

Introduzione

“Il comfort visivo è una necessità essenziale dell’uomo che può influenzare le prestazioni lavorative, la salute e la sicurezza, l’umore e l’atmosfera ...”

La progettazione illuminotecnica di un ambiente è un elemento indispensabile per qualsiasi progetto architettonico sia esso per interni che per esterni.

La luce permette di orientarsi nello spazio, di percepire, isolare, amplificare, offre benessere e influenza profondamente lo stato d'animo.

La crescente richiesta di qualità ambientale, unita al sempre maggior tempo trascorso dall’uomo in ambienti confinati, comporta la necessità di modificare il “microclima” interno, creando un ambiente in grado di soddisfare le esigenze degli occupanti.

In particolare sotto l’aspetto dell’illuminazione si rende necessario assicurare adeguate condizioni visive, (ergonomia della visione) nell’ambiente occupato. Si ricerca il soddisfacimento delle seguenti tre esigenze fondamentali:

- **la prestazione visiva:** i lavoratori sono in grado di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e protratte nel tempo;
- **il comfort visivo:** la sensazione di benessere percepita dai lavoratori contribuisce indirettamente anche a ottenere alti i livelli di produttività;
- **la sicurezza.**

Al contempo l’illuminazione pubblica è un servizio di primaria importanza per lo sviluppo urbano della città; essa garantisce la sicurezza pubblica, contribuendo al miglioramento dell’ambiente e promuovendo al tempo stesso un’immagine della città che assume un forte valore artistico.

L’illuminazione è in grado di esaltare e rendere evidenti aspetti fondamentali di un ambiente, di un edificio, di una strada, etc., favorendo in tal modo una lettura complessiva, non frammentaria dell’ambiente urbano.

La presente tesi si pone come obiettivo la valutazione della qualità dell’illuminazione dapprima in un ambiente interno caratterizzato da sola illuminazione artificiale e successivamente in un ambiente esterno in condizioni notturne.

Sono state misurate ed analizzate le principali grandezze illuminotecniche coinvolte in entrambi i casi studio: illuminamento orizzontale, illuminamento verticale, illuminamento semicilindrico, illuminamento cilindrico, indice di modellato e luminanza. Si prosegue evidenziando come la normativa italiana si avvalga di queste grandezze per definire i requisiti necessari ai vari tipi di ambienti.

Sono stati presi in analisi due casi studio: un corridoio in un edificio destinato ad uffici, per lo studio dell’illuminazione di interni ed un tratto di percorso pedonale per l’illuminazione di esterni. Sui casi studio esaminati sono state compiute una serie di indagini e misurazioni volte a valutare l’efficacia dell’illuminazione.



figura – Corridoio in edificio destinato ad uffici

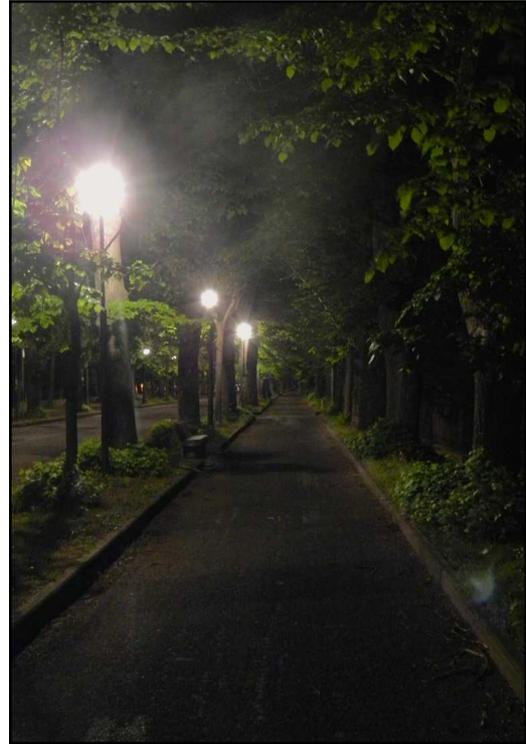


figura – Percorso pedonale

Infine per comparare i risultati ottenuti dalle misure in campo è stato utilizzato un software illuminotecnico (Dialux 4.11) sul quale sono state riproposte le scene analizzate: il corridoio all'interno di un edificio destinato ad uffici e il percorso pedonale esterno. Tali valutazioni hanno permesso di ottenere le grandezze illuminotecniche sulle scene in esame e confrontarle con i risultati rilevati direttamente sul campo.

Modeling index as a parameter of quality in lighting design of indoor and outdoor.

This thesis aims to evaluate the quality of light, first in an indoor environment characterized by artificial lighting and then in an outdoor environment in nighttime conditions. The main lighting parameter that were measured and analyzed in both cases studied are: horizontal luminance, vertical luminance, semi-cylindrical luminance, cylindrical luminance, modeling index and luminance.

For the indoor lighting, we studied a corridor in the engineering department and for outdoor lighting we studied a section of the footpath in “Viale delle Piagge”.

We conducted a series of surveys and measurements to assess the effectiveness of lighting . Finally, to compare the results obtained from the measurements on the site a lighting software (Dialux 4.11) was used on which we represented the analyzed scenes. These tests have allowed us to understand how important is to make a lighting design that considers both interior and exterior environments.

Capitolo 1

TECNICHE DI ILLUMINAZIONE

Ciò che “pretendiamo” dall’illuminazione è in primo luogo la capacità di restituire l’effetto tridimensionale e materico dell’oggetto illuminato, ossia il cosiddetto *effetto di modellato* di un oggetto. E’ possibile verificare tale requisito facendo riferimento ad alcuni rapporti tra luminanze e illuminamenti.

E’ opportuno distinguere tra l’effetto di modellato dovuto al rilievo che l’oggetto ha rispetto a tutto ciò che lo circonda e l’effetto che si coglie sulle parti dello stesso oggetto in piena luce, in parziale luce, in penombra e in ombra.

Nel primo caso si ricorre al *fattore di accento*, dato dal rapporto tra la luminanza media dell’oggetto illuminato e la luminanza media delle superfici di sfondo, rispetto all’osservatore. Nel secondo caso si ricorre agli *indici di modellato*. Tali aspetti saranno studiati ed approfonditi nei capitoli successivi.

E’ fondamentale per comprendere una buona resa del modellato, andare ad analizzare le principali tecniche di illuminazione sia per gli interni che per gli esterni.

1.1. Tecniche di illuminazione per gli interni

La dislocazione delle fonti luminose rispetto agli oggetti e al loro intorno, assieme alle loro caratteristiche fotometriche, determina le tecniche di illuminazione, ossia una serie di soluzioni tipiche, che costituiscono gli elementi basilari di ogni scenografia luminosa. Di seguito si descrivono i tipi di illuminazione in ambiente interno prendendo come esempio un cilindro posto in un locale, assimilabile ad una figura umana in piedi di media statura:

- a. base light;
- b. key light;
- c. fill light;
- d. up light;
- e. background light;
- f. back light;
- g. grazing light;
- h. drawing light

a. Base light

La *base light* è una luce di base o luce generale, diffusa, uniforme, a volte con una tonalità cromatica, ha la funzione di dare il giusto risalto a tutto lo spazio espositivo.

Per attenuare le ombre proprie e portate sono utilizzate fonti di luce con superficie di emissione estesa, v. fig. 1.1.

b. Key light

La *key light* è la luce chiave, la luce di accento e rilievo, costituita da fasci di raggi orientati verso le zone più interessanti dell'oggetto. Crea zone di maggiore luminosità e ombre marcate, favorendo la percezione della tridimensionalità degli oggetti, v. fig. 1.2.

c. Fill light

La *fill light* è una luce di riempimento o di bilanciamento, crea un'illuminazione supplementare che è mirata alla riduzione dei contrasti e delle ombre. Usata spesso in combinazione con la *key light* per equilibrare i rapporti tra le luminanze degli oggetti, v. fig. 1.3.

d. Up light

La *up light* è una luce proveniente dal basso che può svolgere la funzione sia della *key light* sia della *fill light*; per la sua posizione rispetto all'oggetto permette di ottenere effetti unici: ombre allungate dal basso verso l'alto, parti in luce poste al di sotto delle ombre proprie. In molti casi si rivela, per il suo carattere insolito (i nostri occhi sono abituati a vedere oggetti illuminati dall'alto o di lato), un potente mezzo per creare immagini stranianti e insolite, v. fig. 1.4.

e. Background light

La *background light* è una luce di fondo, che serve rischiarare i piani che circondano l'oggetto, contribuendo al suo isolamento dal contesto spaziale. L'oggetto viene privato dell'ombra portata e reso leggero con un effetto di galleggiamento nello spazio, v. fig. 1.5.

f. Back light

La *back light* è una luce retrostante l'oggetto, serve a staccarlo dal fondo, isolandolo per focalizzare meglio l'attenzione. Lo scopo principale è quello di illuminare i contorni dell'oggetto quando questi non sono netti ma indefiniti (capelli, tessuti semitrasparenti, tessuti a maglia, etc.), v. fig. 1.6.

g. Grazing light

La *grazing light* è una luce radente che viene realizzata con fonti luminose vicino agli oggetti e con direzione dei raggi luminosi che si discostano poco dall'asse principale di sviluppo degli oggetti stessi. Questa tecnica di illuminazione permette di creare zone di forte accento contrapposte a quelle di ombra marcata, facendo risaltare in particolare capelli, peli, pellicce, tessuti pelosi, v. fig. 1.7.

h. Drawing light

La *drawing light* è una luce che disegna forme e sagome sulle superfici. Talvolta i fasci luminosi sono così sottili da assomigliare a bande o linee di luce, in altri casi

l'apparecchio è fornito di speciali diaframmi, detti gobos, che proiettano motivi di luce e ombre, o di luci colorate sui piani da illuminare. Si tratta di un ottimo strumento per disegnare composizioni che arricchiscono la scena con i contrasti e la percezione della profondità dello spazio. Le linee tracciate su pareti, pavimenti e soffitti servono anche ad indicare direzioni e percorsi, v. fig. 1.8.

