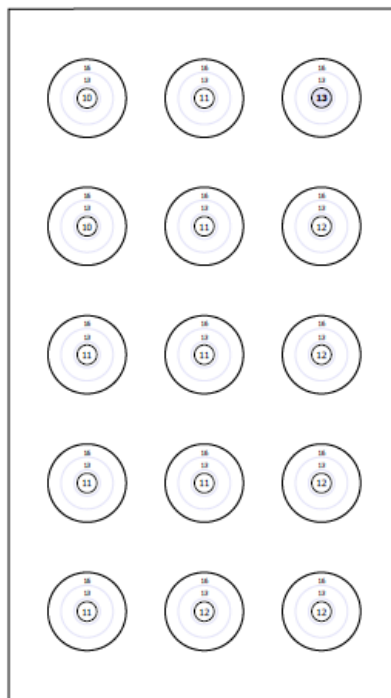
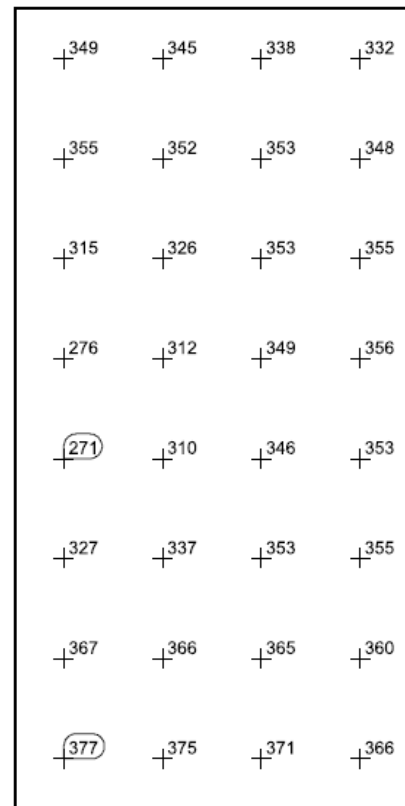
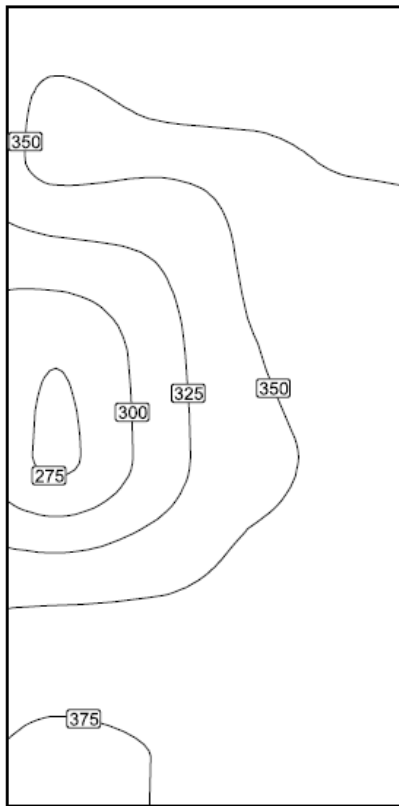


Figura3. 10 UGR, isolinee, raster di illuminamento e UGR per la PL2 per ufficio con Quadrature

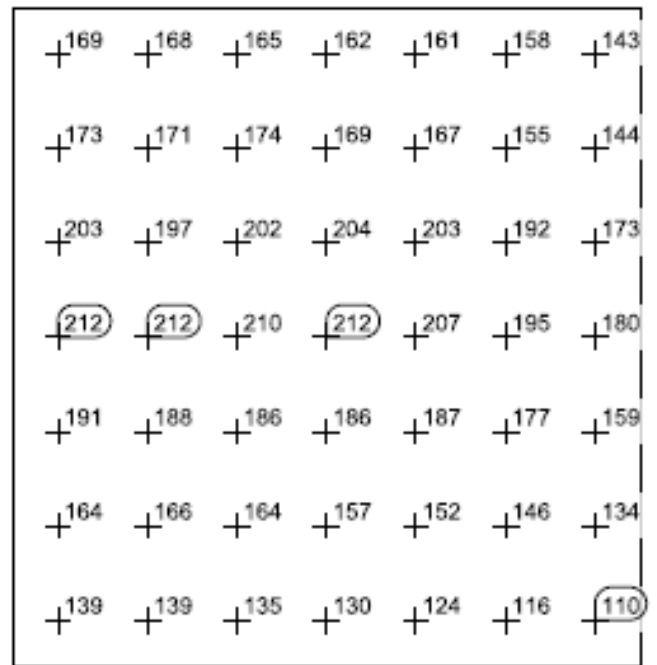
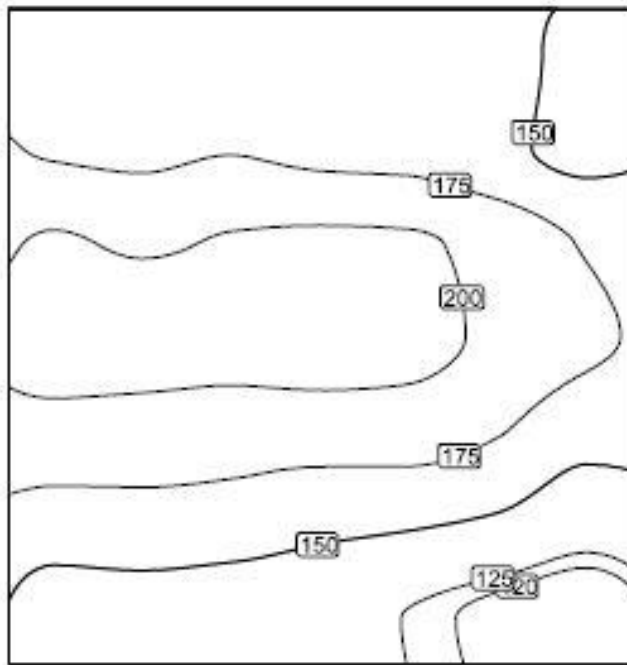


Figura3. 12 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 1 per ufficio con Quadrature

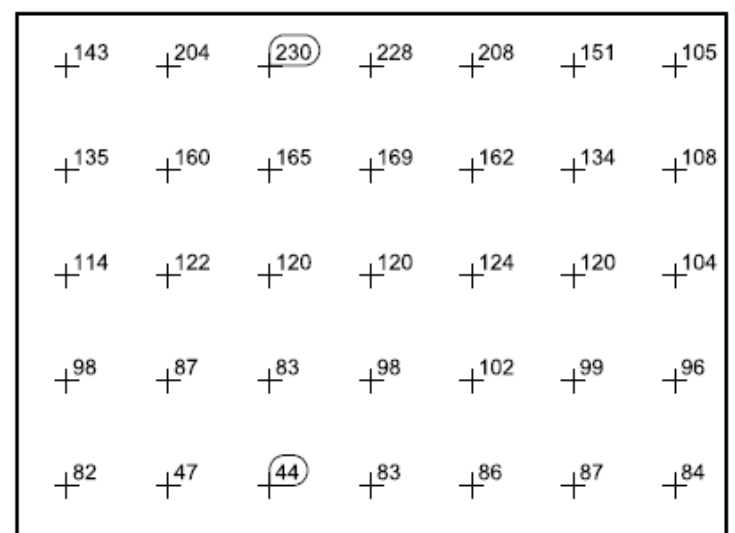
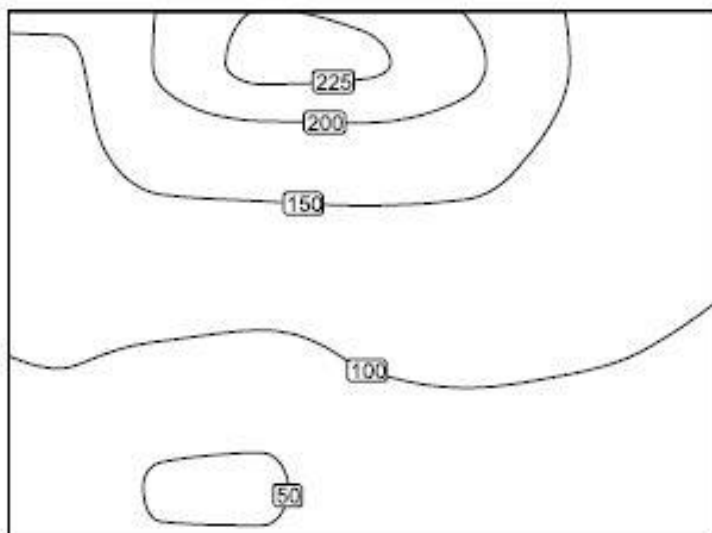


Figura3. 11 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 2 per ufficio con Quadrature

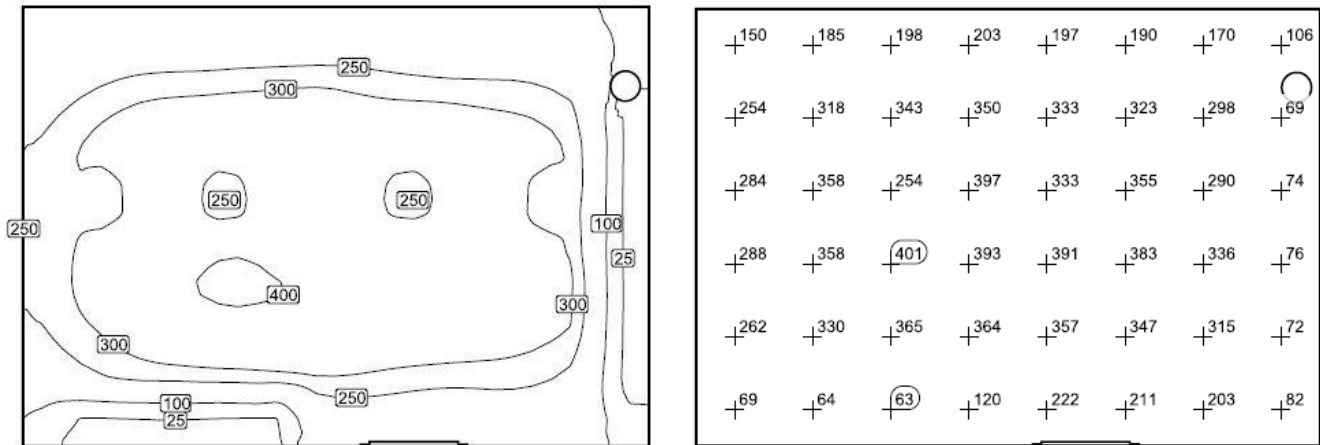


Figura3. 13 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 2 per ufficio con Quadrature

3.3.2 Verifica delle prestazioni con SmartBalance Spacewise

Per questa simulazione è stato mantenuto lo stesso numero di apparecchi installati del caso precedente, sono state però modificate le distanze di installazione come si può notare in figura 3.14. L'apparecchio 1 è posizionato con il baricentro a 1.5 m dalla parete ad esso adiacente mentre l'interdistanza è stata posta pari a 1.4 m con 2 e ancora la stessa per 3; la distanza dalla vetrata e l'altezza di montaggio è rimasta invariata in quanto condizionata dal sistema di alimentazione delle lampade a binario. È stata sondata la possibilità di ridurre il numero di apparecchi installati nel locale a due ma, dopo alcuni tentativi, è stato constatato che le prestazioni illuminotecniche non differivano molto da quelle evidenziate nel caso precedentemente analizzato. La soluzione alternativa con due soli apparecchi è stata pertanto scartata al fine di ricercare una configurazione che possa incrementare le performance dell'impianto d'illuminazione e non mantenere la situazione pressoché invariata.

Con questi apparecchi installati nel locale sono presenti 12300 lm di flusso luminoso e 115.5 W di potenza totale. Per la simulazione il fattore di manutenzione è stato inoltre impostato pari a 0.80 e ne è stato ricavato quanto esposto in tabella 3.6.

Si evidenzia in particolare come sulla superficie del compito visivo l'illuminamento medio sia incrementato notevolmente; il risultato è giustificabile con la prevalente componente diretta di distribuzione del flusso luminoso che caratterizza l'apparecchio. Si può constatare inoltre che la scelta di sfruttare una distribuzione luminosa diretta piuttosto ampia (100°) ha permesso di rispettare tutti i vincoli inerenti l'uniformità di illuminamento. Si riscontra anche un incremento dell'illuminamento disponibile nelle librerie per la consultazione; per quanto concerne gli indici UGR, questi sono aumentati rispetto al caso precedentemente analizzato con il massimo a 90° sia per la postazione di lavoro 1 sia per la 2 che comunque rispettano i limiti imposti dalla normativa per l'abbagliamento debilitante. La potenza installata nel locale, come ci si poteva aspettare, è diminuita notevolmente grazie all'utilizzo della tecnologia LED, a cui consegnerà anche una diminuzione del consumo annuo per il locale analizzato.

TIPOLOGIA di SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Task area P.L.1</i>	494	597	0.66	-
<i>Area circostante P.L.1</i>	471	627	0.68	-
<i>Abbagliamento P.L.1</i>	-	-	-	17.1
<i>Task area P.L.2</i>	507	605	0.66	-
<i>Area circostante P.L.2</i>	480	631	0.68	-
<i>Abbagliamento P.L.2</i>	-	-	-	16.7
<i>Libreria 1</i>	225	328	0.58	-
<i>Libreria 2</i>	180	323	0.39	-
<i>Superficie utile</i>	340	633	-	-

Tabella3. 5 Risultati riassuntivi illuminotecnici configurazione con SmartBalance Spacewise

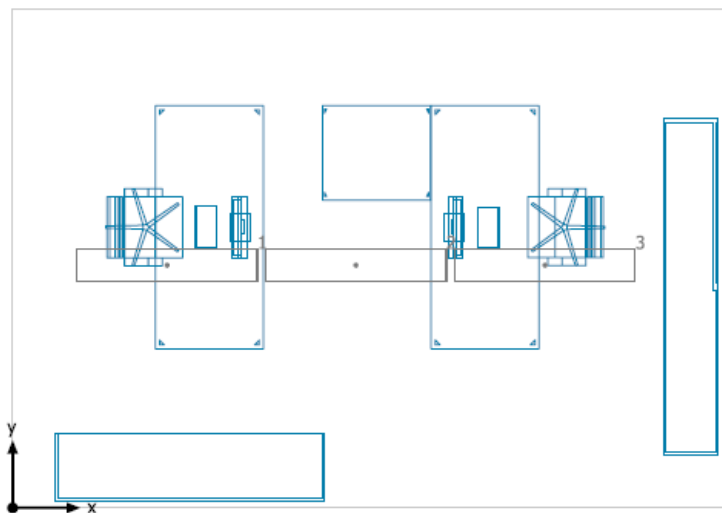


Figura3. 14 Posizionamento SmartBalance Spacewise nel locale ufficio

Si riportano in seguito i risultati dettagliati per le superfici di calcolo: curve isolinee, illuminamenti puntuali e UGR per tutte le superfici di calcolo inserite nel locale.