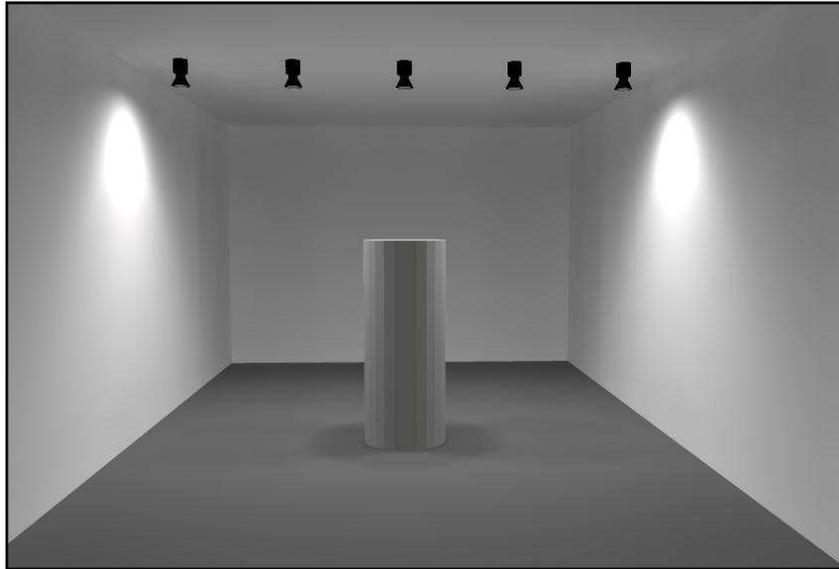


figura 1.1- Tecnica di illuminazione:base light

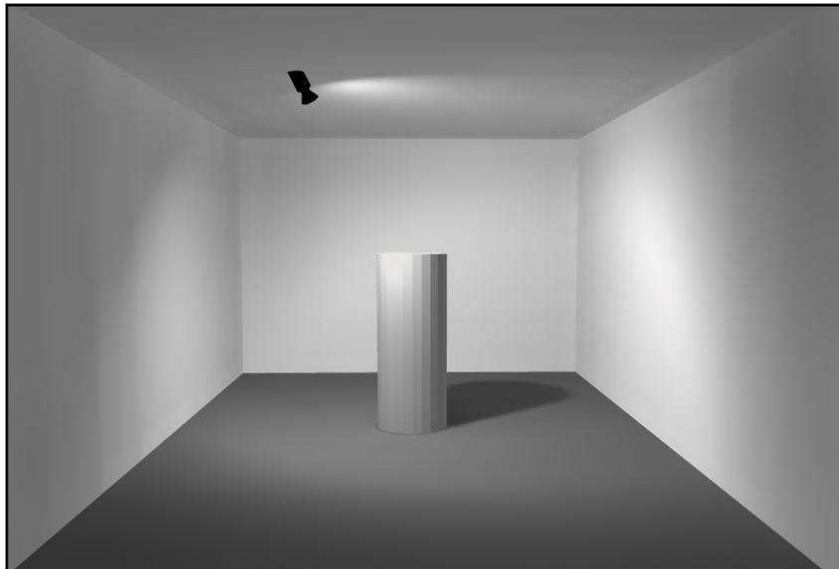


figura 1.2- Tecnica di illuminazione: key light

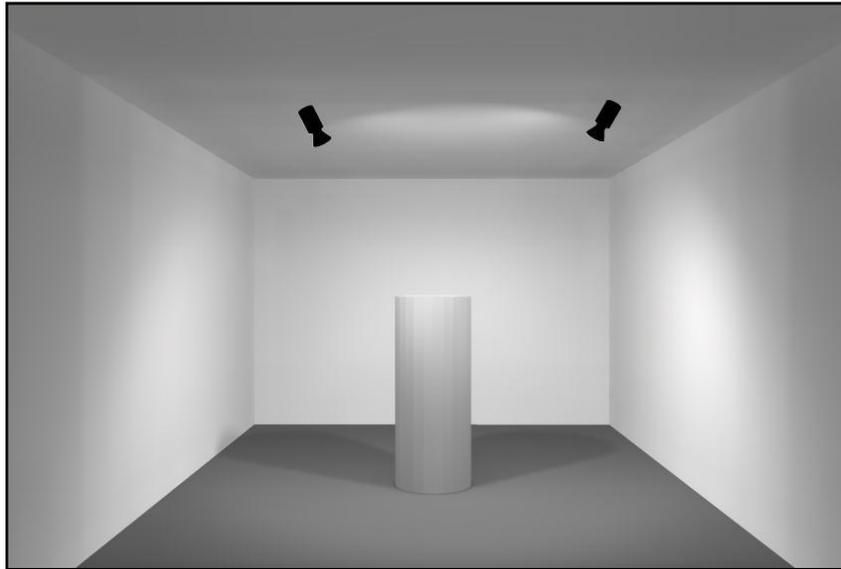


figura 1.3- Tecnica di illuminazione: fill light

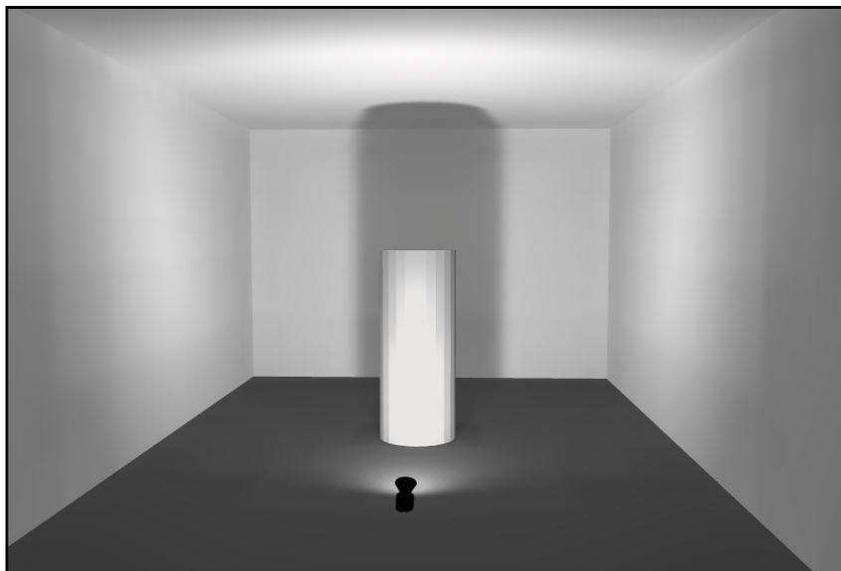


figura 1.4- Tecnica di illuminazione: up light

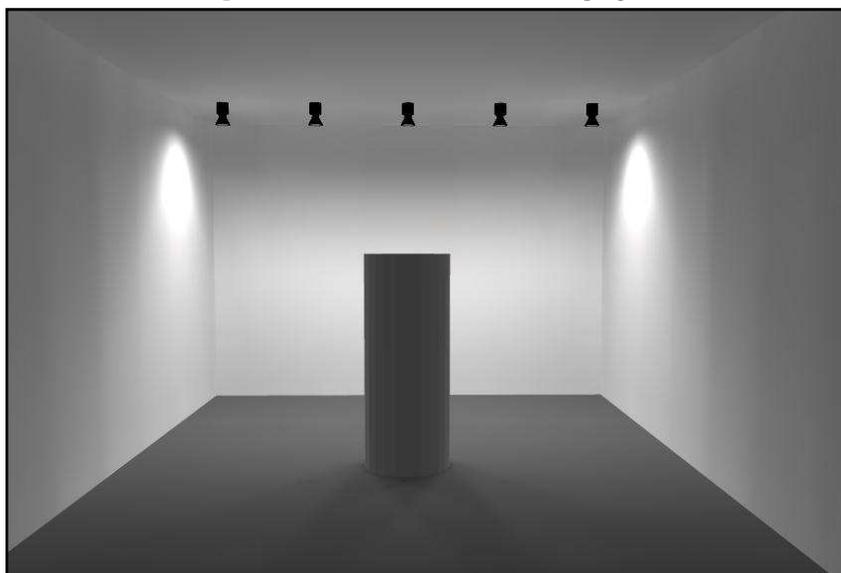


figura 1.5- Tecnica di illuminazione: background light

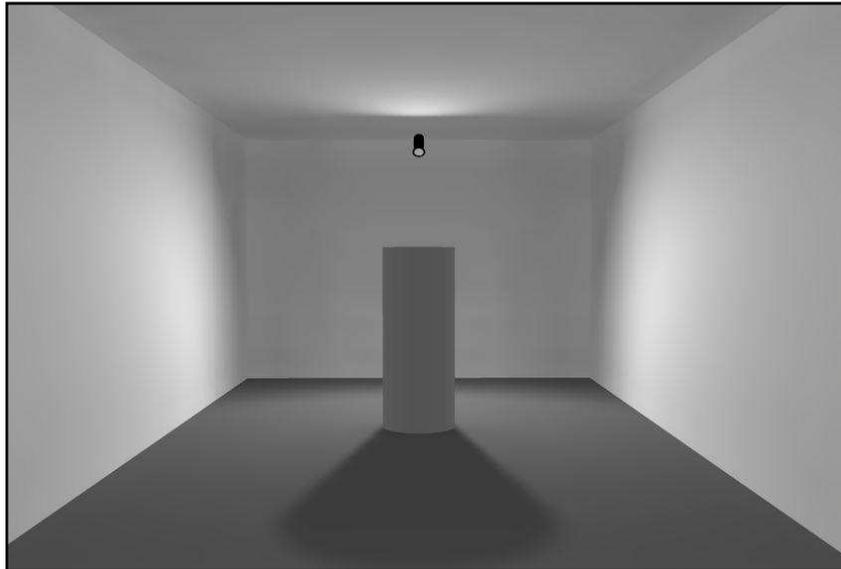


figura 1.6- Tecnica di illuminazione: back light

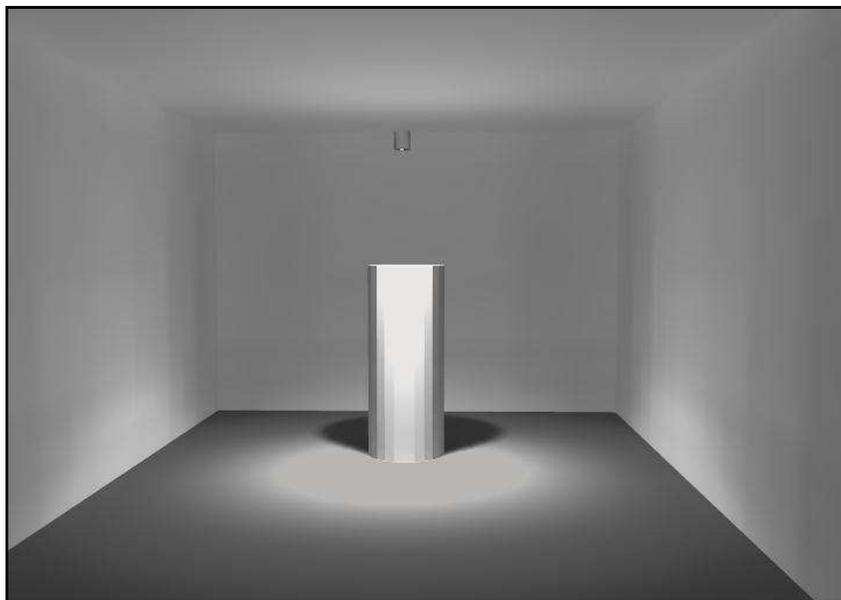


figura 1.7- Tecnica di illuminazione: grazing light

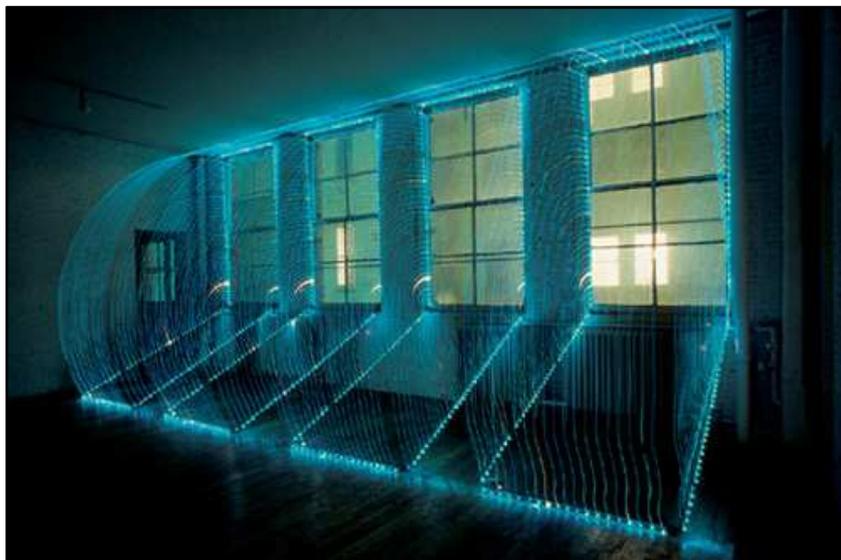


figura 1.8- Tecnica di illuminazione: drawing light_www.unp.me

1.2. Tecniche di illuminazione per gli esterni

Spostando l'attenzione sull'illuminazione *outdoor*, quest'ultima si differenzia da quella *indoor* non solo per il suo carattere prevalentemente pubblico, ma anche per le condizioni in cui avviene la visione.