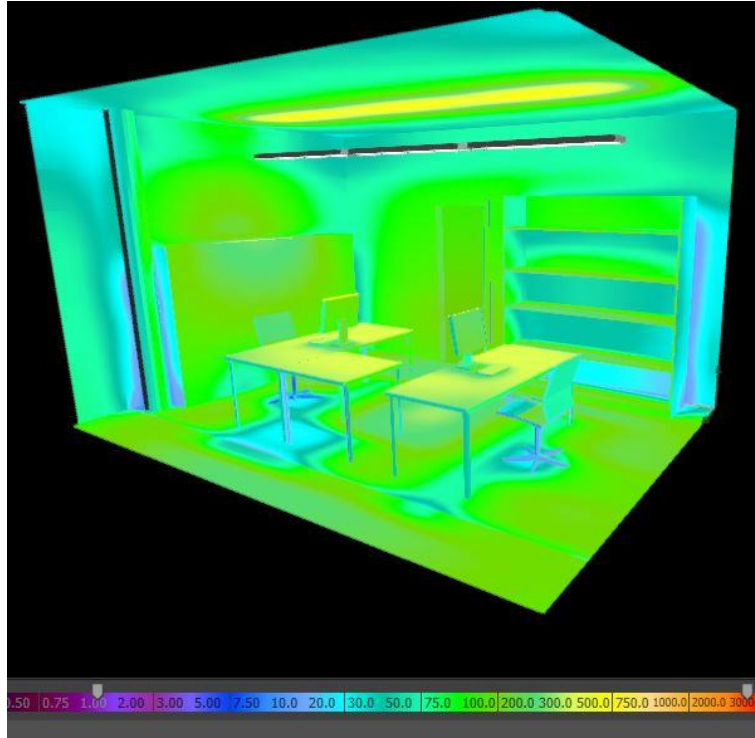


Figura3. 16 Rappresentazione a colori sfalsati dell'illuminamento nell'ufficio con la configurazione SBS

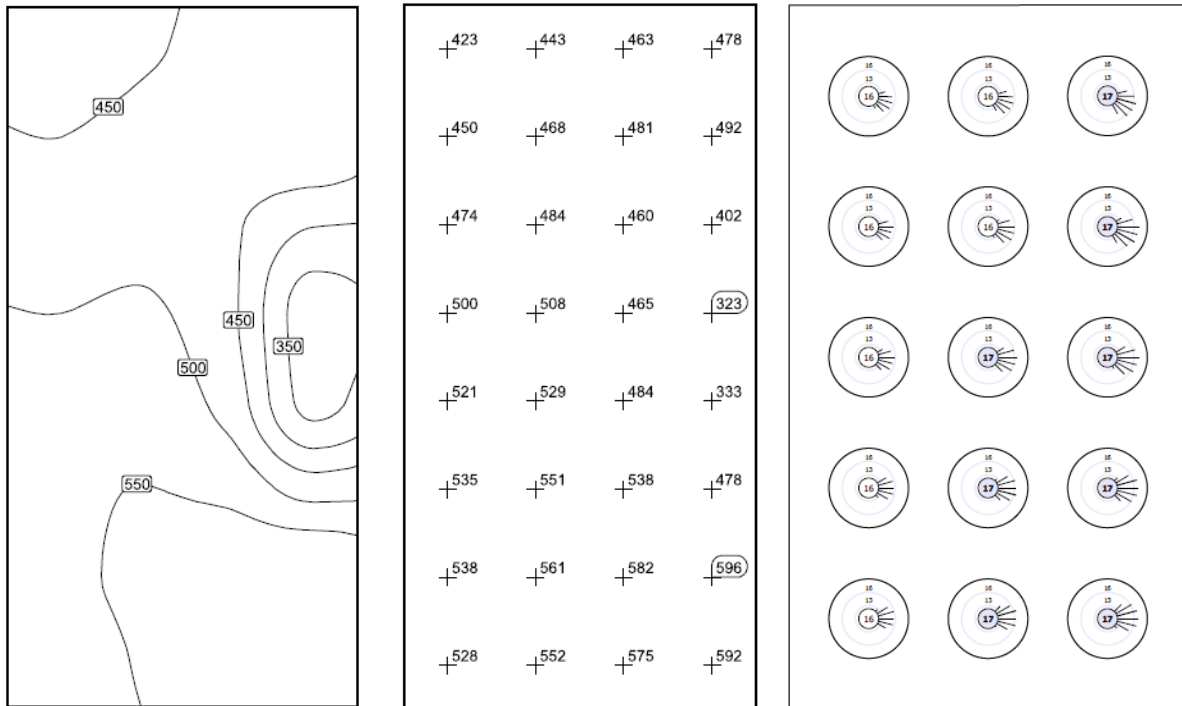


Figura3. 15 UGR,Isolinee e raster di illuminamento per PL1 per ufficio con SBS

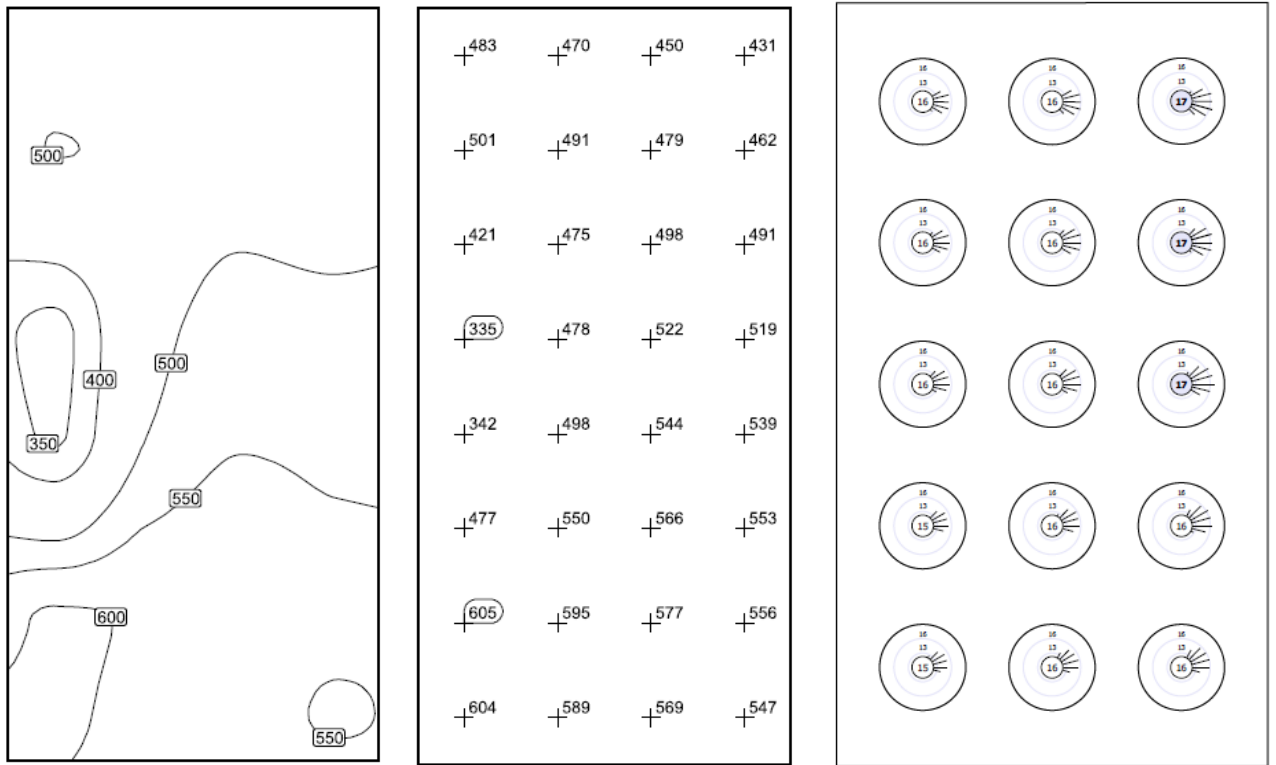


Figura3. 18 UGR,Isolinee e raster di illuminamento per PL2 per ufficio con SBS

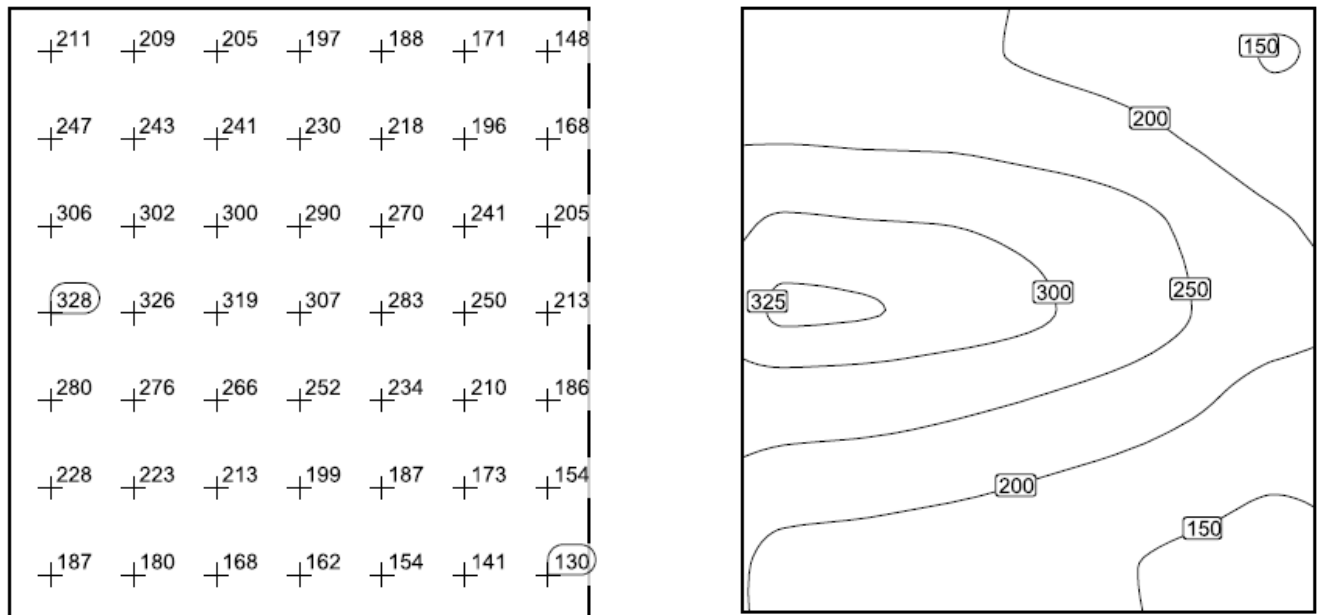


Figura3. 17 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 1 per ufficio con SBS

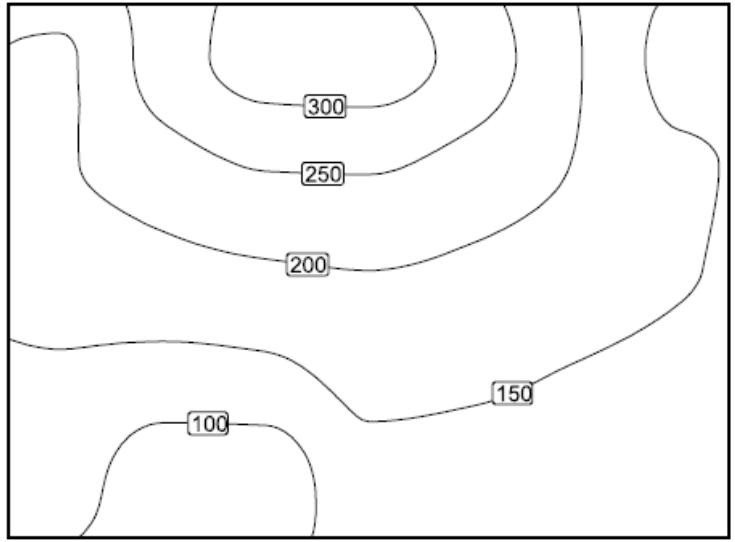
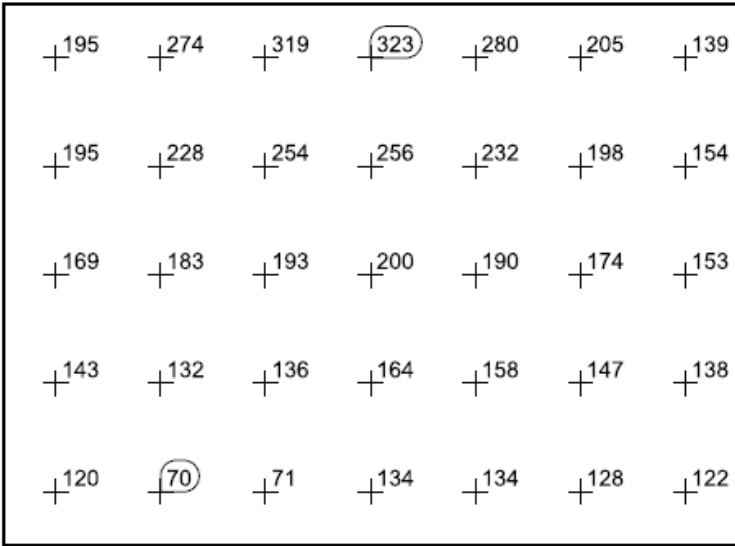


Figura3. 19 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 2 per ufficio con SBS

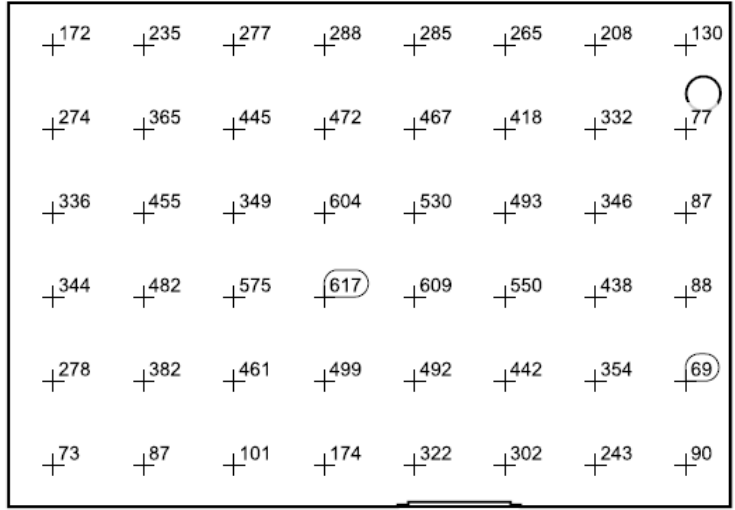
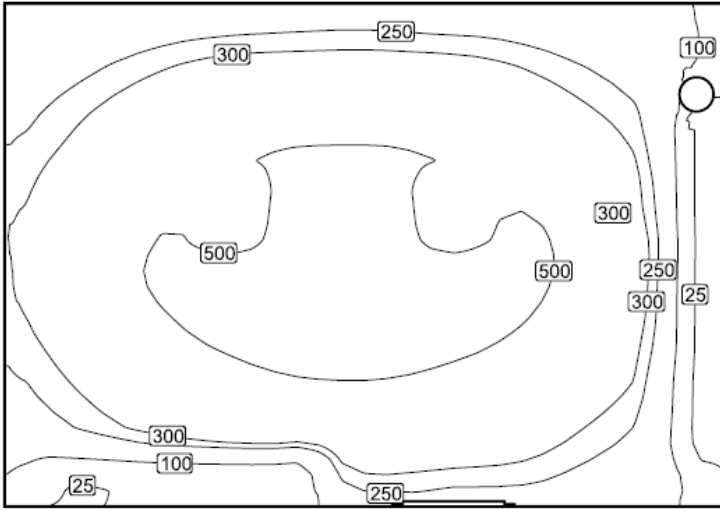


Figura3. 20 Isolinee e raster di illuminamento per la superficie utile per ufficio con SBS

3.3.3 Verifica delle prestazioni con Vega

La configurazione scelta per questa tipologia di apparecchio è riportata in figura 3.21; nel locale sono stati installati tre apparecchi, ancora una volta le distanze dalla vetrata e l'altezza di installazione sono state mantenute invariate. Per quanto concerne il posizionamento, il baricentro di 1 è stato posto a 1.15 m dalla parete ad esso adiacente e i due rimanenti con passo di 1.4 m.