In questo caso l'apparato visivo umano risponde allo stimolo luminoso secondo precise modalità con bassi valori di luminanza. Il fenomeno si definisce come adattamento alle luminanze del campo visivo.

Il "vivere la notte", è un fenomeno sociale tipico della nostra epoca che mette in primo piano l'esigenza della sicurezza e della protezione di persone e beni. La luce artificiale contribuisce a garantire la sicurezza pubblica e privata ponendosi come primo deterrente delle azioni microcriminose e vandalistiche, condizione basilare e imprescindibile per il controllo, la repressione e la prevenzione.

In particolare, nelle parti della città riservate ai pedoni, all'interno di nuclei storici, in quartieri residenziali o in zone commerciali, l'illuminazione è al servizio del cittadino e dell'ambiente urbano, non del sistema dei trasporti su strada, sarebbe perciò riduttivo considerare la luce per la città dei pedoni come un'appendice ornamentale.

La sicurezza del pedone è favorita dalla possibilità di riconoscere i propri simili a una distanza tale da permettere un comportamento efficace, che sia di fuga o di difesa attiva. L'illuminazione deve perciò consentire di cogliere visivamente le sembianze, insieme ai principali dettagli (abbigliamento, oggetti), della figura che si profila davanti all'osservatore, in modo da individuare in tempo utile l'eventuale presenza o meglio l'approssimarsi di un pericolo. Permettere tale individuazione accresce fortemente il senso di protezione, ovvero una condizione psicologica positiva che aiuta a reagire e a rispondere alle azioni di un malintenzionato.

Di seguito si descrivono i tipi di illuminazione in ambiente esterno prendendo come esempio un albero ad alto fusto con fronde verdi. La descrizione tuttavia risulterebbe analoga considerando una persona in piedi di media statura:

- a. illuminazione dall'alto;
- b. illuminazione frontale;
- c. illuminazione dal basso;
- d. illuminazione dall'interno delle fronde;
- e. illuminazione in negativo.

a. Illuminazione dall'alto

Gli apparecchi sono dislocati ad un'altezza superiore alla linea immaginaria di delimitazione delle fronde nella parte superiore della chioma dell'albero.

La luce *piove* dall'alto, cercando di simulare la luce diurna; ma è proprio in questo modo che si mette in evidenza il limite maggiore di questo tipo di illuminazione: la luce diurna è diretta, ma anche avvolgente per la moltitudine di riflessioni dell'ambiente circostante e per il fondamentale contributo della volta celeste; di

notte, invece, con la luce artificiale è impossibile ottenere lo stesso effetto di avvolgimento luminoso.

Si avranno così le zone inferiori, ovvero quelle che sono maggiormente alla portata dell'occhio dell'osservatore, in ombra se non addirittura nei casi di alberi con fogliame molto fitto, in completa oscurità, così da non permettere in maniera adeguata il riconoscimento delle persone, v. fig. 1.9.

b. Illuminazione frontale

Si ottiene con gli apparecchi posizionati sul piano che taglia in orizzontale la parte mediana della chioma dell'albero. In questo modo si riduce certamente l'effetto di pozzo scuro alla base e si rischiarano meglio gli elementi più facilmente osservabili. Tuttavia, si rischia maggiormente di incorrere nell'abbagliamento per la ridotta altezza di installazione degli apparecchi, che devono contenere lampade di media potenza (lampade a vapori di mercurio da 80 W o 125 W, e a vapori di alogenuri metallici da 70 W o 150 W), v. fig. 1.10.

c. Illuminazione dal basso

Le due modalità descritte prevedono apparecchi non facilmente occultabili o mascherabili, al contrario questa tecnica prevede un'illuminazione dal basso, con gli apparecchi dislocati al livello del terreno o, ancor meglio, completamente incassati nel terreno così da permettere di operare nel senso della mascheratura.

Gli apparecchi così posizionati consentono di risaltare soprattutto all'altezza del tronco, dei rami e con meno efficacia del fogliame, v. fig. 1.11.

d. Illuminazione dall'interno delle fronde

Si tratta di una soluzione indicata per esemplari di alberi di grande mole in cui risulti possibile posizionare e ancorare gli apparecchi proiettori. Quando si opta per un'illuminazione basso-alto è necessario limitare l'inquinamento luminoso della volta celeste, ponendo dunque la delicata questione di come gestire l'impianto durante tutto l'arco dell'anno, v. fig. 1.12.

e. Illuminazione in negativo

Tecnica cosiddetta della *silhouette*, utilizzata per accentuare delle sagome scure il cui profilo si staglia su uno sfondo fortemente rischiarato, così da riproporre la classica visione diurna di un qualsiasi oggetto sul fondo chiaro del cielo, v. fig. 1.13, 1.14.



figura 1.9- Tecnica di illuminazione dall'alto_www.alchimag.net



figura 1.10- Tecnica di illuminazione frontale_www.occasioniverdi.com



figura 1.11- Tecnica di illuminazione dal basso_www.iguzzini.com

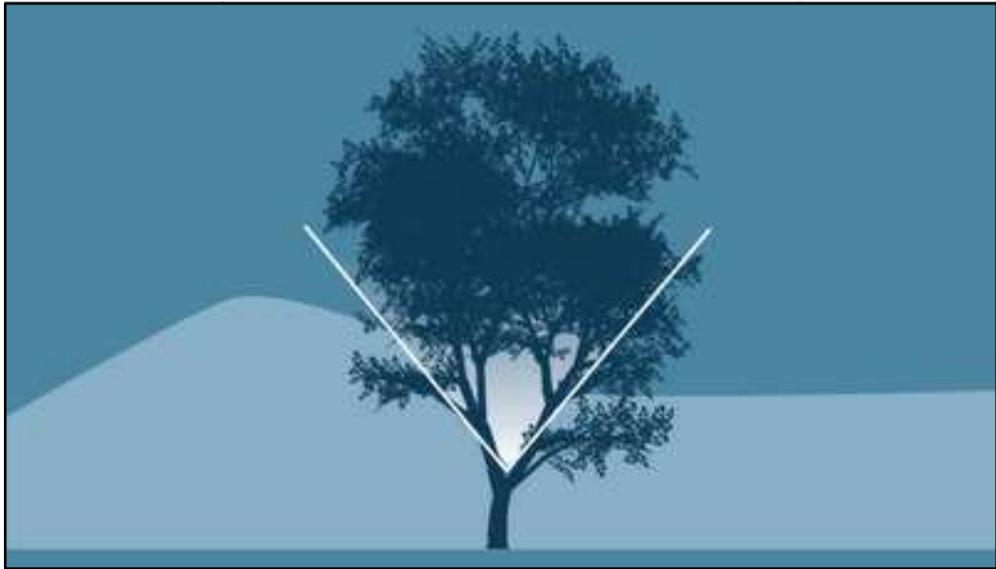


figura 1.12- Tecnica di illuminazione dall'interno delle fronde

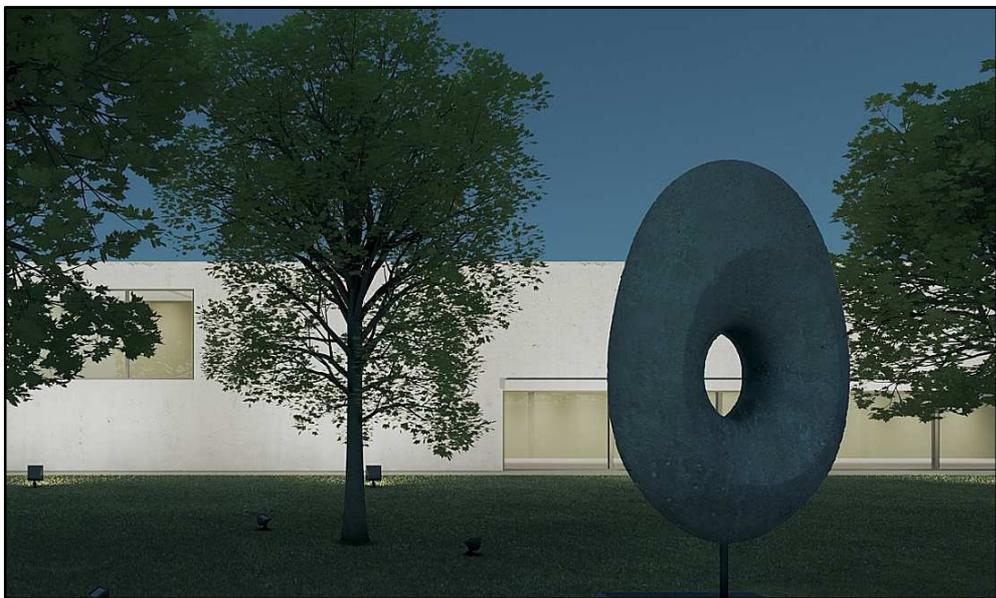


figura 1.13- Tecnica di illuminazione in negativo_www.erco.com



figura 1.14- Tecnica della silhouette figure umane

Capitolo 2

ASPETTI NORMATIVI

2.1. Illuminazione di interni

Un impianto di illuminazione artificiale deve soddisfare i seguenti requisiti per garantire condizioni di comfort visivo all'interno di ambienti confinati destinati ad attività lavorativa (uffici, negozi, aule scolastiche, sale riunioni, ambulatori medici, palestre sportive, corridoi, etc.):

- assicurare un *illuminamento medio* adeguato delle postazioni di lavoro in relazione all'attività svolta;
- garantire una sufficiente *uniformità* dell'illuminazione delle zone dove vengono svolti i compiti visivi;
- realizzare un *equilibrio delle luminanze* all'interno del campo visivo delle persone in modo da evitare fenomeni di *abbagliamento*;
- utilizzare sorgenti luminose caratterizzate da *tonalità cromatica e resa cromatica* adeguate in relazione all'attività svolta;
- contenere il più possibile i *consumi* di energia elettrica, sfruttando al meglio la luce naturale.

A tale scopo il progettista può intervenire sui seguenti parametri:

- geometria dell'ambiente;
- tipologia delle sorgenti luminose;
- collocazione delle sorgenti luminose nell'ambiente;
- coefficienti di riflessione delle superfici che delimitano l'ambiente.

Le principali norme di riferimento sono:

- **UNI EN 12464-1** (luglio 2011) Luce e illuminazione- Illuminazione dei posti di lavoro- Parte 1: Posti di lavoro in interno (*Light and lighting-Lighting of work places- Part 1: Indoor work places*).
- **UNI 11165-2005** Luce e illuminazione- Illuminazione di interni- Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR (*Light and lighting- Interior lighting- Evaluation of discomfort glare with the UGR*).

a) UNI EN 12464-1

La norma specifica i requisiti di illuminazione per persone, in posti di lavoro interni, che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva di persone aventi normale capacità oftalmica, dando indicazioni sui livelli di illuminamento, uniformità e grado massimo di abbagliamento necessari alle diverse prestazioni visive. Sono considerati tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che comportano l'utilizzo di attrezzature munite di videoterminali.

b) UNI 11165-2005

La norma prevede la valutazione dell'abbagliamento molesto tramite il metodo UGR (*Unified Glare Rating- Indice unificato di abbagliamento*)semplificato, per interni, considerando il solo contributo dell'illuminazione artificiale, introdotto già a livello europeo con la CIE 117-1995.

Indice, che ci fornisce un algoritmo di calcolo che permette di studiare gli effetti dovuti alle luminanze di tutte le sorgenti presenti nell'ambiente, tenendo conto della loro mutua posizione.

Il valore dell'UGR dipende dalla disposizione degli apparecchi illuminanti, dalle caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, indici di riflessione) e dal punto di osservazione degli operatori che si troveranno all'interno dello spazio in questione. Oscilla tra valori da 10 (nessun abbagliamento) a 30 (abbagliamento fisiologico considerevole) secondo una scala di 3 unità (10,13,16,19,22,25 e 28).

Naturalmente più sarà basso il valore e minore sarà l'abbagliamento diretto. Il fattore UGR tiene conto della luminanza di sfondo dell'ambiente e quindi soffitto e pareti, e della somma dell'effetto di abbagliamento di ciascun apparecchio all'interno dello spazio, rispetto naturalmente ad una posizione tipica dell'osservatore.

2.2. Illuminazione di esterni

Per l'illuminazione di esterni si individuano differenti campi operativi, tra i quali:

- illuminazione di posti di lavoro in esterno (grandi aree, aree industriali, aree di servizio alle infrastrutture di trasporto, parcheggi, cantieri edili, etc.);
- illuminazione di impianti sportivi all'aperto;
- illuminazione stradale (strade ad esclusivo o prevalente traffico motorizzato);
- illuminazione di gallerie;
- illuminazione urbana (strade a prevalente o esclusivo traffico pedonale, strade a traffico misto, aree verdi, parchi, giardini);
- illuminazione architettonica (facciate edifici, monumenti, piazze, fontane, etc.).

I primi quattro casi richiedono un particolare interesse per quanto riguarda la funzionalità e gli aspetti di sicurezza; negli ultimi due casi, oltre ai precedenti occorrerà valutare ulteriori aspetti:

- di arredo urbano (pali, luci, etc. diventano parte dell'arredo urbano durante il giorno);
- fruibilità degli spazi (nelle ore notturne);
- valorizzazione del contesto (costruito);
- comfort della visione notturna.

La normativa riguardante l'illuminazione stradale attraverso la quale si definiscono i parametri di studio e gli esempi da seguire nella progettazione illuminotecnica urbana si compone sostanzialmente delle seguenti norme:

- **UNI 11248** (ottobre 2007) Illuminazione stradale-Selezione delle categorie illuminotecniche (*Road lighting-Selection of lighting classes*);
- **UNI EN 13201-2** (settembre 2004) Illuminazione stradale- Parte 2: Requisiti prestazionali (*Road lighting-Part 2:Performance requirements*);
- **UNI EN 13201-3** (settembre 2004) Illuminazione stradale- Parte 3: Calcolo delle prestazioni (*Road lighting- Part 3: Calculation of performance*);
- **UNI EN 13201-4** (settembre 2004) Illuminazione stradale- Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche (*Road lighting- Part 4: Methods of measuring lighting performance*);
- **CIE 136/2000** (*Guide to the lighting of urban areas*).

Nel panorama normativo italiano è presente un'ulteriore norma:

- **UNI EN 12464-2** (gennaio 2008) Luce e illuminazione-Illuminazione dei posti di lavoro-Parte 2: Posti di lavoro in esterno (*Light and lighting- Lighting job- Part 2: outside jobs*).

a) UNI 11248 -2007

La presente norma fornisce le linee guida per determinare le condizioni d'illuminazione in una data zona della strada, introduce il concetto di parametro d'influenza e la richiesta di valutazione dei rischi da parte del progettista.

Evidenzia le prestazioni illuminotecniche degli impianti d'illuminazione atte a contribuire alla sicurezza degli utenti della strada e in particolare:

- Indica come classificare una zona esterna destinata al traffico, ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica che le compete;
- Fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata;
- Identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e attraverso la valutazione dei rischi, permettono il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.

Essa si applica agli impianti d'illuminazione fissi, progettati per offrire all'utente delle zone pubbliche, adibite alla circolazione, buone condizioni di visibilità durante i periodi di oscurità, al fine di garantire sia la sicurezza e il buono smaltimento del traffico sia la tranquillità pubblica, per quanto questi parametri dipendano dalle condizioni d'illuminazione della strada.

La norma fornisce inoltre elementi per la valutazione della zona di studio nella quale valutare i parametri utili alla determinazione della categoria illuminotecnica e la selezione della pavimentazione stradale di riferimento per i calcoli.

Tramite i parametri individuati nella presente norma, è possibile identificare una categoria illuminotecnica conoscendo:

- la classe della strada nella zona di studio;
- la geometria della zona di studio;
- l'utilizzazione della zona di studio;
- l'influenza dell'ambiente circostante.

E pertanto adottare le condizioni d'illuminazione più idonee al fine di perseguire un uso razionale dell'energia e un contenimento del flusso luminoso disperso.

Inoltre sono inserite indicazioni a carattere informativo, data la complessità, per la classificazione delle intersezioni stradali e numerose considerazioni d'integrazione atte a completare misurazioni descritte in altre norme quali ad esempio la UNI EN 13201- 4.

b) UNI EN 13201-2004

Norma riguardante l'illuminazione stradale suddivisa in tre parti concernenti:

- requisiti prestazionali;
- calcolo delle prestazioni;
- metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche.

Nella prima parte sono definite, tramite i requisiti fotometrici, le categorie illuminotecniche per l'illuminazione stradale volte a soddisfare le esigenze visive degli utenti della strada e gli aspetti ambientali dell'illuminazione stradale.

Dopodiché, nella seconda sezione, sono descritti le convenzioni e i procedimenti matematici da adottare per il calcolo delle prestazioni fotometriche degli impianti d'illuminazione progettati in conformità alla norma; e nell'ultima sezione sono

specificate le procedure per l'esecuzione delle misurazioni fotometriche sugli impianti d'illuminazione stradale.

c) CIE 136-2000

Questa norma fornisce una definizione di illuminamento semicilindrico generalizzato ad una superficie generica e di illuminamento verticale.

Tramite queste due definizioni introduce il concetto di “*modelling*” o *indice di modellato* equivalente al rapporto tra illuminamento verticale e quello semicilindrico. L'indice di modellato è introdotto come parametro in grado di quantizzare la “naturalità” dell'immagine della persona, cioè assicurare che non ci sia né un eccessivo né un insufficiente contrasto che potrebbero distorcere l'immagine di persone o di elementi architettonici nello spazio.

La CIE 136 – 2000 individua un intervallo di questo parametro nel quale siano soddisfatte le richieste visive in precedenza enunciate, mostrando come a esso corrispondano determinati angoli d'inclinazione tra piano verticale contenente il vettore intensità luminosa e il piano contenente la normale al punto in cui sono registrate le misurazioni dell'illuminamento.

d) UNI EN 12464-2

La presente norma specifica i requisiti relativi all'illuminazione dei compiti visivi in termini di quantità e qualità per la maggior parte dei posti di lavoro in esterni e delle zone connesse. Inoltre sono fornite raccomandazioni di buona pratica di illuminazione.

Non specifica i requisiti illuminotecnici riguardanti la sicurezza e la salute dei lavoratori sul posto di lavoro, non riporta soluzioni specifiche, non limita la libertà del progettista di sperimentare nuove tecniche, né l'applicazione di attrezzature innovative.

2.3. L'indice di modellato nella Normativa

L'indice di modellato, che sarà approfondito nella seguente tesi, è un parametro prestazionale tramite il quale è possibile fare un'ampia valutazione sul comfort illuminotecnico di un ambiente sia interno che esterno.

Tramite tale indice è possibile quantizzare i rilievi e la plasticità della figura umana o degli elementi architettonici presenti sulla scena, al fine di correggere eccessivi o inadeguati contrasti che possono generare un malessere visivo.

Nell'illuminazione di interni, l'indice di modellato è stato introdotto recentemente con la norma UNI EN 12464-1 2011, nella quale si afferma che l'indice fornisce una precisa indicazione sull'interazione opera-ambiente e sulla percezione tridimensionale dell'opera stessa.

“Il generale aspetto di un ambiente interno è messo in risalto quando le sue caratteristiche strutturali, le persone e gli oggetti sono illuminati così che la forma e la consistenza si rivelano in modo chiaro e piacevole. L'illuminazione non dovrà essere né troppo diretta, o produrrà ombre troppo dure e nitide, né troppo diffusa o l'effetto di modellato si perderà interamente, creando un'illuminazione dell'ambiente noiosa.”

Nella norma viene definito come il rapporto tra illuminamento cilindrico (E_c) e illuminamento orizzontale (E_o), valutati in uno stesso punto:

$$M = \frac{E_c}{E_o} \quad (2.1)$$

Per una disposizione uniforme degli apparecchi o luci al soffitto, un valore compreso tra 0,3 e 0,6 è indice di un buon modellato.” Quindi dovrà risultare:

$$0,3 \leq M \leq 0,6$$

Nell'illuminazione di esterni, per il calcolo dell'indice di modellato, si farà riferimento alla formula introdotta dalla CIE 136-2000, dove il parametro è dato dal rapporto tra illuminamento verticale (E_v) e illuminamento semicilindrico (E_{sc}):

$$M = \frac{E_v}{E_{sc}} \quad (2.2)$$

La stessa norma definisce dei valori critici di tale indice, individuando così un intervallo all'interno del quale si ritiene che i rilievi di plasticità siano resi in modo equilibrato e realistico. Quest'intervallo è:

$$0,8 \leq M \leq 1,3$$

La resa del modellato migliora al diminuire dell'indice di modellato M . Per alti valori del parametro M , superiori ad 1,3, si parla di *modellato ridotto*, che comporta appiattimento dei rilievi e scarsa resa della loro plasticità; viceversa, per valori inferiori allo 0,8, si parla di *modellato contrastato*, che crea immagini fortemente contrapposte ad ampie zone in ombra.

Capitolo 3

CALCOLO INDICE DI MODELLATO

Al fine di definire l'indice di modellato, occorre introdurre per l'illuminazione di interni ed esterni le definizioni di illuminamento cilindrico, orizzontale, verticale e semicilindrico.

3.1. Definizione di illuminamento

Si definisce illuminamento (E) in un punto (P) appartenente a una superficie (S) il rapporto tra il flusso luminoso ($d\phi$) incidente sull'elemento di superficie (ds) attorno al punto P e l'elemento di superficie stesso:

$$E = \frac{d\phi}{ds} \quad (\text{lux}) \quad (3.1)$$

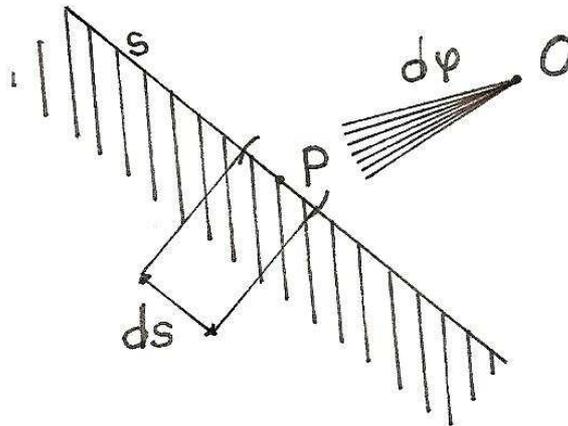


Figura 3.1

Si definisce intensità luminosa (I) il rapporto tra il flusso luminoso ($d\phi$) emesso dalla sorgente O in un angolo solido ($d\omega$) attorno ad una data direzione e l'angolo stesso.

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (\text{cd}) \quad (3.2)$$

Si consideri adesso una sorgente puntiforme posta in O , si vuole calcolare l'illuminamento prodotto in un punto P della superficie S ; sia $\overline{OP} = r$, $d\omega$ l'angolo solido sotto il quale da O si vede l'elemento di superficie dS attorno al punto P e θ l'angolo formato da OP con la normale \mathbf{n} a S in P (v. Fig. 3.2).