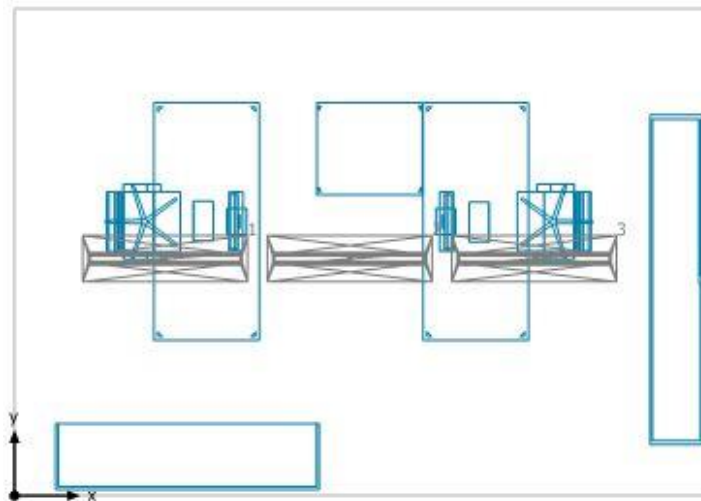


Figura3. 21 Posizionamento degli apparecchi Vega nel locale ufficio

Gli apparecchi portano nel locale un flusso luminoso di 12750 lm, 105 W di potenza installata; per la simulazione è stato considerato un fattore di manutenzione di 0.80. I risultati riassuntivi sono riportati in tabella 3.7, da questi è possibile affermare che questa sia l'unica configurazione in cui tutte le superfici di calcolo soddisfano i requisiti normativi per luoghi di lavoro: l'illuminamento medio nell'area del compito è maggiore di 500 lx, l'uniformità è maggiore di 0.6 per la task area e superiore a 0.4 per l'area circostante per entrambe le postazioni di lavoro.

L'uniformità nell'area del compito in particolare risulta essere più alta rispetto alla configurazione precedente e leggermente inferiore rispetto al caso con Quadrature; il risultato è in linea con quanto era possibile stimare osservando le curve fotometriche degli apparecchi e la loro distribuzione di flusso percentuale diretta/indiretta. La soluzione ha inoltre permesso il raggiungimento di una differenza tra l'uniformità della task area e dell'area circostante, nei due casi precedentemente analizzati i due dati risultavano molto simili tra loro.

Si può constatare che i requisiti sono soddisfatti anche per quanto riguarda l'indice UGR; gli angoli in cui si riscontra massimo livello di abbagliamento sono 105° e 75° rispettivamente per le due postazioni di lavoro 1 e 2. È possibile notare inoltre come gli indici UGR qui ottenuti assumano valori intermedi tra i due casi precedentemente analizzati. Sono stati riportati in seguito una vista con rappresentazione a colori sfalsati e i risultati per ogni superficie di calcolo utilizzata, con le curve isolinee, l'illuminamento puntuale e variazione dell'indice UGR come per i casi precedentemente analizzati.

TIPOLOGIA di SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Task area P.L.1</i>	541	666	0.75	-
<i>Area circostante P.L.1</i>	483	699	0.58	-
<i>Abbagliamento P.L.1</i>	-	-	-	15.3
<i>Task area P.L.2</i>	559	678	0.76	-
<i>Area circostante P.L.2</i>	493	705	0.58	-
<i>Abbagliamento P.L.2</i>	-	-	-	14.9
<i>Libreria 1</i>	194	260	0.57	-
<i>Libreria 2</i>	178	342	0.46	-
<i>Superficie utile</i>	324	702	-	-

Tabella3. 6 Risultati riassuntivi illuminotecnici configurazione con Vega

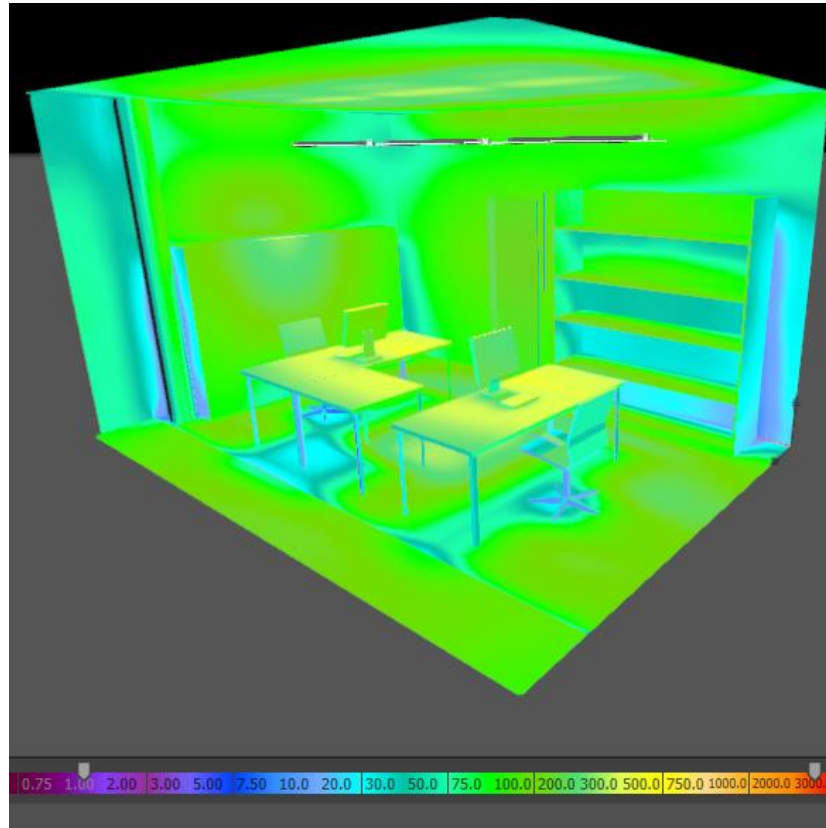


Figura3. 22 Rappresentazione a colori sfalsati dell'illuminamento nell'ufficio con la configurazione Vega

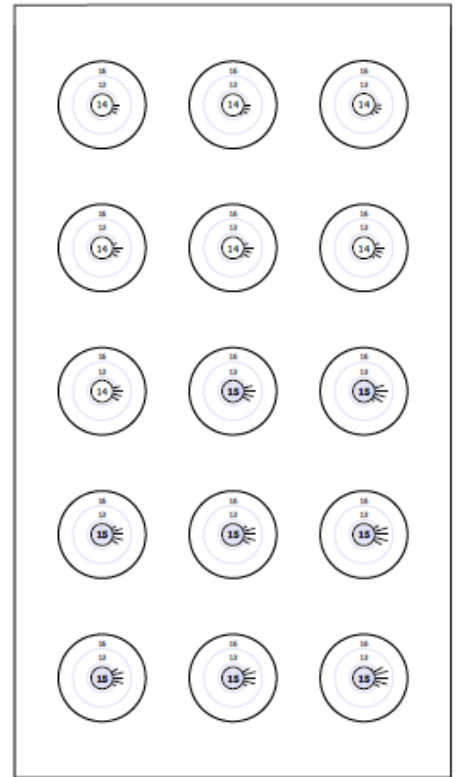
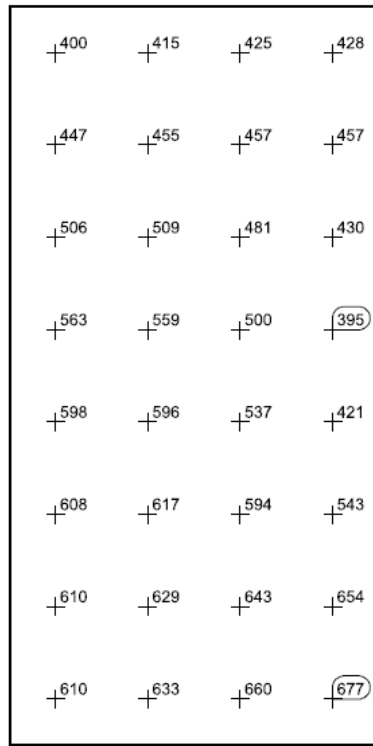
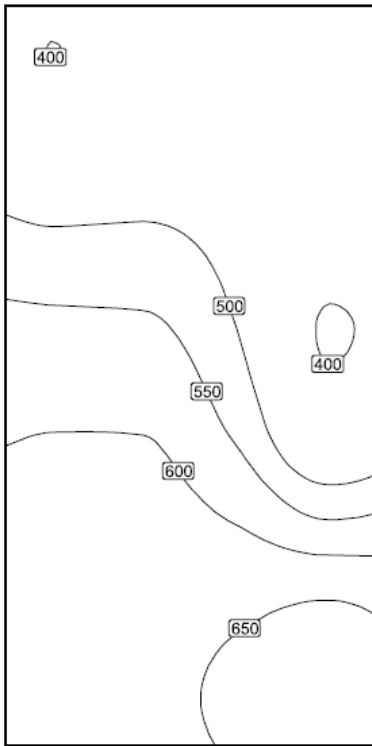


Figura3. 24 UGR,Isolinee e raster di illuminamento per PL1 per ufficio con Vega

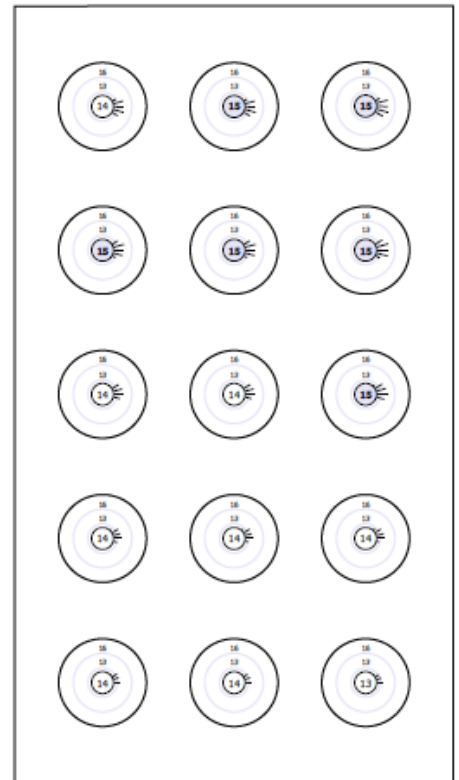
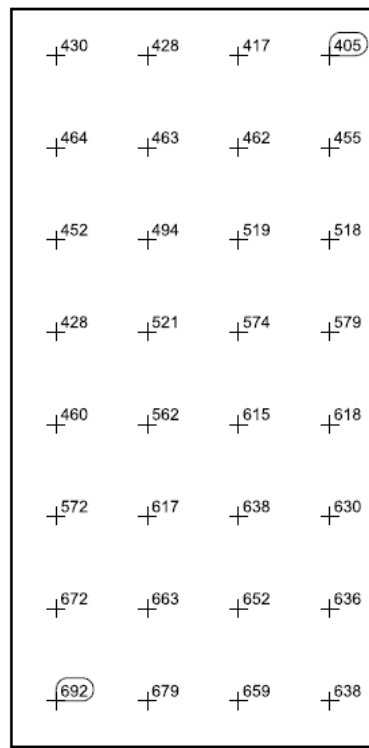
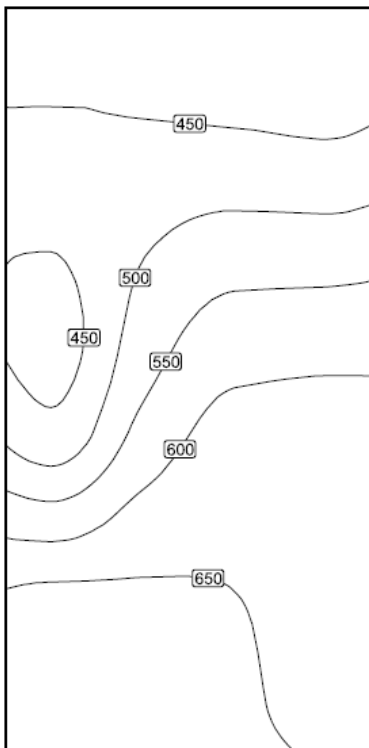