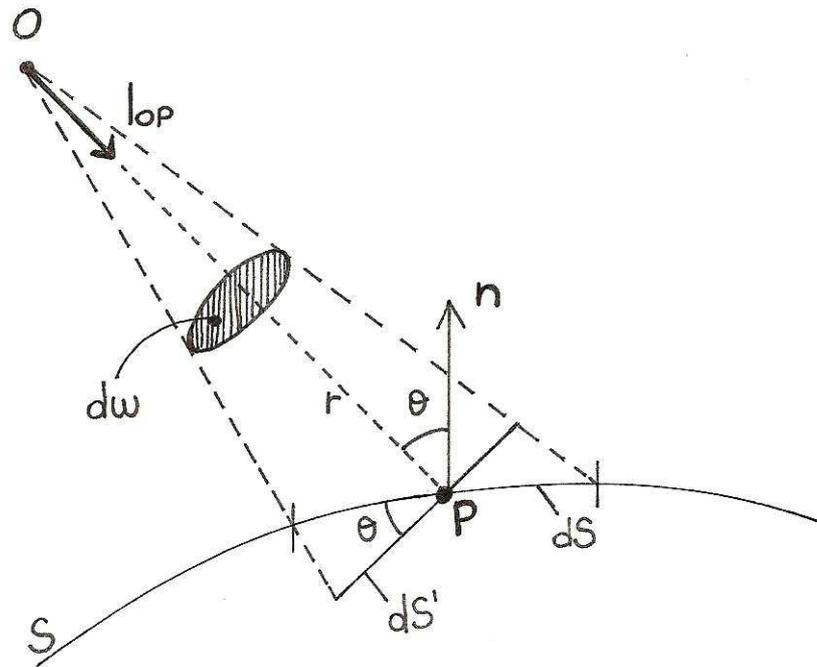


Figura 3.2

Dalle definizioni di illuminamento (3.1) e di intensità luminosa (3.2) consegue che l'illuminamento nel punto P può porsi nella forma:

$$E(P) = I_{OP} \frac{d\omega}{ds} \quad (3.3)$$

dove I_{OP} è l'intensità luminosa della sorgente nella direzione OP.

La I_{OP} si determina facilmente conoscendo la superficie fotometrica caratteristica della sorgente. Per definizione di angolo solido e con riferimento alla Fig. 3.2, risulta:

$$d\omega = \frac{dS'}{r^2} = \frac{dS \cos\theta}{r^2}$$

per cui dalla (3.3) si ha:

$$E(P) = I_{OP} \frac{\cos\theta}{r^2} \quad (3.4)$$

Se, in particolare, l'elemento di superficie dS è normale a OP ($\theta=0$) risulta semplicemente:

$$E(P) = I_{OP} \frac{1}{r^2}$$

Verranno di seguito calcolati gli illuminamenti prodotti da sorgenti puntiformi in alcuni casi particolari.

3.2. Illuminamento orizzontale

Si consideri ora il caso in cui la superficie S è piana e orizzontale.

Sia O' il piede della perpendicolare condotta da O a S e α ($\alpha=\theta$) l'angolo formato dalla congiungente OP con OO' (v. Fig. 3.3). Posto: $\overline{OO'}=h$ e $\overline{O'P}=d$, si ha

$$\cos \alpha = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

e dalla (3.4) consegue:

$$E(P) = I_{OP} \frac{h}{r^3} = I_{OP} \frac{h}{(h^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} = I_{OP} \frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$$

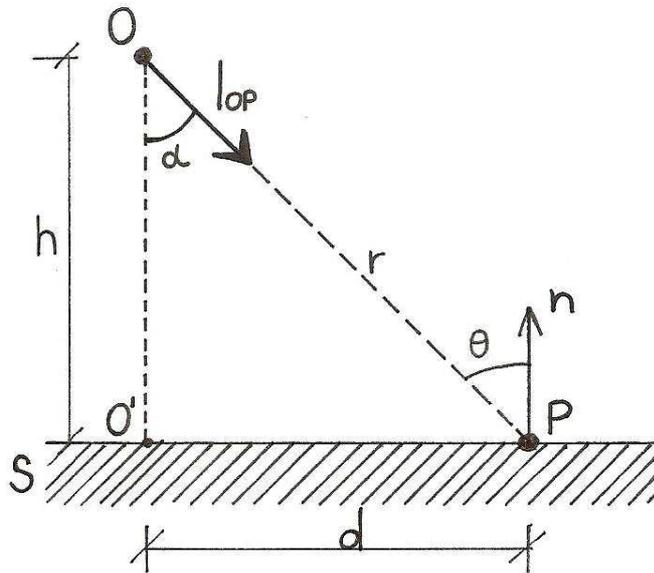


Figura 3.3

I risultati ottenuti con il calcolo sono generalmente visualizzati nei modi seguenti:

- **Curve di illuminazione.** Calcolati i valori di E per una serie di punti P appartenenti ad una semiretta uscente da O', si tracciano a partire dai punti P e normalmente a S dei segmenti aventi lunghezza proporzionale a E(P), il luogo geometrico degli estremi di questi segmenti costituisce una curva di illuminazione.
- **Linee isolux.** Si riportano su di un disegno in pianta dell'ambiente da illuminare le curve luogo dei punti con eguale illuminamento; queste curve sono dette curve isolux. Comprendiamo rapidamente come si distribuiscono gli illuminamenti su una superficie di lavoro S.

Tali curve ci permettono di vedere: -se il valore medio degli illuminamenti rispetta il minimo di Normativa; - se il rapporto tra il valore minimo e medio resta anch'esso entro certi valori di Normativa.

Nella pratica è assai frequente il caso in cui la superficie fotometrica caratteristica della sorgente abbia OO' come asse di simmetria; in queste condizioni, ovviamente, le linee isolux sono circonferenze con centro in O'.

3.3. Illuminamento verticale

E' interessante, per alcuni problemi relativi all'illuminazione di facciate di edifici, di monumenti, ecc., calcolare l'illuminamento su di una superficie piana verticale S' .

In questo caso per la (3.4), con riferimento alla Fig. 3.4, si ha subito ($\theta=90-\alpha$, $\cos\theta=\sin\alpha$, $r=h/\cos\alpha$):

$$E(P) = I_{OP} \frac{\sin\alpha}{r^2} = \frac{I_{OP}}{h^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha \quad (3.5)$$

La (3.5) si riferisce, ovviamente, al caso in cui la normale \mathbf{n} alla superficie da illuminare S' giace nel piano Γ contenente O , P e O' .

Se, in condizioni più generali, la \mathbf{n} forma un angolo β con il piano Γ , v. Fig. 3.5, il valore dell'illuminamento in P si ottiene da quello fornito dalla (3.5) moltiplicandolo per il fattore correttivo $\cos\beta$:

$$E(P) = \frac{I_{OP}}{h^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha \cos \beta \quad (3.6)$$

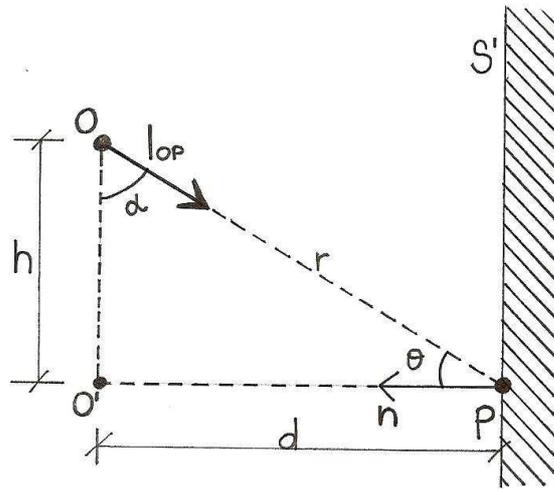


Figura 3.4

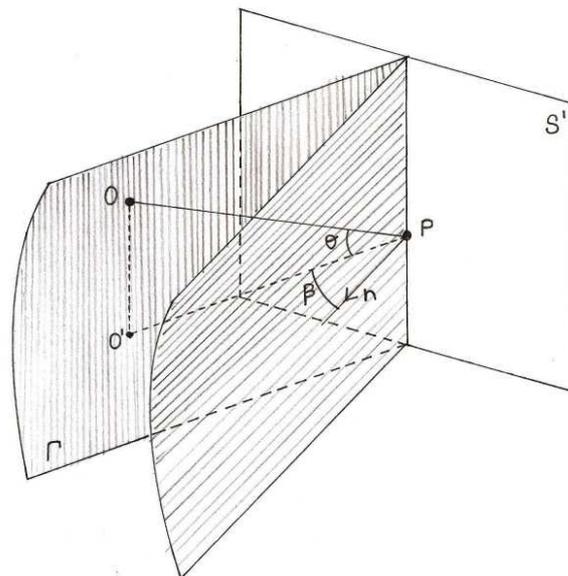


Figura 3.5

3.4. Illuminamento cilindrico

La superficie S da illuminare avrà forma cilindrica di raggio R. Si consideri su S un punto P ed un elemento di superficie cilindrica dS di altezza dz attorno a P (v. Fig. 3.6).

L'angolo solido d ω , sotto il quale da O si vede dS, è dato da:

$$d\omega = \frac{2Rdz \cos \theta}{r^2}$$

essendo: dS=2 π R dz e $\theta=90-\alpha$, l'illuminamento in P risulta:

$$\mathbf{E}(\mathbf{P}) = \mathbf{I}_{OP} \frac{d\omega}{dS} = \frac{\mathbf{I}_{OP} \cos \theta}{\pi r^2} = \frac{\mathbf{I}_{OP} \sin \alpha}{\pi r^2} \quad (3.7)$$

Considerando che (v. Fig. 3.6), $h=r \cos \alpha$, la relazione precedente si può scrivere nella forma:

$$\mathbf{E}(\mathbf{P}) = \frac{\mathbf{I}_{OP} \sin \alpha \cos^2 \alpha}{\pi h^2}$$

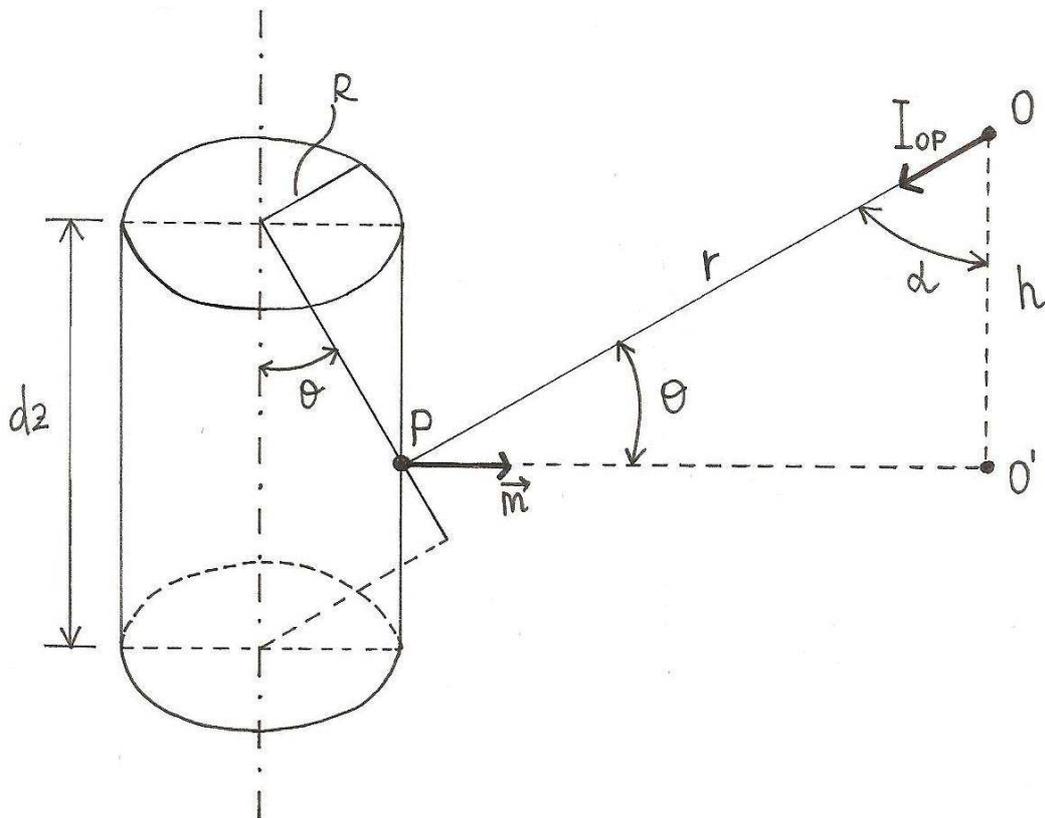


Figura 3.6

3.5. Illuminamento semicilindrico

La superficie S da illuminare avrà forma semicilindrica di raggio R . Si consideri su S un punto P ed un elemento di superficie semicilindrica dS di altezza dz attorno a P (v. Fig. 3.7).