Figura3. 23 UGR,Isolinee e raster di illuminamento per PL2 per ufficio con Vega

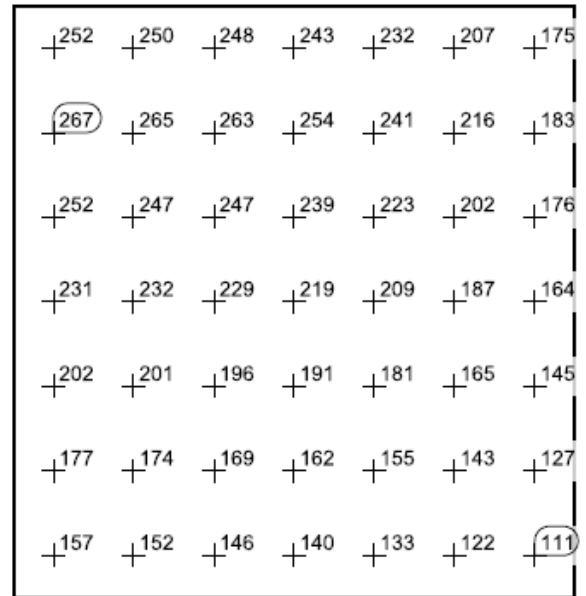
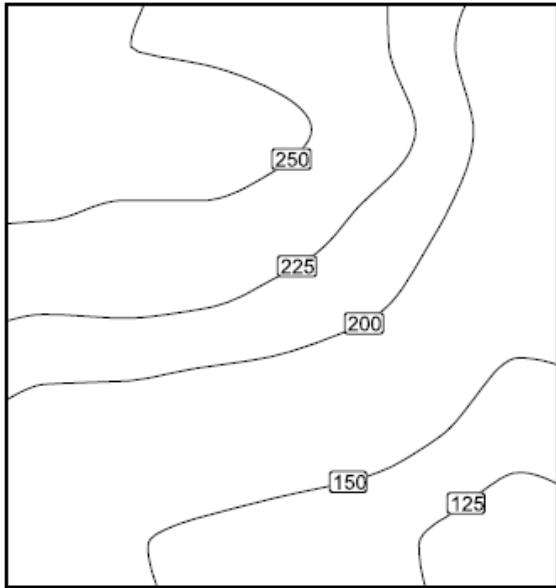


Figura3. 25 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 1 per ufficio con Vega

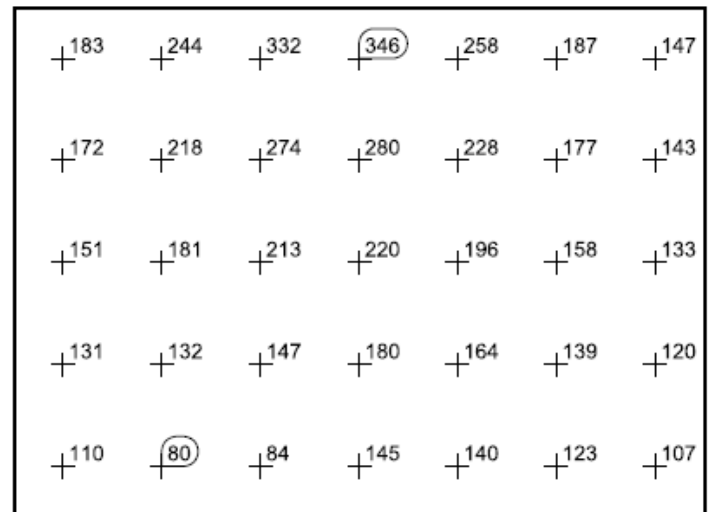
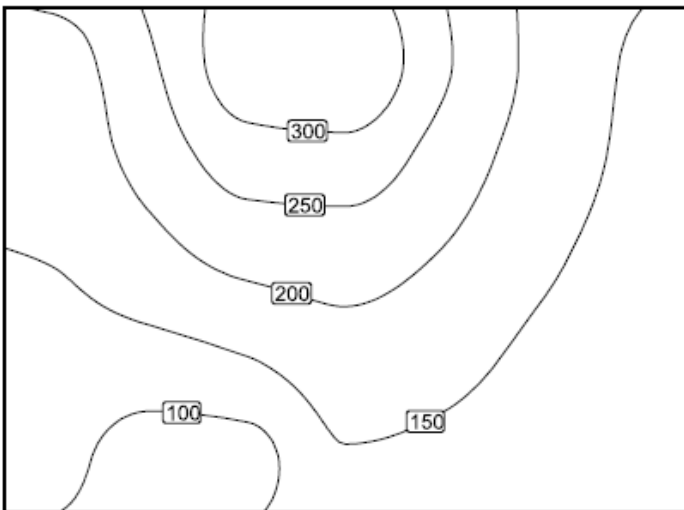


Figura3. 26 Isolinee e raster di illuminamento per libreria 2 per ufficio con Vega

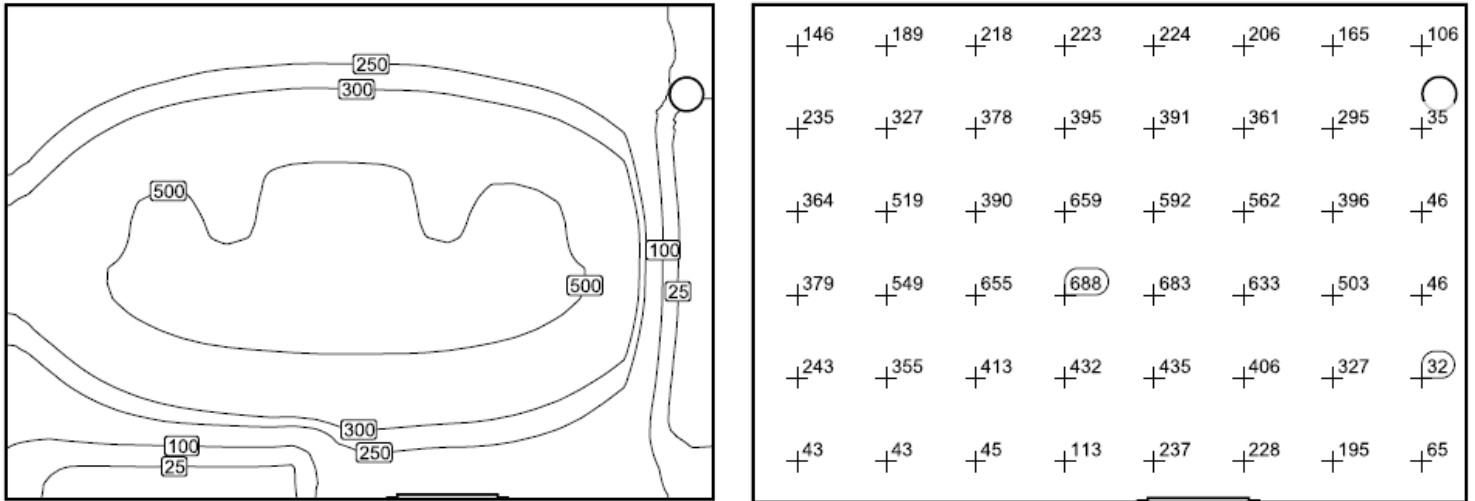


Figura3. 27 Isolinee e raster di illuminamento per la superficie utile per ufficio con Vega

È possibile affermare in conclusione come entrambe le soluzioni proposte rappresentino un miglioramento dal punto di vista delle prestazioni sia illuminotecniche che energetiche rispetto a quanto attualmente installato. È possibile però constatare che la soluzione con Vega rispetta tutti i parametri normativi garantendo gli illuminamenti medi, uniformità e UGR necessari allo svolgimento del compito visivo e rappresenta inoltre la configurazione che porta il minor consumo energetico con 105 W.

3.4 Illuminazione del locale open-space

3.4.1 Verifica delle prestazioni con Siteco Quadrature

Nel locale open-space sono disposti un totale di 58 apparecchi, come per l'ufficio anch'essi sono posizionati su righe di binari parallele alle vetrate a 30 cm dal soffitto che consentono il collegamento all'impianto elettrico. Sono disposti complessivamente su 3 file di 8 apparecchi nelle aree che si affacciano sui lati nord e sud dell'edificio mentre nella zona centrale adiacente alla scala che si affaccia sulla vetrata del lato ovest vi sono 2 file composte da 5 apparecchi.

La configurazione è evidenziata in figura 3.28, la riga 1 è composta dagli apparecchi 1-2-3-4-5-6-7-8 e dista 2.2 m dalla vetrata del lato sud. La riga 2 è composta dagli apparecchi 9-10-11-12-31-

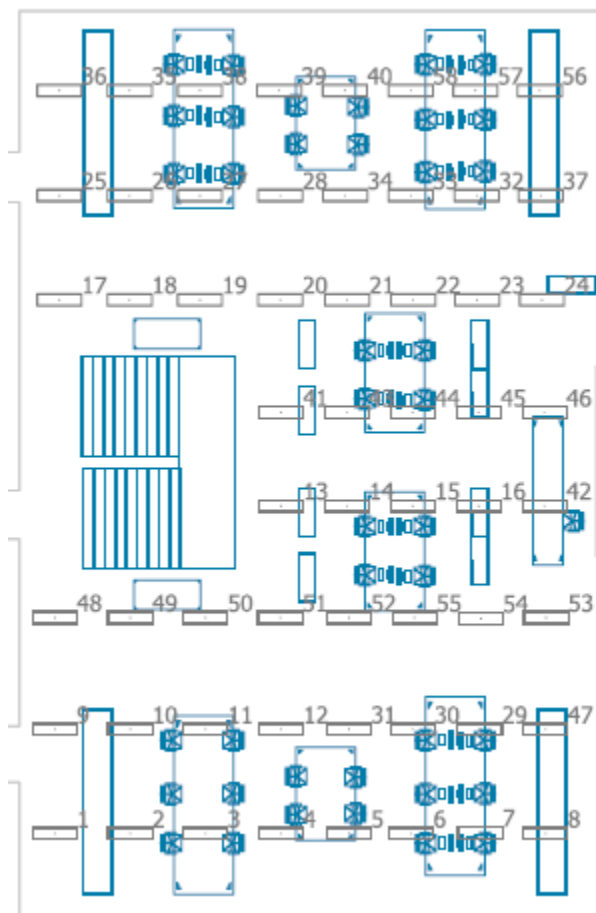


Figura 3. 28 Disposizione apparecchi Quadrature nel locale open-space

30-29-47 e dista 2.8 m dalla riga 1; la riga 3 è composta dagli apparecchi 48-49-50-51-52-55-54-53 e dista 3 metri dalla seconda.

Le due righe centrali 4 e 5 sono composte rispettivamente dagli apparecchi 13-14-15-16-42 e 41-43-44-45-46 con distanza reciproca di 2.5 m.

Per le righe 6,7,8 le distanze reciproche sono speculari rispetto a quanto esposto per le righe 1,2,3. Tra il baricentro degli apparecchi 1-9-48-17-25-36 e il muro ad essi adiacenti vi sono 0,9 m mentre tra gli ultimi apparecchi di ogni riga ed il muro del lato ovest vi sono 1.6 m.

Con questa configurazione sono installati un totale di 240642 lm di flusso luminoso e 3712 W di potenza. Ogni superficie di calcolo(SP) e ogni postazione di lavoro(PL) viene numerata per ottenere una riconoscibilità più immediata rispettivamente in figura 3.29 e 3.30.

I risultati riassuntivi per le postazioni di lavoro e i relativi abbagliamenti sono esposti in tabella 3.8, sono stati poi riportati i dettagli delle postazioni di lavoro in cui i risultati sono particolarmente di interesse.

Figura3. 29 numerazione superfici di calcolo(SC) open-space

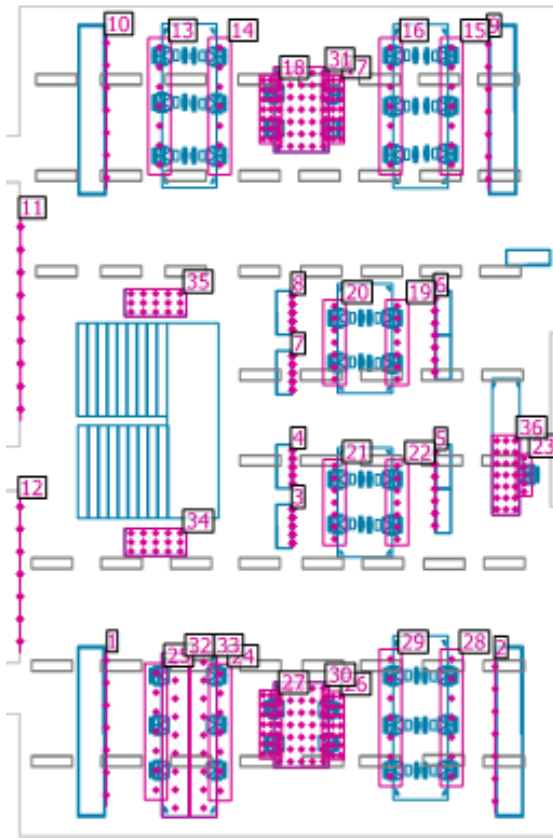
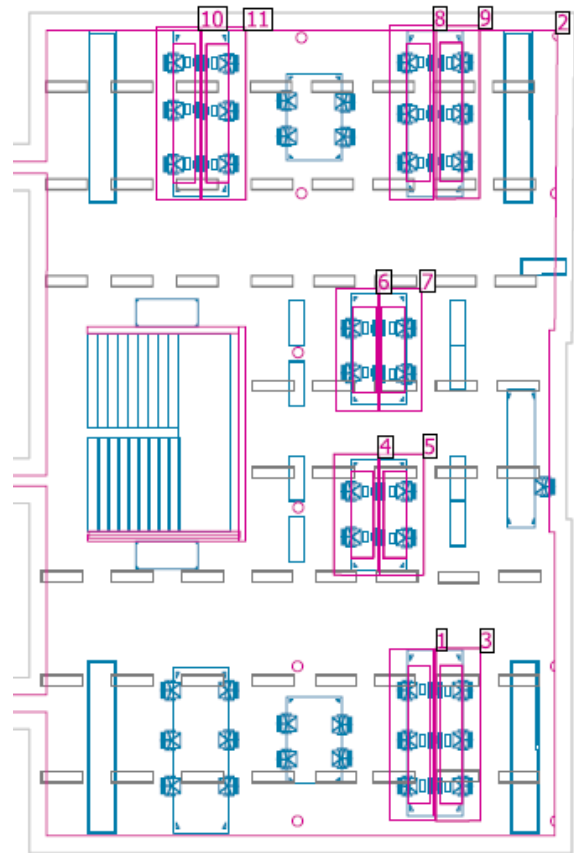


Figura3. 30 numerazione postazioni di lavoro(PL)open-space



SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Task area PL 1</i>	454	492	0.80	-
<i>Area circostante PL 1</i>	417	512	0.33	-
<i>Abbagliamento SC 29</i>	-	-	-	13.2
<i>Task area PL 3</i>	444	489	0.78	-
<i>Area circostante PL 3</i>	405	496	0.31	-
<i>Abbagliamento SC 28</i>	-	-	-	13.4
<i>Task area PL 4</i>	453	520	0.78	-
<i>Area circostante PL 4</i>	465	550	0.47	-

SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Abbagliamento SC 21</i>	-	-	-	12.4
<i>Task area PL 5</i>	466	521	0.83	-
<i>Area circostante PL 5</i>	459	556	0.36	-
<i>Abbagliamento SC 22</i>	-	-	-	12.4
<i>Task area PL 6</i>	454	518	0.72	-
<i>Area circostante PL 6</i>	491	552	0.84	-
<i>Abbagliamento SC 20</i>	-	-	-	12.6
<i>Task area PL 7</i>	450	510	0.75	-
<i>Area circostante PL 7</i>	496	547	0.83	-
<i>Abbagliamento SC 19</i>	-	-	-	13.0
<i>Task area PL 8</i>	449	504	0.71	-
<i>Area circostante PL 8</i>	394	512	0.47	-
<i>Abbagliamento SC 16</i>	-	-	-	13.3
<i>Task area PL 9</i>	433	491	0.69	-
<i>Area circostante PL 9</i>	396	508	0.43	-
<i>Abbagliamento SC 15</i>	-	-	-	12.8
<i>Task area PL 10</i>	413	459	0.77	-
<i>Area circostante PL 10</i>	364	479	0.38	-
<i>Abbagliamento SC 13</i>	-	-	-	12.8
<i>Task area PL 11</i>	390	426	0.76	-
<i>Area circostante PL 11</i>	349	458	0.48	-
<i>Abbagliamento SC 14</i>	-	-	-	12.8

Tabella3. 7 Risultati riassuntivi per le postazioni di lavoro e le relative superfici di calcolo per l'indice UGR

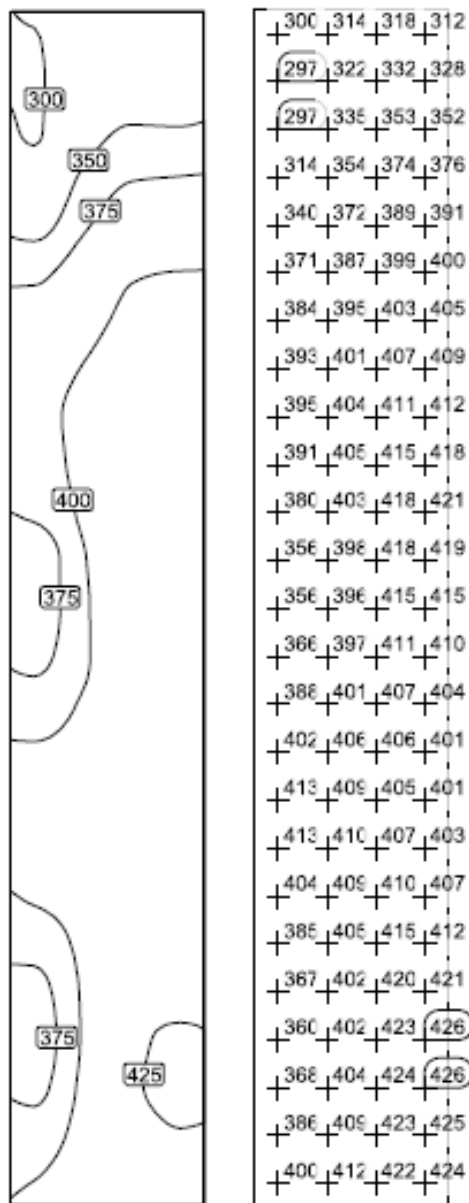
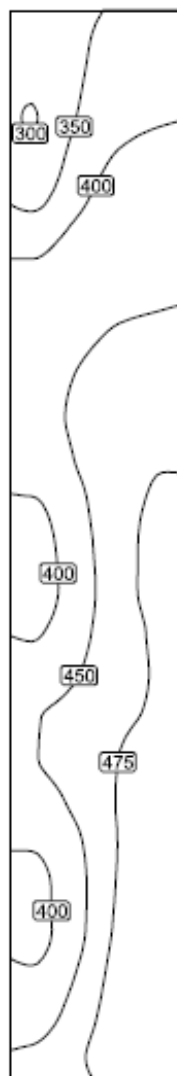


Figura3. 31 Isolinee e raster di illuminamento per PL11

In figura 3.31 si nota il dettaglio della postazione di lavoro 11, in cui è stato ottenuto l'illuminamento medio più basso di 390 lx.

Il risultato è dovuto alla presenza di due soli apparecchi illuminanti direttamente sovrastanti le scrivanie, una configurazione simile alle PL8 e PL9 in cui vi sono quattro apparecchi gioverebbe sicuramente al livello di illuminamento dell'area analizzata come riportato in figura 3.32 dalla rappresentazione delle isolinee.



Si nota in figura 3.32 come per la PL9 il livello di illuminamento sia ancora inferiore a 500 lx ma raggiunga un valore più vicino di 433 lx grazie al diverso posizionamento degli apparecchi luminosi sulle scrivanie.

Figura3. 32 Isolinee di illuminamento per PL9

Dall'analisi delle postazioni di lavoro si può affermare che per nessuna PL sono raggiunti 500 lx previsti per l'area del compito visivo, gli illuminamenti medi oscillano tra un minimo di 390 lx per la PL11 e 496 lx per la PL7; l'uniformità di illuminamento nella task area risulta invece essere sempre soddisfatta, il valore minimo riscontrato è di 0.69 per la PL9, quelle più alte sono nelle PL7 e PL5 pari rispettivamente a 0.75 e 0.83.

Per quanto concerne le aree circostanti i valori di illuminamento medio sono sempre maggiori di 300 lx mentre l'uniformità minima di 0.4 non è raggiunta in quattro casi: PL1, PL3, PL5, PL10. Gli indici UGR sono ampiamente al di sotto del valore limite di 19 per tutte le postazioni di lavoro, il massimo è pari a 13.4 per la PL3, si ricorda che l'apparecchio illumina prevalentemente per componente diffusa e un simile risultato conferma pertanto le aspettative iniziali.

Si procede ora con l'analisi delle superfici di calcolo rimanenti rappresentanti postazioni dove gli utenti non sostano per la maggior parte dell'orario lavorativo, ma dove comunque il compito visivo deve potersi svolgere al meglio per attività come scrittura, rapida lettura di documenti, ispezione di volumi archiviati o lettura di tavole CAD.

SUPERFICIE DI CALCOLO VERTICALE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0
<i>SC1</i>	154	172	0.83
<i>SC2</i>	160	182	0.69
<i>SC3</i>	192	213	0.93
<i>SC4</i>	204	235	0.84
<i>SC5</i>	185	211	0.90
<i>SC6</i>	185	205	0.90
<i>SC7</i>	206	246	0.84
<i>SC8</i>	191	219	0.92
<i>SC9</i>	168	196	0.77
<i>SC10</i>	159	179	0.75
<i>SC11</i>	118	240	0.27
<i>SC12</i>	166	250	0.39

Tabella3. 8 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo verticali nel locale open-space con Quadrature

Le superfici in tabella 3.9 evidenziano l'illuminamento su scaffali o librerie del locale dove è necessaria prevalentemente consultazione e dunque una sosta breve, l'azienda ha ritenuto validi dei valori di illuminamento medio compresi tra 150-200 lx con un'uniformità maggiore di 0.6.

Si nota che nella zona archivio adiacente alla scala per quanto concerne la SC12 i valori possono essere ritenuti accettabili mentre per la SC11, i livelli di illuminamento sono inferiori a 150 lx e distribuiti con un'uniformità molto bassa di 0.27.

Per quanto concerne le superfici di calcolo orizzontali i risultati sono riportati in tabella 3.10.

SUPERFICIE DI CALCOLO ORIZZONTALI	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
SC30	485	514	0.93	
Abbagliamento SC26	-	-	-	14.3
Abbagliamento SC27	-	-	-	14.6
SC31	484	519	0.94	
Abbagliamento SC17	-	-	-	13.7
Abbagliamento SC18	-	-	-	14.4
SC32	402	460	0.60	-
Abbagliamento SC25	-	-	-	12.6
SC33	408	458	0.61	-
Abbagliamento SC24	-	-	-	12.7
SC34	408	429	0.93	-
SC35	382	428	0.86	
SC36	411	493	0.83	
Abbagliamento SC23	-	-	-	12.5
SUPERFICIE UTILE	335	611	-	-

Tabella 3. 9 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo orizzontali nel locale open-space con Quadrature

Dalla tabella 3.10 si nota che l'illuminamento, come per le postazioni di lavoro sia sempre inferiore ai 500 lx mentre l'uniformità sia conforme con i valori della normativa.

Nelle postazioni di ispezione CAD, denominate con SC30 e SC31, i livelli di illuminamento sono al di sotto dei 500 lx ma l'uniformità raggiunge valori particolarmente elevati arrivando addirittura a 0.94. I requisiti per queste due postazioni sono sicuramente migliorabili sia per quanto concerne l'illuminamento, ritenuto troppo basso, sia per l'uniformità, che addirittura si avvicina al valore unitario, si riporta il dettaglio delle isolinee per le due superfici in figura 3.34.

Le soluzioni successive proposte cercheranno di migliorare soprattutto questa carenza dell'impianto attuale modificando in particolare il passo tra gli apparecchi.

L'illuminamento medio nel locale è infine evidenziato dalla superficie utile, con 335 lx.

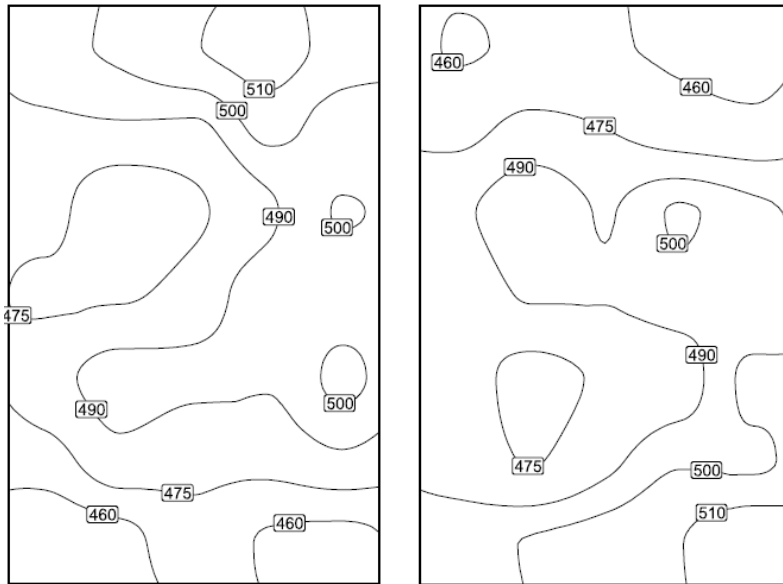


Figura3. 34 Isolinee SC30-SC31 relative alle postazioni lettura CAD con Quadrature

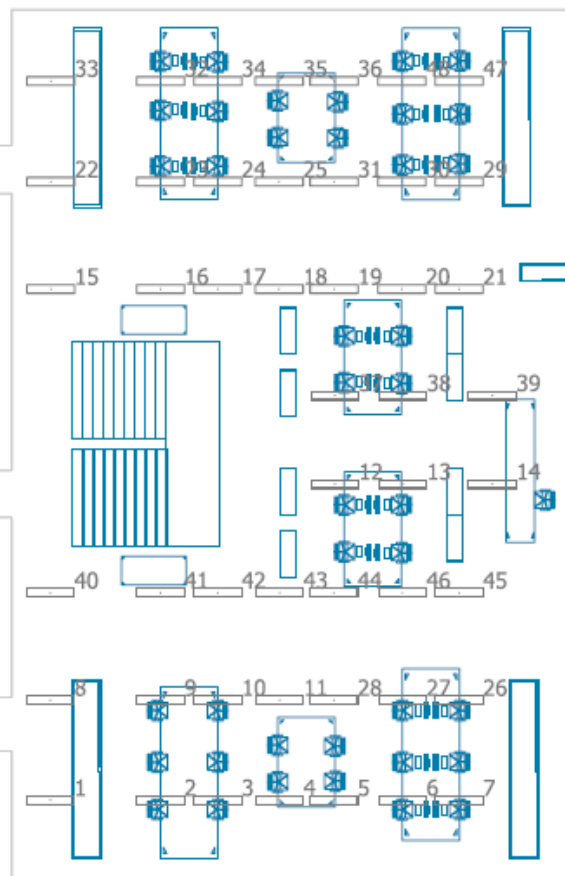


Figura3. 33 Configurazione apparecchi SBS nel locale open-space

3.4.2 Verifica delle prestazioni con SmartBalance Spacewise

Con la configurazione scelta nel locale sono disposti 48 apparecchi, il posizionamento è stato modificato solo per quanto concerne le interdistanze per permettere l'utilizzo delle rotaie che collegano gli apparecchi all'impianto elettrico. Sono disposti pertanto su 3 file di 7 apparecchi nelle aree che si affacciano sui lati nord e sud dell'edificio mentre nella zona centrale adiacente alla scala che si affaccia sulla vetrata del lato ovest vi sono 2 file composte da 3 apparecchi. La configurazione è evidenziata in figura 3.33, le distanze tra le righe sono le stesse utilizzate nel caso precedente: la riga 1 è composta dagli apparecchi 1-2-3-4-5-6-7. La riga 2 è composta dagli apparecchi 8-9-10-11-28-27-26, la riga 3 è composta da 40-41-42-43-44-46-45. Le due righe centrali 4 e 5 sono composte rispettivamente dagli apparecchi 12-13-14 e 37-38-39. Per le righe 6,7,8 le distanze sono speculari rispetto a quanto esposto per le righe 1,2,3. Tra il baricentro degli apparecchi 1-8-40-15-22-33 e il muro ad essi adiacenti vi sono 1.2 m; tra gli ultimi apparecchi delle righe

1,2,3,6,7,8 ed il muro del lato ovest vi sono 3 m mentre per le righe centrali l'ultimo apparecchio dista 2 m dal muro. Le interdistanze tra gli apparecchi sono le stesse per le aree che si affacciano sul lato sud e nord dell'edificio e pertanto, così come per la zona centrale, sono evidenziate in tabella 3.11 solo per la riga 1 e 4.

Apparecchi	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	12-13	13-14
Passo	3.0	1.5	2	1.5	2	1.5	2	2.4

Tabella3. 10 Interdistanze tra gli apparecchi nella configurazione SBS

Sfruttando la configurazione descritta è stato ridotto il numero totale di apparecchi installati con l'obiettivo di verificare la scelta progettuale di sfruttare una distribuzione luminosa ampia e prevalentemente diretta in uno spazio voluminoso come un open-space.

Sono stati installati un totale di 196752 lm di flusso luminoso e 1848 W di potenza; ogni superficie di calcolo(SP) e ogni postazione di lavoro(PL) è numerata come precedentemente evidenziato nelle figure 3.29 e 3.30. I risultati per le postazioni di lavoro e i relativi abbagliamenti sono esposti in tabella 3.12.

SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
<i>Task area PL 1</i>	578	649	0.77	-
<i>Area circostante PL 1</i>	506	650	0.35	-
<i>Abbagliamento SC 29</i>	-	-	-	18.7
<i>Task area PL 3</i>	518	581	0.78	-
<i>Area circostante PL 3</i>	415	540	0.40	-
<i>Abbagliamento SC 28</i>	-	-	-	18.6
<i>Task area PL 4</i>	498	578	0.78	-
<i>Area circostante PL 4</i>	506	667	0.35	-
<i>Abbagliamento SC 21</i>	-	-	-	18.8
<i>Task area PL 5</i>	500	586	0.78	-
<i>Area circostante PL 5</i>	508	646	0.34	-
<i>Abbagliamento SC 22</i>	-	-	-	18.6
<i>Task area PL 6</i>	486	584	0.68	-
<i>Area circostante PL6</i>	538	643	0.83	-
<i>SC20</i>	-	-	-	18.6

SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U₀	UGR_{L,MAX}
<i>Task area PL 7</i>	483	583	0.68	-
<i>Area circostante PL 7</i>	534	632	0.85	-
<i>Abbagliamento SC 19</i>	-	-	-	18.7
<i>Task area PL 8</i>	569	666	0.71	-
<i>Area circostante PL 8</i>	497	669	0.40	-
<i>Abbagliamento SC 16</i>				19
<i>Task area PL 9</i>	491	582	0.67	
<i>Area circostante PL 9</i>	407	582	0.45	-
<i>Abbagliamento SC 15</i>	-	-	-	18.7
<i>Task area PL 10</i>	525	602	0.71	-
<i>Area circostante PL 10</i>	426	598	0.41	
<i>Abbagliamento SC 13</i>	-	-	-	18.8
<i>Task area PL 11</i>	582	685	0.69	-
<i>Area circostante PL 11</i>	522	684	0.35	-
<i>Abbagliamento SC 14</i>				18.1

Tabella3. 11 Risultati riassuntivi per le postazioni di lavoro e le relative superfici di calcolo per l'indice UGR

Rispetto al caso precedente l'illuminamento medio sull'area del compito visivo è aumentata ma non per tutte le postazioni di lavoro ha raggiunto i 500 lx, in quattro casi è risultata inferiore anche se di poco: PL4, PL6, PL7, PL9; l'illuminamento minimo è stato ottenuto per la PL7 con 483 lx. Osservando l'uniformità di illuminamento delle task area si può notare come questa sia diminuita, se confrontata con la configurazione Quadrature, ma che sia comunque sempre al di sopra di 0.6. Per quanto concerne le aree circostanti si nota come l'illuminamento medio sia sempre al di sopra di 300 lx e come per le PL4, PL5, PL6, PL7, ovvero per tutte le postazioni di lavoro nella zona centrale del locale, sia superiore al relativo valore nell'area del compito visivo. In riferimento all'uniformità dell'area circostante si nota come sia peggiorata rispetto alla configurazione precedente e in quattro postazioni non arrivi a 0.4: PL1, PL4, PL5, PL11. Tutti gli indici UGR rispettano i limiti imposti dalla normativa ma oscillano tra 18 e 19 con il valore massimo assunto nella SC16 pari proprio al valore limite; il risultato è dovuto prevalentemente alla riduzione della componente indiretta nella distribuzione luminosa dell'apparecchio.

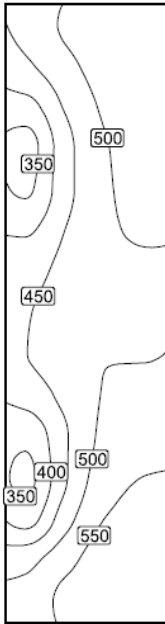


Figura3. 35 Isolinee di illuminamento per la PL7 con SBS

Dal dettaglio della PL7 in figura 3.35 si nota la distribuzione delle isolinee di illuminamento, prevalentemente verso la zona circostante e non verso l'area del compito visivo, il fenomeno avviene anche per le altre postazioni di lavoro presenti nella zona centrale del locale open-space ed è accentuato, rispetto alla configurazione Quadrature, dall'ottica diretta e ampia dell'apparecchio. Una soluzione per limitare il fenomeno potrebbe essere lo spostamento dei binari esterni alla zona centrale posizionando gli apparecchi maggiormente a ridosso dell'area del compito, limitando così l'illuminamento nell'area circostante e contestualmente aumentando quello incidente la zona del compito; questa modifica impiantistica certamente comporterebbe un costo aggiuntivo per l'azienda. Una soluzione alternativa che non necessiti lo spostamento delle rotaie è rappresentata dalla scelta di apparecchi con un'ottica diretta del tipo "batwing", maggiormente simile a Quadrature.

Si procede alla verifica delle superfici di calcolo verticali e orizzontali posizionate nel locale.

SUPERFICIE DI CALCOLO VERTICALE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0
SC1	191	215	0.76
SC2	192	246	0.72
SC3	210	246	0.92
SC4	222	259	0.90
SC5	213	252	0.90
SC6	216	252	0.90
SC7	225	262	0.86
SC8	214	248	0.92
SC9	207	232	0.78
SC10	191	214	0.80
SC11	122	286	0.23
SC12	172	272	0.34

Tabella3. 12 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo verticali nel locale open-space con SBS

In tabella 3.13 sono esposti i risultati per le superfici verticali inserite nei locali: gli illuminamenti medi delle librerie sono aumentati rispetto alla configurazione precedente con il massimo per SC7

a 225 lx, l'uniformità è stata mantenuta a livelli soddisfacenti, sempre superiore a 0.6. Anche per questa configurazione nella zona archivio adiacente alla scala, la SC11 raggiunge un livello di illuminamento insufficiente e un'uniformità inferiore anche alla configurazione precedente.

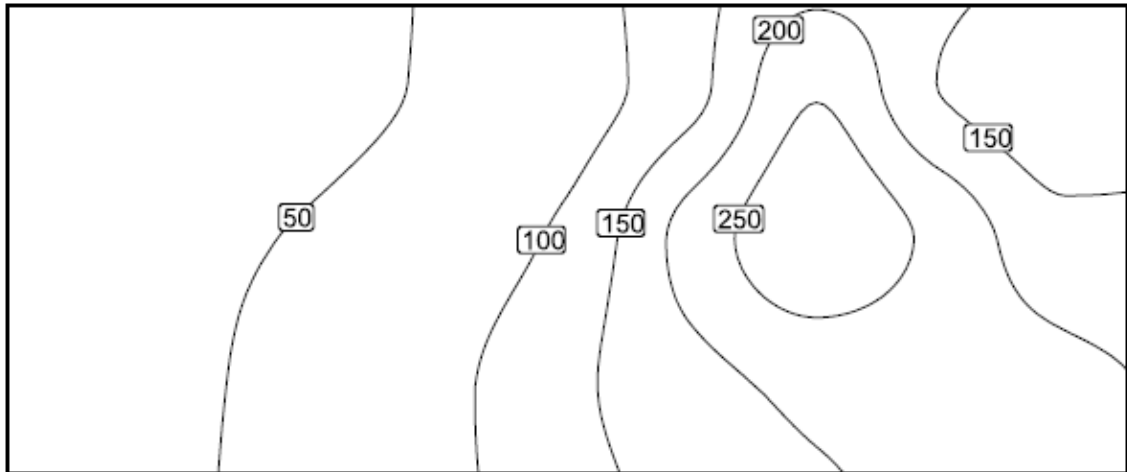


Figura3. 36 Isolinee di illuminamento pe rSC11 con SBS

In figura 3.36 si nota in dettaglio come l'illuminamento cali vistosamente avvicinandosi alla scala, la soluzione proposta precedentemente inerente lo spostamento del binario corrispondente alla riga di apparecchi 5 più a ridosso del centro del locale potrebbe permettere la risoluzione del problema. Un'alternativa maggiormente praticabile potrebbe essere l'installazione di apparecchi aggiuntivi adatti all'illuminazione di corridoi nelle vicinanze delle scale adibiti alla compensazione di quanto manca al raggiungimento dei 200 lx medi minimi necessari.

Si procede ora alla visualizzazione dei risultati per le superfici orizzontali:

SUPERFICIE DI CALCOLO ORIZZONTALI	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
SC30	657	681	0.95	-
Abbagliamento SC26	-	-	-	18.5
Abbagliamento SC27	-	-	-	18.3
SC31	654	656	0.94	-
Abbagliamento SC17	-	-	-	18.3
Abbagliamento SC18	-	-	-	18.2
SC32	544	629	0.60	-

<i>Abbagliamento SC25</i>	-	-	-	18.4
<i>SC33</i>	587	676	0.60	-
<i>Abbagliamento SC24</i>	-	-	-	18.0
<i>SC34</i>	463	594	0.73	-
<i>SC35</i>	416	548	0.70	-
<i>SC36</i>	311	412	0.62	-
<i>Abbagliamento SC23</i>	-	-	-	18.1
<i>SUPERFICIE UTILE</i>	379	705	-	-

Tabella3. 13 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo orizzontali nel locale open-space con SBS

Come è possibile evincere dalla tabella 3.14 gli illuminamenti sono aumentati rispetto alla configurazione Quadrature; solo per le superfici SC34, SC35, SC36 sono inferiori a 500 lx, ma poiché queste superfici rappresentano zone prevalentemente di consultazione i valori sono reputati adeguati. L'uniformità di illuminamento è conforme con i valori della normativa per tutte le superfici; nelle postazioni di ispezione CAD, denominate con SC30 e SC31, i livelli di illuminamento hanno raggiunto i 650 lx con uniformità molto simili alla configurazione analizzata precedentemente, ancora reputate però troppo elevate. Gli indici UGR come per le postazioni di lavoro oscillano tra 18 e 19 rispettando pertanto i limiti della normativa. L'illuminamento medio nel locale messo in evidenza dalla superficie utile ha subito un incremento a 379 lx.

In figura 3.37 si nota il dettaglio di SC36, la superficie con illuminamento medio minore pari a 311 lx, ciò è dovuto alla rimozione degli apparecchi presenti nella configurazione precedente, l'area è adibita prevalentemente ad archivio anche se viene utilizzata più spesso rispetto alle altre. La soluzione per non inserire altri apparecchi e conseguire un buon livello di illuminamento potrebbe qui essere rappresentata dal semplice spostamento della scrivania stessa in modo da essere raggiunta più agevolmente dal flusso luminoso degli apparecchi.

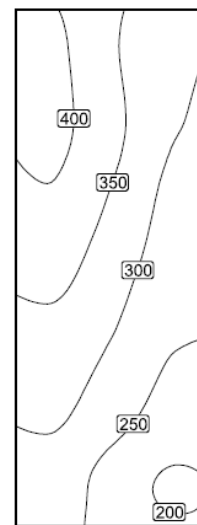


Figura3. 37 Isolinee di illuminamento SC36 con SBS

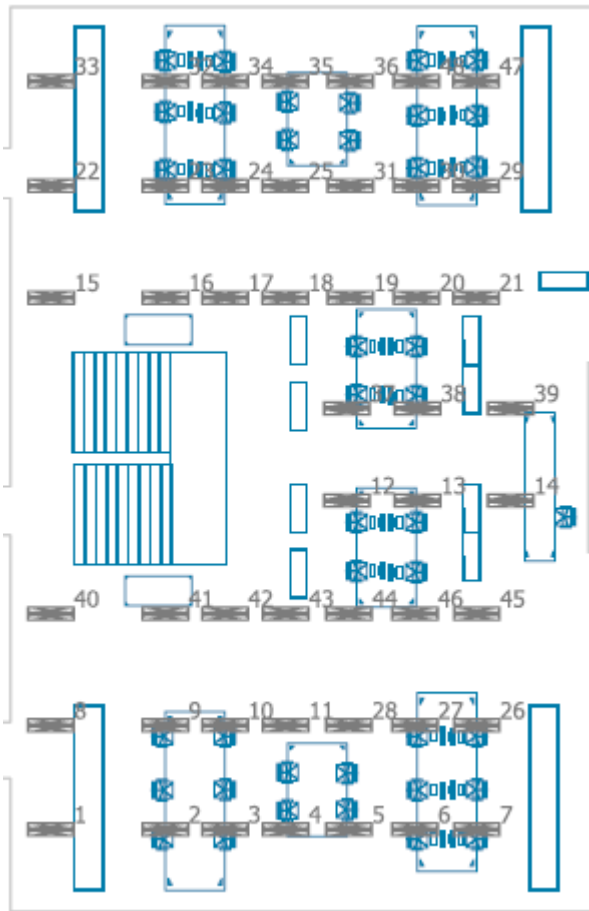


Figura3. 38 Configurazione apparecchi SBS nel locale open-space

lavoro e i relativi abbagliamenti sono esposti in tabella 3.15.

3.4.3 Verifica delle prestazioni con Vega
 Con la configurazione scelta nel locale sono disposti 48 apparecchi ancora una volta su 8 righe in cui quelle sul lato sud e nord ne hanno 7 e le centrali 3. La configurazione è evidenziata in figura.3.38, le distanze tra le righe sono le stesse utilizzate nei casi precedenti come anche l'altezza di installazione è fissata a 2.645 m. Il baricentro degli apparecchi 1-8-40-15-22-33 dista 1 m dal muro e 3 m dall'apparecchio successivo della rispettiva riga; tra gli apparecchi 7-26-45-21-29-47 ed il muro del lato ovest vi sono 3.2 m mentre 14 e 39 ne sono posizionati a 2 m. Il passo tra gli apparecchi è fissato a 1.7 m eccezion fatta per 14 e 39 i quali sono posizionati a 2.5 m dall'apparecchio precedente della rispettiva riga.

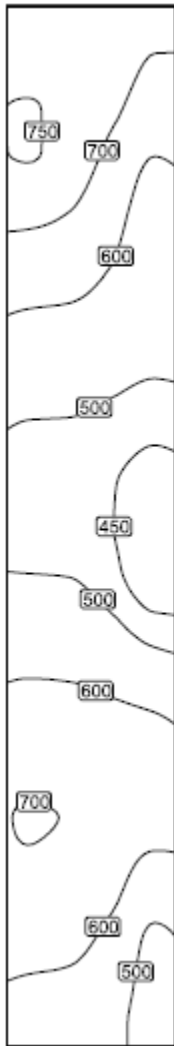
Sono stati installati un totale di 204000 lm di flusso luminoso e 1680 W di potenza; ogni superficie di calcolo(SP) e ogni postazione di lavoro(PL) è numerata come precedentemente evidenziato nelle figure 3.29 e 3.30. I risultati per le postazioni di

SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	$UGR_{L,MAX}$
Task area PL 1	591	752	0.68	-
Area circostante PL 1	520	759	0.27	-
Abbagliamento SC 29	-	-	-	16
Task area PL 3	517	654	0.66	-
Area circostante PL 3	420	613	0.35	-
Abbagliamento SC 28	-	-	-	16.3
Task area PL 4	490	694	0.72	-

<i>Area circostante PL 4</i>	545	755	0.34	
<i>Abbagliamento SC 21</i>	-	-	-	16.4
<i>Task area PL 5</i>	503	699	0.73	-
<i>Area circostante PL 5</i>	554	755	0.35	-
<i>Abbagliamento SC 22</i>	-	-	-	16.3
<i>Task area PL 6</i>	497	696	0.68	-
<i>Area circostante PL 6</i>	575	721	0.69	-
<i>Abbagliamento SC 20</i>	-	-	-	16.2
<i>Task area PL 7</i>	493	694	0.67	-
<i>Area circostante PL 7</i>	581	742	0.67	-
<i>Abbagliamento SC 19</i>	-	-	-	16.3
<i>Task area PL 8</i>	573	754	0.67	-
<i>Area circostante PL 8</i>	519	768	0.37	-
<i>Abbagliamento SC 16</i>	-	-	-	16
<i>Task area PL 9</i>	494	661	0.65	-
<i>Area circostante -PL 9</i>	416	661	0.47	-
<i>Abbagliamento SC 15</i>	-	-	-	16.3
<i>Task area PL 10</i>	527	688	0.67	-
<i>Area circostante PL 10</i>	445	702	0.38	-
<i>Abbagliamento SC 13</i>	-	-	-	15.8
<i>Task area PL 11</i>	597	779	0.66	-
<i>Area circostante PL 11</i>	536	797	0.36	-
<i>Abbagliamento SC 14</i>	-	-	-	15.7

Tabella3. 14 Risultati riassuntivi per le postazioni di lavoro e le relative superfici di calcolo per l'indice UGR con Vega

Dai risultati ottenuti è possibile notare come l'illuminamento medio sia inferiore a 500 lx per le aree di compito visivo PL4, PL6, PL7, PL9, anche se solo per massimo una decina di lux per la PL4; le uniformità sono invece superiori a 0.60 per ogni zona task area. Gli illuminamenti medi per le aree circostanti sono sempre superiori a 300 lx e, come anche per gli altri casi, nella zona centrale del locale risultano essere superiori ai valori della zona del compito visivo; l'uniformità di illuminamento risulta essere inferiore a 0.4 per PL1, PL3, PL4, PL5, PL8 ma solo per PL1 in modo evidente con 0.27. Gli indici UGR sono tutti inferiori a 19 e compresi tra un minimo di 15.7 per PL11 ed un massimo di 16.4. per PL4.



In figura 3.40 è riportato il dettaglio delle isolinee per PL1, si può notare vi sono dei picchi di 700-750 lx nell'area circostante che abbassano notevolmente l'uniformità; ciò si ripete, anche se meno marcatamente, per molte delle aree circostanti nel locale. Il fenomeno è causato dalla scelta pregressa di un apparecchio con una debole apertura della distribuzione diretta del flusso luminoso; la configurazione con Vega abbassa la media dell'uniformità di illuminamento per tutte le PL.

In figura 3.39 si nota la rappresentazione isolinee per la PL7 in cui si raggiunge il divario più ampio nella zona centrale del locale tra l'illuminamento medio nella zona del compito e nell'area circostante pari a 88 lx, ancora una volta lo spostamento dei binari potrebbe rappresentare la soluzione migliore da un punto di vista tecnico ma non economicamente. Un'alternativa potrebbe essere rappresentata dall'utilizzo di apparecchi con ottiche differenti tra le aree esterne e la zona centrale dell'open-space.

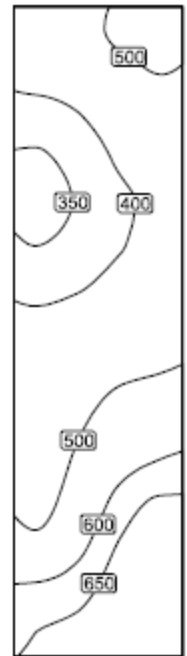


Figura3. 40 Isolinee di illuminamento per la PL1 con Vega

Figura3. 39 Isolinee di illuminamento per la PL7 con Vega

Per le superfici di calcolo verticali i risultati sono riportati in tabella 3.16

SUPERFICIE DI CALCOLO VERTICALE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0
SC1	196	235	0.70
SC2	195	246	0.66
SC3	206	240	0.88
SC4	240	285	0.83
SC5	216	274	0.82
SC6	217	276	0.83
SC7	244	287	0.84
SC8	209	237	0.88
SC9	215	261	0.72
SC10	199	234	0.73
SC11	126	306	0.25
SC12	177	268	0.37

Tabella3. 15 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo verticali nel locale open-space con Vega

I valori di illuminamento sono in un range tra 195 lx e 240 lx con un buon grado di uniformità per superfici verticali nell'area operativa del locale; come per tutti gli altri casi la SC11 sia in termini di illuminamento con 126 lx sia per l'uniformità pari a 0.25 non raggiunge valori accettabili come è possibile osservare da figura 3.41.

Poiché in nessuna delle configurazioni analizzate il problema di SC11 è stato risolto si evince che sia indispensabile l'installazione di apparecchi che migliorino il livello di illuminamento e l'uniformità portando ad un valore vicino ai 200 lx.

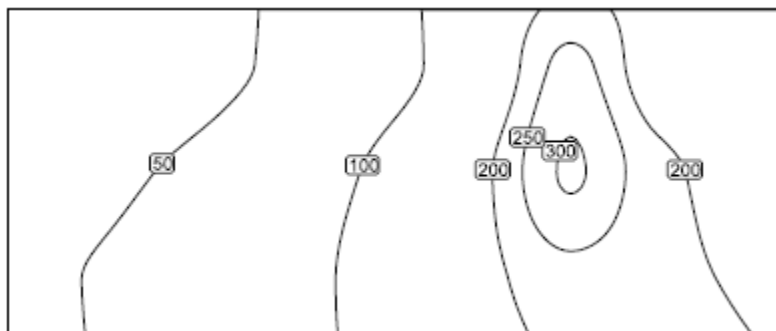


Figura3. 41 Isolinee di illuminamento per SC11 con Vega

SUPERFICIE DI CALCOLO ORIZZONTALI	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U₀	UGR_{L,MAX}
SC30	612	747	0.81	-
Abbagliamento SC26	-	-	-	16.0
Abbagliamento SC27				15.8
SC31	604	743	0.80	-
Abbagliamento SC17	-	-	-	16.1
Abbagliamento SC18	-	-	-	16.0
SC32	551	730	0.48	-
Abbagliamento SC25	-	-	-	15.8
SC33	594	787	0.48	-
Abbagliamento SC24	-	-	-	15.6
SC34	480	674	0.63	-
SC35	396	559	0.64	-
SC36	326	479	0.54	-
Abbagliamento SC23	-	-	-	15.7
SUPERFICIE UTILE	380	791	-	-

Tabella3. 16 Risultati riassuntivi per le superfici di calcolo orizzontali nel locale open-space con Vega

In tabella 3.17 sono riportati i risultati per le rimanenti superfici di calcolo: per quanto concerne le postazioni CAD indicate con SC30 e SC31 si può notare che i livelli di illuminamento medio siano superiori a 600 lx con un'uniformità inferiore e più adeguata rispetto ai casi precedenti, di 0.80. Gli illuminamenti e le uniformità per i tavoli posizionati attorno alla scala corrispondenti a SC34 e SC35 risultano appropriati poiché destinati alla consultazione rapida; per quanto riguarda SC32 ed SC33 si nota come l'illuminamento sia superiore a 500 lx mentre l'uniformità non raggiunga 0.60 e si assesti a 0.48, valore comunque ritenuto adeguato visto il tipo di compito visivo svolto nelle due superfici. Per SC36 è valido lo stesso tipo di ragionamento espresso con SBS. Gli indici UGR infine sono in linea con quanto evidenziato per le postazioni di lavoro assestandosi tra 15.6 minimi per SC24 e 16.1 per SC17. Con la configurazione Vega si ottiene un valore di illuminamento medio sulla superficie utile del locale molto simile pari a 380 lx.

3.4.4 Potenzamento della zona archivio

Per entrambe le alternative analizzate la zona archivio nel corridoio ha sempre evidenziato forti carenze sia di illuminamento medio che di uniformità. La soluzione individuata è l'installazione di apparecchi con montaggio sulla superficie del soffitto; è opportuno notare che la scelta comporterebbe modifiche all'impianto elettrico. L'apparecchio selezionato è Luxiled di Siteco, i cui dati sono riportati in tabella 3.18. In figura 3.42 e 3.43 sono riportate rispettivamente l'ottica e una foto dell'apparecchio.

GRANDEZZA	MISURA
Tecnologia lampade	LED
Lunghezza	297 mm
Larghezza	297 mm
Altezza	39 mm
Flusso Luminoso netto	1800 lm (non regolabile)
Efficienza luminosa	100 lm/W
Potenza	18 W
Distribuzione DIRETTA-INDIRETTA	100%-0%
Colore della luce	840
Temperatura di colore	4000 K
Classe di isolamento	I (messa a terra)
UGR osservazione longitudinale all'asse apparecchio	≤ 19
UGR osservazione perpendicolare all'asse dell'apparecchio	≤ 19
Grado di protezione	IP20

Tabella3. 17 Caratteristiche tecniche Luxiled

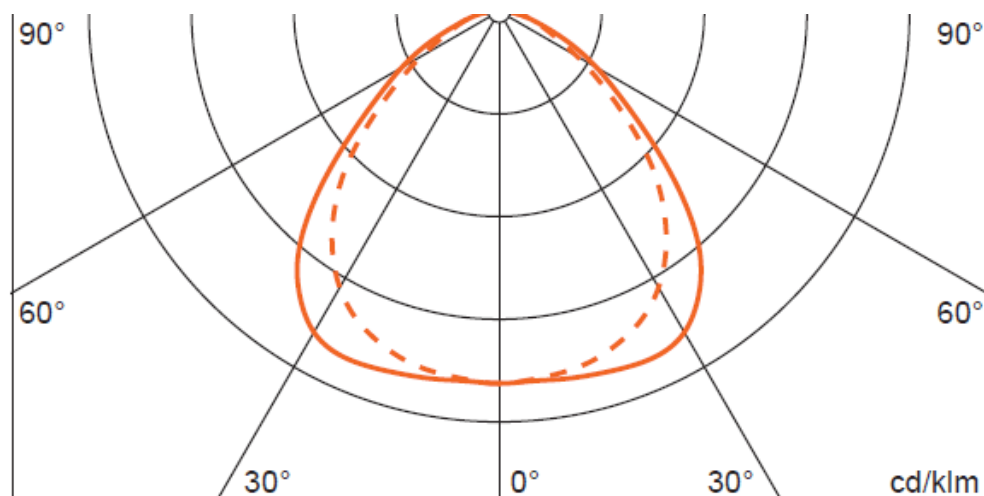
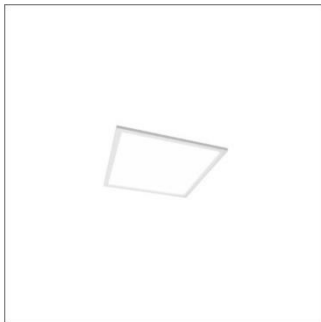


Figura3. 42 Curva fotometrica dell'apparecchio Luxiled

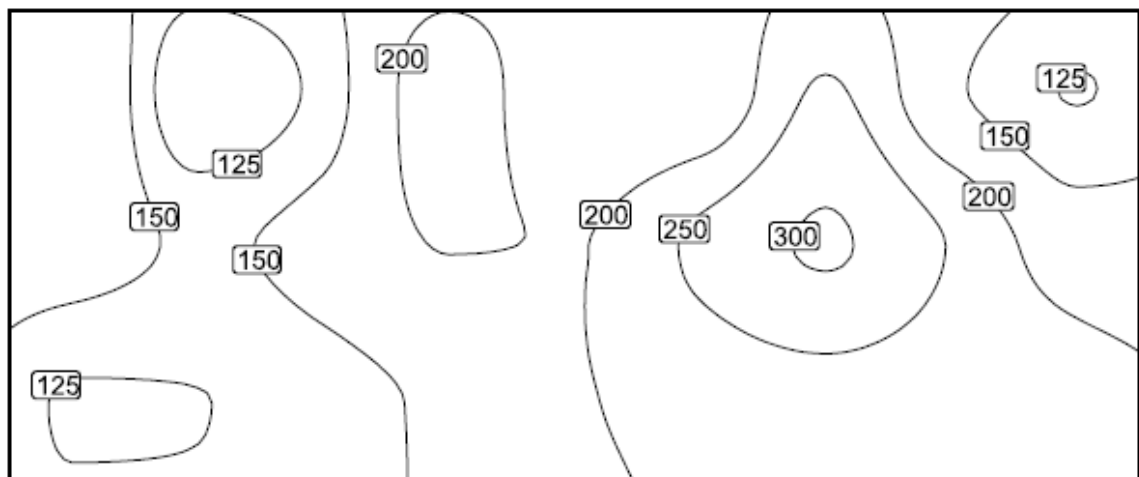


Per entrambe le soluzioni sono stati inseriti tre Luxiled nelle medesime posizioni, al centro del corridoio nel tratto adiacente alla scala con passo di 2.25 m tra gli apparecchi. Sfruttando il flusso luminoso aggiuntivo fornito è stato possibile ottenere l'incremento delle prestazioni desiderato arrivando ad ottenere risultati maggiormente in linea con quanto ottenuto per gli scaffali e le librerie del locale. Dai risultati in tabella e dalle curve isolinee è possibile notare l'incremento ottenuto nelle prestazioni.