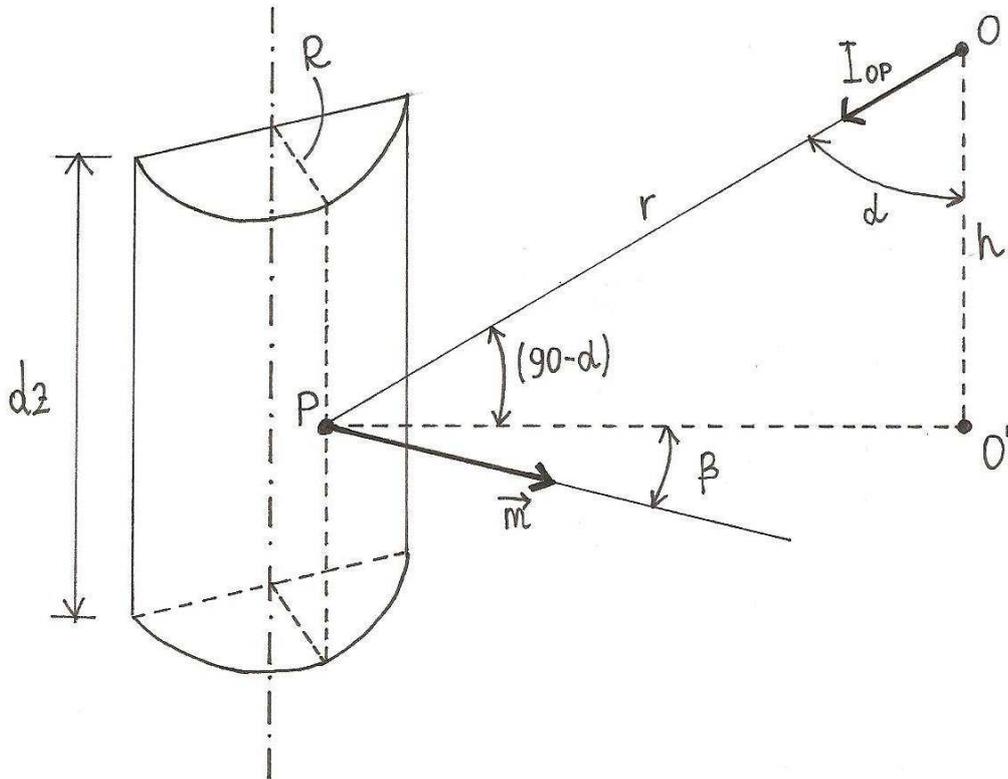


Figura 3.7

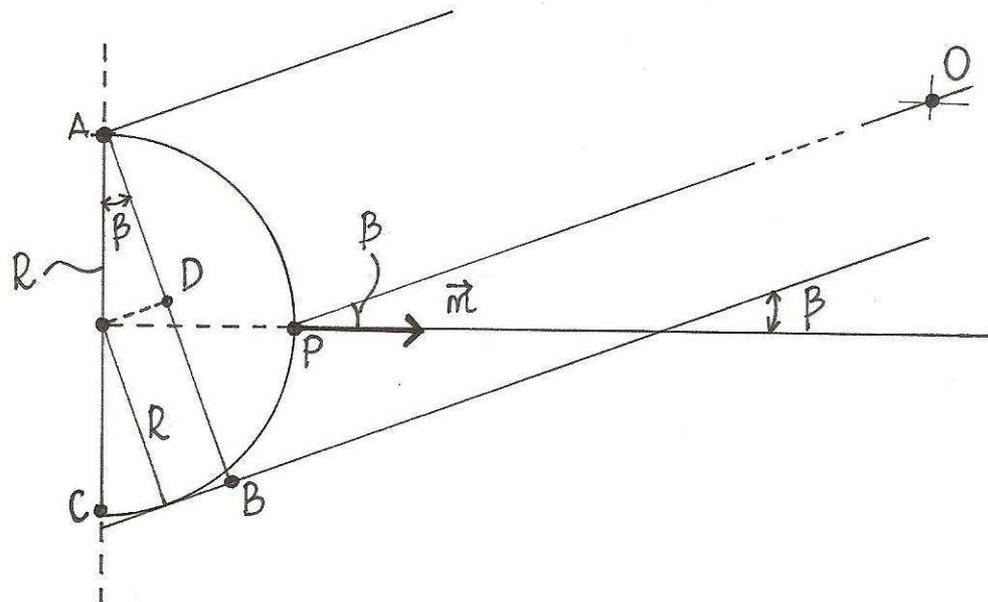


Figura 3.8

Dalla Fig. 3.8 risulta ovviamente:

$$\overline{AB} = \overline{AD} + \overline{DB} = R \cos \beta + R = R(1 + \cos \beta)$$

L'angolo solido $d\omega$ sotto il quale da O si vede dS risulta:

$$d\omega = \frac{\overline{AB} dz \cos(90 - \alpha)}{r^2} = \frac{1}{r^2} R(1 + \cos \beta) \sin \alpha dz$$

e l'illuminamento in P è dato da:

$$\mathbf{E(P)} = \mathbf{I_{OP}} \frac{d\omega}{dS} = \frac{\mathbf{I_{OP}}}{\pi r^2} (\mathbf{1 + \cos \beta}) \sin \alpha \quad (3.8)$$

essendo: $dS = \pi R dz$.

Considerando che (v. Fig. 3.7) $h = r \cos \alpha$, la relazione precedente si può scrivere nella forma:

$$\mathbf{E(P)} = \frac{\mathbf{1 I_{OP}}}{\pi h^2} (\mathbf{1 + \cos \beta}) \sin \alpha \cos^2 \alpha \quad (3.9)$$

Si noti che dalle (3.7) e (3.8) consegue che l'illuminamento semicilindrico coincide con quello cilindrico per $\beta = 90^\circ$.

L'utilità dell'illuminamento semicilindrico è nata dalla necessità di trovare un parametro che non fosse solo quantitativo, ma qualitativo.

Trova pratica applicazione in vari ambiti, per esempio nell'illuminazione di impianti sportivi al coperto (atleti, oggetti di gioco, ...), nell'illuminazione di aree urbane pedonali (riconoscimento delle persone e degli ostacoli, ...), nell'illuminazione di musei e gallerie d'arte (sculture, oggetti, ...).

Si consideri, per esempio, una persona in piedi illuminata lateralmente. In questo caso $\beta = 90^\circ$ e l'illuminamento verticale dato dalla (3.6) risulterebbe nullo, mentre l'illuminamento semicilindrico, per la (3.8), fornisce:

$$\mathbf{E(P)} = \frac{\mathbf{I_{OP}}}{\pi r^2} \sin \alpha$$

Appare quindi evidente come l'illuminamento semicilindrico risulti più adatto dell'illuminamento verticale per quantificare l'effettiva visibilità dei pedoni sulle strade.

La nozione di illuminamento semicilindrico è presente nelle più recenti normative relative all'illuminazione di esterni (impianti sportivi, centri urbani, ecc.) e all'illuminazione di interni (ambienti museali, ecc.).

3.6. Indice di modellato

a) Illuminazione di interni

L'indice di modellato nell'illuminazione di interni, dato dalla 2.1, risulta essere:

$$M_c = \frac{E_C}{E_H}$$

Sapendo che l'illuminamento cilindrico è dato dalla formula:

$$E_C = \frac{I_{OP}}{\pi} \frac{\sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2}$$

e l'illuminamento orizzontale è:

$$E_H = I_{OP} \frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$$

allora:

$$M_c = \frac{\tan \alpha}{\pi} \quad (3.10)$$

dove

$$0,3 \leq M_c \leq 0,6$$

L'intervallo di valori dell'indice di modellato può essere visto, risolvendo in funzione dell'angolo α l'espressione (3.10), anche come una limitazione nei confronti dei valori che tale angolo assume. Infatti otterremo:

$$\alpha = \tan^{-1}(M * \pi) \quad (3.11)$$

Imponendo che M_c sia pari ai valori sopracitati, si trova che α debba essere compreso tra il valore minimo di 43° e il valore massimo di 62° , come illustrato nel grafico sottostante, vedi fig. 3.9. Nella figura 3.10 si trova una rappresentazione generica dell'angolo α .