Figura3. 43 Foto di Luxiled

Soluzione con Luxiled				Soluzione senza Luxiled		
TIPOLOGIA di SUPERFICIE	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0	E_m [lx]	E_{max} [lx]	U_0
SC11 -SBS-	185	305	0.55	122	286	0.23
SC11 -Vega-	191	324	0.61	126	306	0.25
SC12 -SBS-	201	287	0.61	172	272	0.34
SC12 -Vega-	208	282	0.68	177	268	0.37

Tabella3. 18 Confronto Risultati per la zona archivio del corridoio



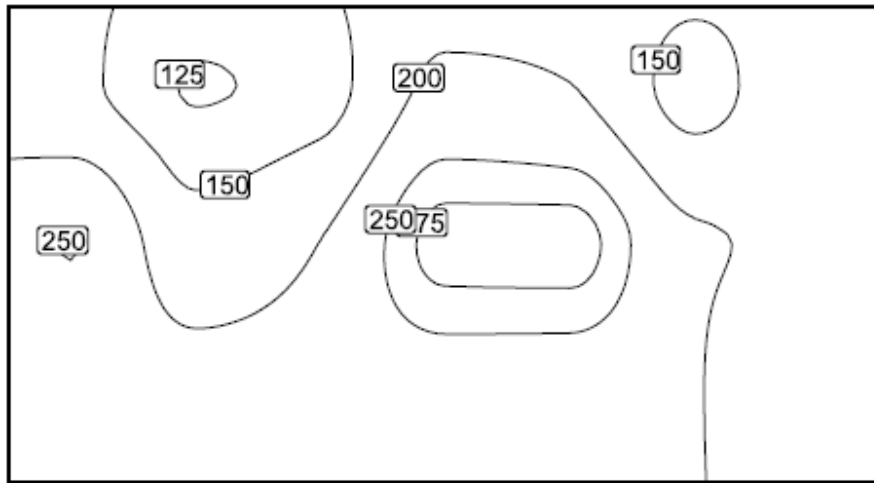


Figura3. 44 Isolinee di illuminamento per SC11-SC12 con SBS+Luxiled

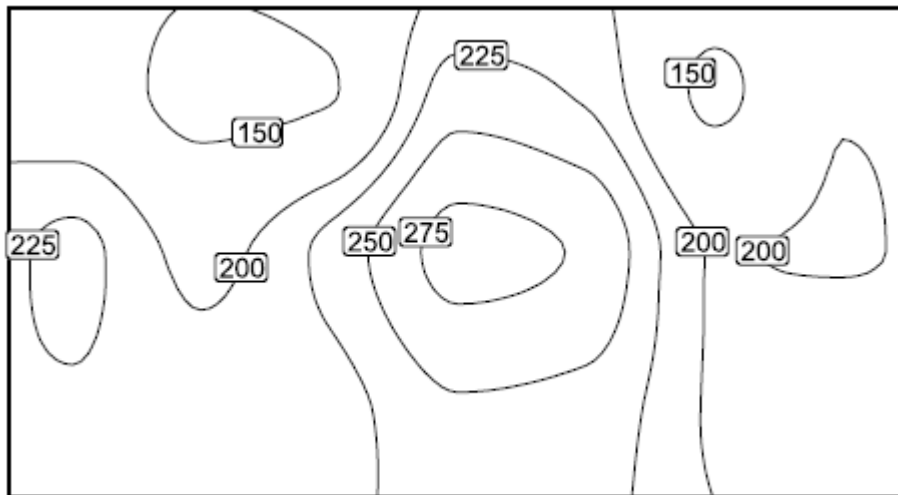
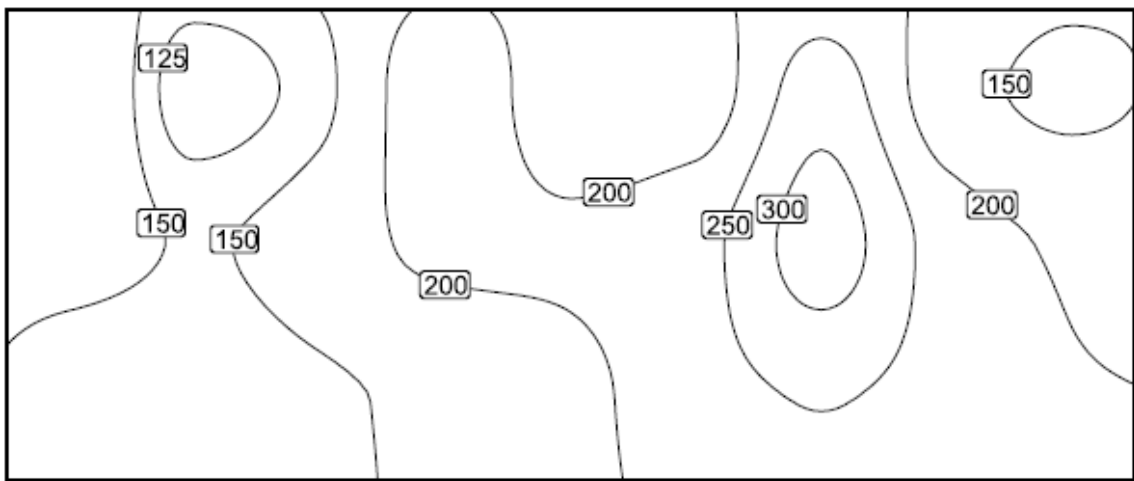


Figura3. 45 Isolinee di illuminamento per SC11 e SC12 con Vega+Luxiled

È possibile concludere che tramite l'utilizzo combinato di Vega e Luxiled si raggiungono le prestazioni migliori sia per quanto concerne l'illuminamento che l'uniformità. Le diverse soluzioni portano per il locale open-space un incremento di flusso luminoso, potenza installata e illuminamento medio nel locale rispetto a quanto calcolato precedentemente, i dati aggiornati sono riportati in tabella

Configurazione	Flusso luminoso [lm]	Potenza installata [W]	Illuminamento medio [lx]
<i>Quadrature</i>	240642	3712	335
<i>SBS+Luxiled</i>	202152	1902	387
<i>Vega+Luxiled</i>	209400	1734	390

Tabella3. 19 Flusso, potenza e illuminamento per il locale open-space per le diverse configurazioni

CAPITOLO 4

Conclusioni

4.1 Quantificazione del consumo energetico

Nei capitoli precedenti è stata analizzata l'illuminazione artificiale da un punto di vista tecnico, in uno studio di fattibilità è necessario stimare anche i consumi che una determinata soluzione porta in dote. È stato calcolato l'indice LENI introdotto nel capitolo 1 per ottenere un primo confronto dei consumi che scaturiscono dai casi analizzati; sono state considerate 1800 ore l'anno di utilizzo dei locali, 250 ore di utilizzo dei locali durante le ore di buio. La normativa propone dei valori standard per la quantificazione dell'energia annua necessaria ai sistemi di automazione, per il caso di uffici è stata considerata la stima di 2 kWh/m²anno. La superficie totale degli spazi analizzati ammonta a 394 m².

Configurazione	Totale pezzi	Potenza installata [W]	Energia annua per l'illuminazione [kWh/anno]	Energia consumata in 20 anni [kWh]	LENI [kWh/m ² anno]
Quadrature	63	3904	5306	106120	15.5
SBS+Luxiled	51+3	2018	2742	54840	9.0
Vega+Luxiled	51+3	1839	2499	49984	8.3

Tabella4.1 stima dei consumi energetici

In tabella 4.1 è riportata la stima del consumo annuo, per vent'anni e il relativo indice LENI; spicca la differenza relativa ai consumi che attraverso l'utilizzo dei nuovi apparecchi a diversa tecnologia arriva a dimezzarsi. Dalla consultazione dei cataloghi dei rispettivi prodotti e dalla richiesta di preventivi alle aziende installatrici si stima il costo dell'intervento comprensivo di installazione e pagamento degli apparecchi, (i quali sono caratterizzati da un prezzo molto simile) a 30000 €. Si considera la vita media delle lampade attualmente installate a 5000 ore e il costo di intervento triennale per la manutenzione di un open-space a 2000 €. Supponendo di includere nel costo della manutenzione anche la sostituzione delle lampade con la stessa tipologia di prodotto, in 20 anni di esercizio i costi di manutenzione sono pertanto stimabili a circa 12000 €. Il costo dell'energia per kWh si suppone costante a 0.25 €. Con una qualunque delle due soluzioni proposte si ottiene un risparmio minimo di almeno 50000 kWh, da cui è possibile trarre un risparmio di 12500 € di energia elettrica in 20 anni.

Un'altra risorsa per le aziende è la possibilità di sfruttare gli incentivi messi a disposizione dalle nuove leggi a favore dell'incremento dell'efficienza energetica; un esempio è rappresentato dagli ammortamenti del 130% (del 2018) per i beni materiali durevoli; con questo meccanismo l'azienda ha la possibilità di contabilizzare annualmente a bilancio una somma maggiore del 30% nella rata di ammortamento che porta inevitabilmente ad un pareggio dell'investimento in un tempo minore. La dinamica dei certificati bianchi è un'ulteriore possibilità, rappresentano titoli

negoziabili di efficienza energetica (TEE) conseguibili attraverso il risparmio energetico ottenuto con un intervento di incremento dell'efficienza di un'infrastruttura; i TEE conseguiti possono essere venduti e anche questa operazione può risultare decisiva nella riduzione del payback time.

Da quanto descritto, seppur effettuando delle prime stime, si evince come la possibilità per un'azienda di incrementare le prestazioni illuminotecniche dei propri uffici con un investimento che nel tempo venga pienamente coperto rappresenti un'opportunità molto interessante.

4.2 Considerazioni finali

Dai risultati ottenuti è possibile notare come non sia stata individuata una soluzione progettuale che soddisfi pienamente le specifiche normative per entrambi i locali.

Nell'ufficio la situazione attuale ha evidenziato come l'uniformità sia adeguata all'ambiente ma come il livello di illuminamento sia inferiore rispetto alle richieste normative; la configurazione con SBS ha offerto buoni risultati anche se leggermente inferiori a quanto ottenuto con l'apparecchio Vega, con il quale sono stati raggiunti illuminamento, uniformità e UGR ampiamente conformi alle richieste normative.

Per quanto concerne il locale open-space il progetto ha portato alla luce le numerose difficoltà che si riscontrano nella progettazione illuminotecnica di un locale ampio, voluminoso, e frequentato da una folta utenza; in particolare ottenere risultati soddisfacenti che rispettino i riferimenti normativi per ogni area di calcolo rappresenta un compito molto arduo. Per ogni configurazione analizzata la maggiore difficoltà incontrata è stato il vincolo inerente l'uniformità di illuminamento. Attraverso le prestazioni di un apparecchio a distribuzione luminosa ampia ma prevalentemente diretta come SBS i risultati ottenuti hanno evidenziato un indice UGR sempre molto vicino al limite di 19 ma comunque accettabile, con livelli di uniformità vicini a quanto previsto dalla normativa.

Gli apparecchi Vega con una rilevante componente indiretta hanno permesso l'abbassamento dell'abbagliamento; dal confronto delle due soluzioni con Quadrature e Vega si nota come nella situazione attuale l'uniformità sia di poco superiore a discapito dell'illuminamento medio nella zona del compito visivo che con Vega subisce un notevole incremento.

È emerso come qualunque sia la configurazione ritenuta migliore sia necessario un incremento di illuminamento nella zona archivio del corridoio, ottenuto attraverso l'innesto di tre ulteriori apparecchi, Luxiled. Dallo studio si deduce come una componente indiretta per un open-space sia molto utile a creare un'atmosfera gradevole per l'utente ma oltre a non essere efficiente da un punto di vista energetico, ci sia bisogno di un flusso diretto prevalente che consenta il raggiungimento di buoni livelli di illuminamento sulle aree del compito visivo.

Il progetto portato a termine ha rappresentato un primo passo verso un possibile potenziamento dell'impianto d'illuminazione, per uno studio più approfondito c'è la necessità di eseguire delle misurazioni illuminotecniche che consentano un confronto con i risultati ottenuti dal software per quanto concerne la situazione attuale. È necessario inoltre, per una fase più avanzata del progetto, la misura dei coefficienti di riflessione, ciò rappresenta un ulteriore passo verso una validazione più realistica del modello costruito.

La tesi ha portato a riflettere su come un maggior sfruttamento di software BIM possa rappresentare una risorsa futura, l'esportazione dei modelli e l'adeguamento degli stessi ha portato un dispendio di tempo non indifferente alla realizzazione del progetto.

Ai fini di questo primo studio di fattibilità del potenziamento è emerso che la sostituzione di molti apparecchi con sorgenti costose come quelle a LED comporti un esborso iniziale molto importante ma che le risorse perché l'investimento sia ripagato e vengano accentuati unicamente i benefici portati da un potenziamento dell'impianto e ad un uso più razionale dell'energia elettrica devono unicamente essere colte.

Sitografia

www.manens-tifs.it

www.osram.it

www.lighting.philips.it

www.autodesk.it

www.jaloxa.eu

www.radiance-online.org

www.dial.de

www.uni.com

www.zumbtotel.it

www.gse.it

www.tcolight.com

www.enea.it

www.schneider-electric.it

www.bimscape.com

www.reluxnet.relux.com/it

www.ledvance.it

www.luxemozione.com

Bibliografia

L. Fellin, G. Forcolini, P. Palladino, *Manuale di illuminotecnica*, realizzato dall'AIDI (Associazione Italiana Di Illuminazione), Tecniche Nuove, Milano, 1999.

G. Moncada Lo Gudice, A. de Lieto Vollaro, *Illuminotecnica*, Casa editrice Ambrosiana, Terza edizione, 2007.

L. Pagliano, *Illuminotecnica*, Dispensa del corso di Fisica dell'Edificio 2007-2008, Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano.

Slide e appunti del corso *Illuminotecnica e fotometria*, Prof. Pietro Fiorentin

Enea Ricerca di sistema elettrico
Confronto tra software illuminotecnici
F. Bisegna, F. Gugliermetti, M. Barbalace, L. Monti, 2010

Dialux Evo manual

Catalogo prezzi Philips Lighting 2018

Catalogo Osram 2017

Werner Stefano Villa, *AutoCAD 2016 guida base per architettura, meccanica e design*, Tecniche Nuove, 2015

Enea Ricerca di sistema elettrico
Versione 1 Software per il calcolo dell'indicatore LENI riferito allo standard EN15193-1
L. Blaso, S. Fumagalli, O. Li Rosi, F. Marino

RINGRAZIAMENTI

Un grazie di cuore a tutti coloro che, anche con un piccolo gesto, sono riusciti ad allietare il mio percorso universitario e hanno condiviso con me questo lungo cammino di crescita morale e professionale.

Ringrazio Manens-Tifs per avermi concesso la possibilità di scoprire una realtà aziendale precedentemente sconosciuta; un ringraziamento speciale va al tutor Andrea Fornasiero per la pazienza e tutti i consigli offerti.

Ringrazio il Prof. Pietro Fiorentin per avermi introdotto all'illuminotecnica, una branca dell'ingegneria che già da ora mi accompagna e mi auspico possa continuare a farlo nel proseguo della carriera lavorativa.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia che con sacrificio mi ha permesso di arrivare a questo indispensabile traguardo per la mia vita.

Una menzione speciale a Silvi, che ha sempre rappresentato e sempre sarà per me il faro verso la baia della felicità.