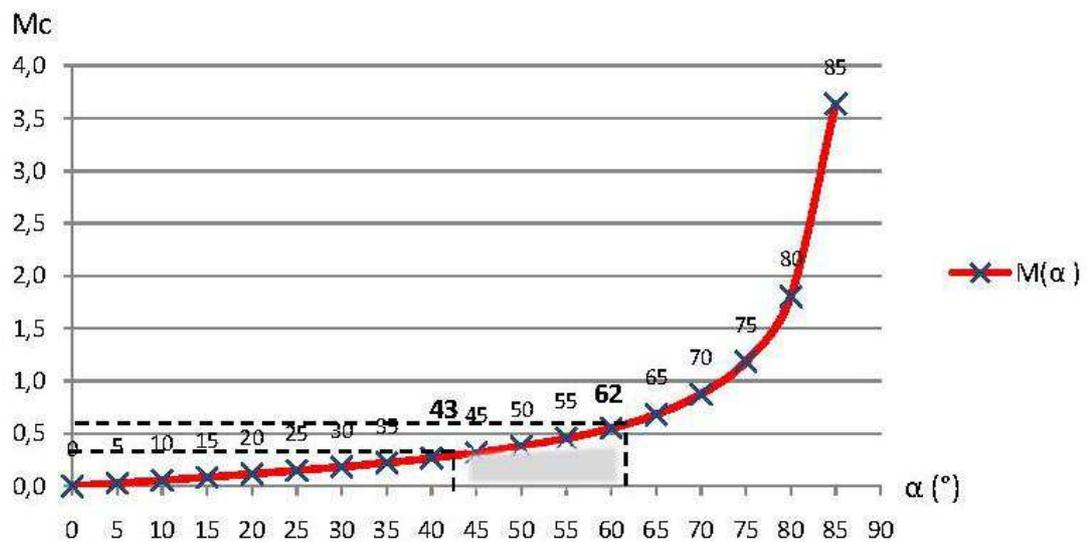


Figura 3.9-Andamento di M_c in funzione dell'angolo α

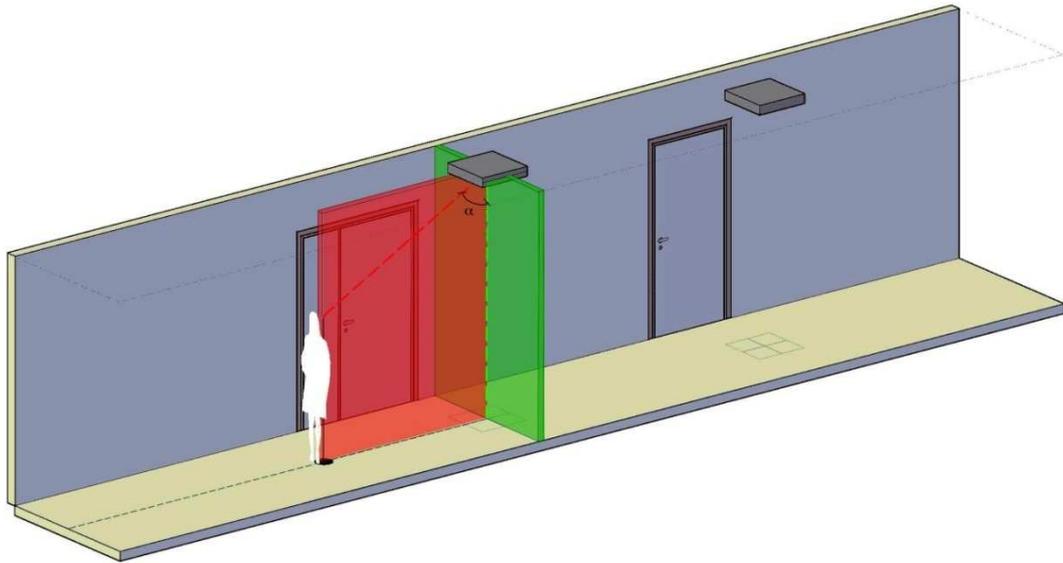


Figura 3.10-Rappresentazione generica angolo α

b) Illuminazione di esterni

L'indice di modellato nell'illuminazione di esterni, dato dalla 2.2, risulta essere:

$$M_{sc} = \frac{E_v}{E_{sc}}$$

Sapendo che l'illuminamento verticale è dato dalla formula:

$$E_v = \frac{I_{op}}{h^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha \cos \beta$$

e l'illuminamento semicilindrico è: $E_{sc} = \frac{1}{\pi} \frac{I_{op}}{h^2} (1 + \cos \beta) \sin \alpha \cos^2 \alpha$

allora:

$$M_{sc} = \frac{\pi \cos \beta}{1 + \cos \beta} \quad (3.12)$$

Da questa relazione, valida per una sola sorgente puntiforme, notiamo che l'indice di modellato dipende esclusivamente dall'angolo β , vale a dire l'angolo formato dal piano verticale passante per la normale alla superficie nel punto P e il piano verticale passante per la sorgente e la verticale al punto.

dove:

$$0,8 \leq M_{sc} \leq 1,3$$

Come per il caso di illuminazione di interni, l'intervallo di valori dell'indice di modellato può essere visto, risolvendo in funzione dell'angolo β l'espressione (3.12), anche come una limitazione nei confronti dei valori che tale angolo assume. Infatti otterremo:

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{M}{\pi - M} \right) \quad (3.13)$$

Imponendo che M_{sc} sia pari ai valori sopraccitati, si trova che β debba essere compreso tra il valore minimo di 45° e il valore massimo di 70° , come illustrato nel grafico sottostante, vedi grafico 3.11. Nella figura 3.12 si trova una rappresentazione generica dell'angolo β .

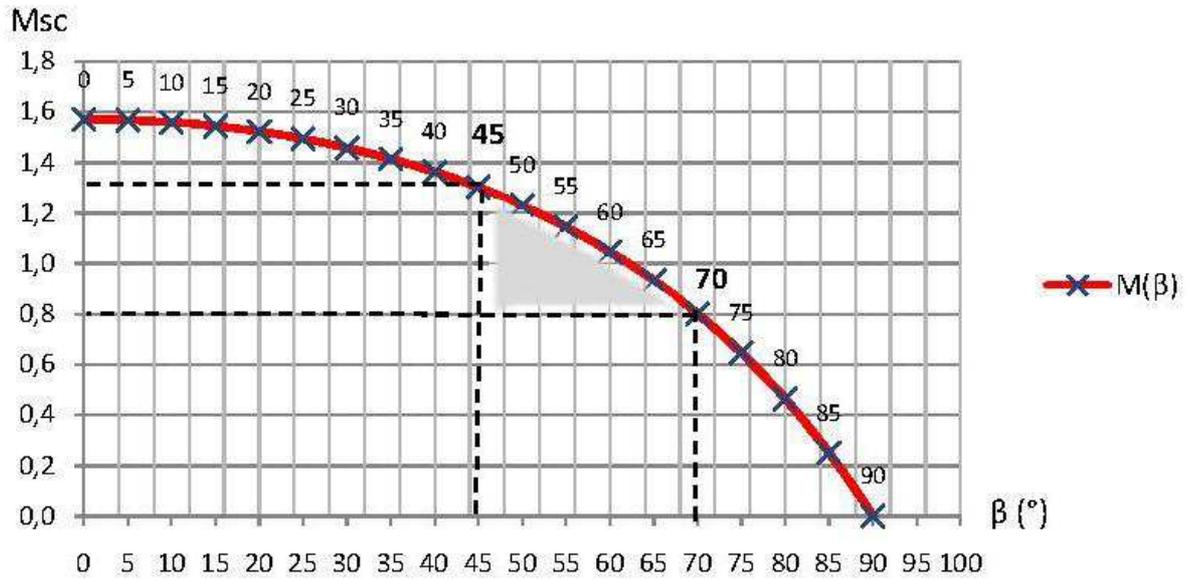


Figura 3.11-Andamento di M_{sc} in funzione dell'angolo β

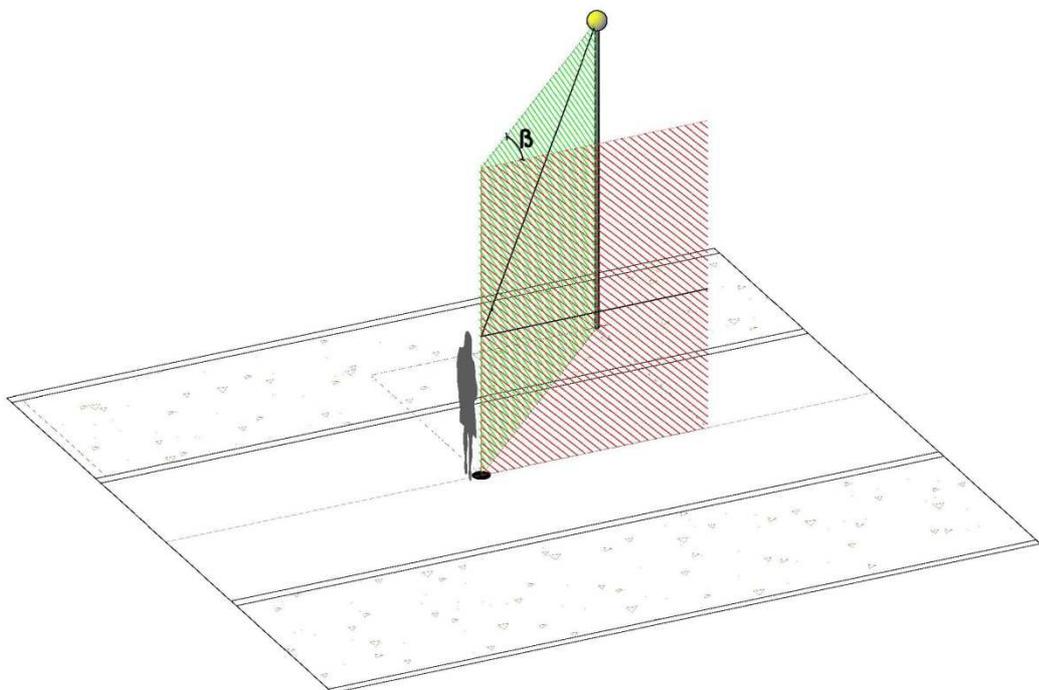


Figura 3.12-Rappresentazione generica angolo β

Si può notare come i valori limite degli indici di modellato sia per gli interni (0,3÷0,6) che per gli esterni (0,8÷1,3) non siano stati scelti casualmente, ma in maniera opportuna. Considerando il valore dell'angolo $\beta=0^\circ$, otterremmo il corrispondente valore $Msc= 1,57$ a cui corrisponde un fenomeno di abbagliamento dell'osservatore, si presume quindi che sia stato imposto cautelativamente un angolo minimo di 45° per evitare proprio questo fenomeno. A tale angolo corrisponde un indice di modellato pari a 1,3 (valore massimo espresso dalla CIE 136-2000).

Per quanto riguarda il limite inferiore di Msc pari a 0,8, è imposto un angolo di 70° corrispondente all'illuminazione minima del punto oltre il quale si verificano fenomeni d'illuminazione non corretta.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per l'indice di modellato cilindrico.

Da sottolineare che l'angolo 0° corrisponde ad una visione frontale del semicilindro (figura umana) e 90° corrisponde all'angolo oltre il quale l'oggetto, o la figura umana sarebbero illuminati dal retro creando fenomeni di silhouette.

Capitolo 4

CASI DI STUDIO

Nella seguente tesi sono stati presi in considerazione ed analizzati i due casi studio di seguito elencati:

- corridoio del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Pisa;
- percorsi pedonali Viale delle Piagge di Pisa.

4.1. Corridoio del Dipartimento della Facoltà di Ingegneria di Pisa.

Il primo caso di studio analizzato si occupa del rilevamento degli illuminamenti (orizzontale (E_o), verticale (E_v) e semicilindrico (E_{sc})), della verifica dell'indice di modellato (M) e del rilevamento della luminanza, in un ambiente interno, in particolare un corridoio, con sola illuminazione artificiale, con l'obiettivo di controllare la corretta illuminazione dell'ambiente.

Tale corridoio, oggetto di misurazioni, è situato al secondo piano dell'edificio del Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Pisa.

Per prima cosa è stato effettuato un rilievo architettonico del corridoio, che ci ha permesso di ricostruire la geometria dell'ambiente, avente una larghezza di 1,65 m per una lunghezza di 13,6 m. Si è proceduto così alla realizzazione di piante, prospetti e sezioni, come da Allegato C (TAV.1).

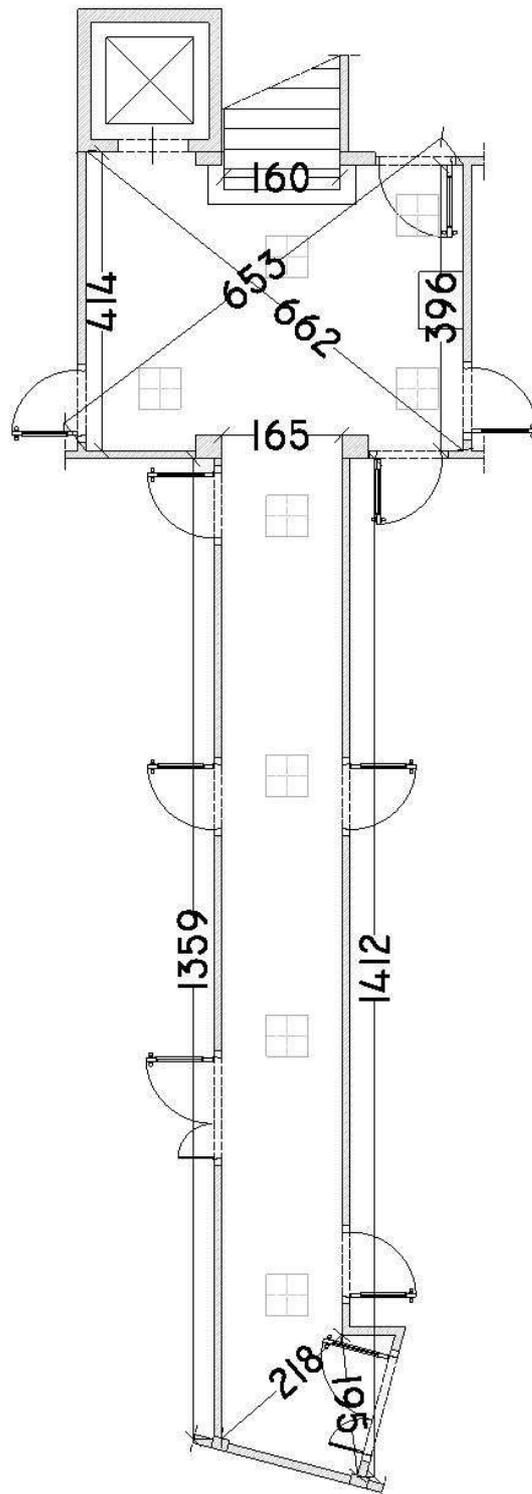


figura 4.1 Pianta corridoio Dipartimento Ingegneria

Nel corridoio sono presenti otto apparecchi di illuminazione, appartenenti alla tipologia da incasso della ditta Disano, linea *Comfort*, (Scheda tecnica Allegato B) formata da un doppio grigliato lamellare lucido con ottica speculare, disposti a circa 3,60 m di distanza l'uno dall'altro, per un totale di 5 apparecchi posizionati in asse con il corridoio ed altri 3 fuori asse.

Ciascun apparecchio contiene 4 lampade fluorescenti *Lumilux T8* della ditta Osram (Scheda tecnica Allegato B).

Infine sono stati precisati i materiali e i colori presenti nell'ambiente, con i rispettivi valori dei coefficienti di riflessione e della scabrosità:

- il corridoio presenta pareti intonacate di bianco, alle quali è stato assegnato un coefficiente di riflessione pari a **0,8** con scabrosità pari al **30%**;
- il soffitto è realizzato con pannelli anch'essi intonacati di bianco, ai quali è stato assegnato un coefficiente di riflessione pari a **0,76** con scabrosità pari al **50%**;
- il pavimento è costituito da piastrelle in gres grigie e bianche, alle quali è stato assegnato un coefficiente di riflessione pari a **0,5** e **assenza di scabrosità**;
- nel corridoio sono presenti porte in legno bianco e una porta antincendio, alle quali è stato assegnato un coefficiente di riflessione pari a **0,5** con scabrosità del **5%**.

I valori dei coefficienti di riflessione delle superfici sono stati valutati in conformità con i valori consigliati dalla norma UNI EN 12464-1.

Tabella 4.1- Valori consigliati per i coefficienti di riflessione delle superfici che delimitano un ambiente di lavoro

Tipo di superficie	Coefficiente di riflessione (r)	
	DA	A
Soffitto (<i>ceiling</i>)	0,7	0,9
Pareti verticali (<i>walls</i>)	0,5	0,8
Pavimento (<i>floor</i>)	0,2	0,4
Piano di lavoro (nella UNI EN 12464-1/2011 tale superficie è indicata come: " <i>major objects like furniture, machinery, etc</i> ")	0,2	0,7

Tabella 4.2-Coefficienti di riflessione (r) di vari colori e materiali edili

		Coefficiente di riflessione (r)	
COLORI	Bianco		0.75÷0.90
	Blu	scuro	0.10÷0.15
	Celeste		0.30÷0.55
	Giallo	chiaro	0.65÷0.75
		medio	0.55÷0.65
	Grigio	scuro	0.45÷0.55
		chiaro	0.45÷0.65
	Marrone	medio	0.25÷0.40
		scuro	0.10÷0.20
	Nero	scuro	0.10÷0.25
	Rosa		0.03÷0.05
	Rosso		0.45÷0.60
		chiaro	0.20÷0.30
	Verde	scuro	0.10÷0.20
molto chiaro		0.75	
chiaro		0.35÷0.55	
medio		0.25÷0.35	
Viola	scuro	0.12÷0.20	
MATERIALI	Arenaria	chiaro	0.10
		scuro	0.10
	Calcestruzzo	chiaro	0.30÷0.40
		scuro	0.15÷0.25
	Carta	bianca	0.80
		molto chiara	0.70
		chiaro	0.50÷0.60
		media	0.30÷0.50
	Cemento	scuro	0.10÷0.30
		chiaro	0.20÷0.30
	Gesso bianco		0.90÷0.92
	Granito	grigio chiaro	0.15÷0.20
	Intonaco comune	bianco recente	0.80
		molto chiaro	0.70
		chiaro	0.50÷0.60
		medio	0.30÷0.50
	Marmo	scuro	0.10÷0.30
		chiaro	0.40÷0.60
		chiari	0.30÷0.40
		scuri	0.10÷0.20
Pavimenti	chiari	0.40÷0.60	
	medi	0.30	
	scuri	0.20	
Vegetazione		0.25	
	(erba)	0.06÷0.10	
Vetro	specchiato	0.80÷0.99	
	riflettente	0.10÷0.50	
	chiaro	0.08	
	colorato	0.04÷0.07	
METALLI	Acciaio inox		0.55÷0.65
	Alluminio	anodizzato	0.75÷0.95
		lucidato	0.60÷0.70
	Argento		0.90
	Cromo		0.65
Nichel	satinato	0.50÷0.55	
LEGNAMI	Legno (generico)		0.63
		chiaro	0.35
	scuro	0.20	
	Acero		0.40
	Faggio		0.45
	Mogano		0.15
Noce		0.12÷0.20	
	chiaro	0.40	
	scuro	0.15÷0.20	

4.2. Modellazione scena ambiente interno

Parallelamente alle misurazioni sul campo, la scena è stata modellata con l'ausilio di un software di calcolo, fornito dall'azienda illuminotecnica Dialux, da cui prende anche il nome il software utilizzato (**Dialux 4.11**).

Di seguito è illustrata la pianta relativa al corridoio, con l'introduzione degli apparecchi di illuminazione della ditta Disano, estratta dal software (figura 4.3).

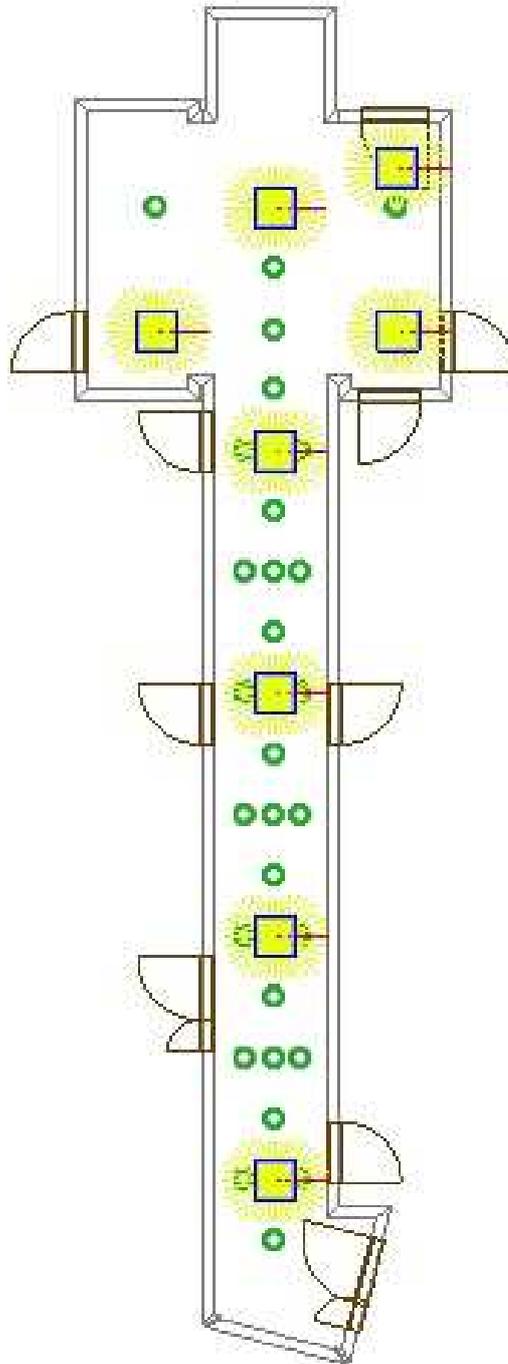


Figura 4.3 -Modellazione pianta_ Dialux 4.11

4.3. Percorso pedonale Viale delle Piagge, Pisa

Il secondo caso di studio analizzato si occupa del rilevamento degli illuminamenti (orizzontale (Eo), verticale (Ev) e semicilindrico (Esc)), della verifica dell'indice di modellato (M) e del rilevamento della luminanza, in un ambiente esterno.

In particolare il luogo oggetto dell'indagine illuminotecnica è situato nella città di Pisa, nel percorso pedonale del Viale delle Piagge, posto nella periferia orientale della città, lungo la sponda destra del fiume Arno, nei pressi dell'antica Porta a Piagge.

Le seguenti immagini illustrano l'area oggetto di misurazioni.

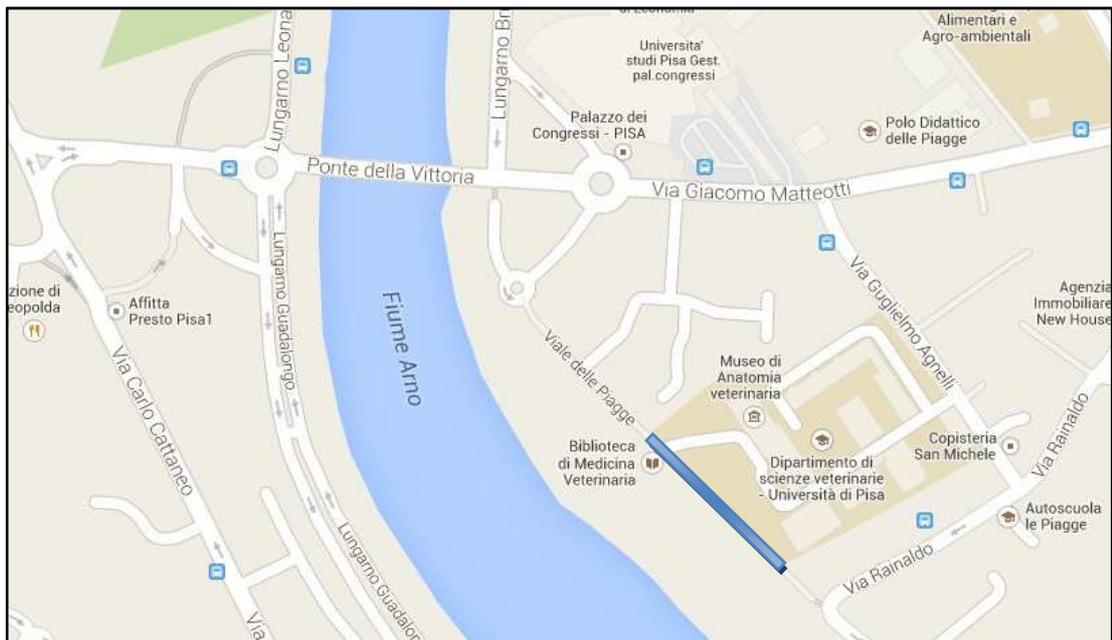


Figura 4.4 –Mappa Viale delle Piagge



Figura 4.5 –Vista satellitare Pisa, zona Piagge

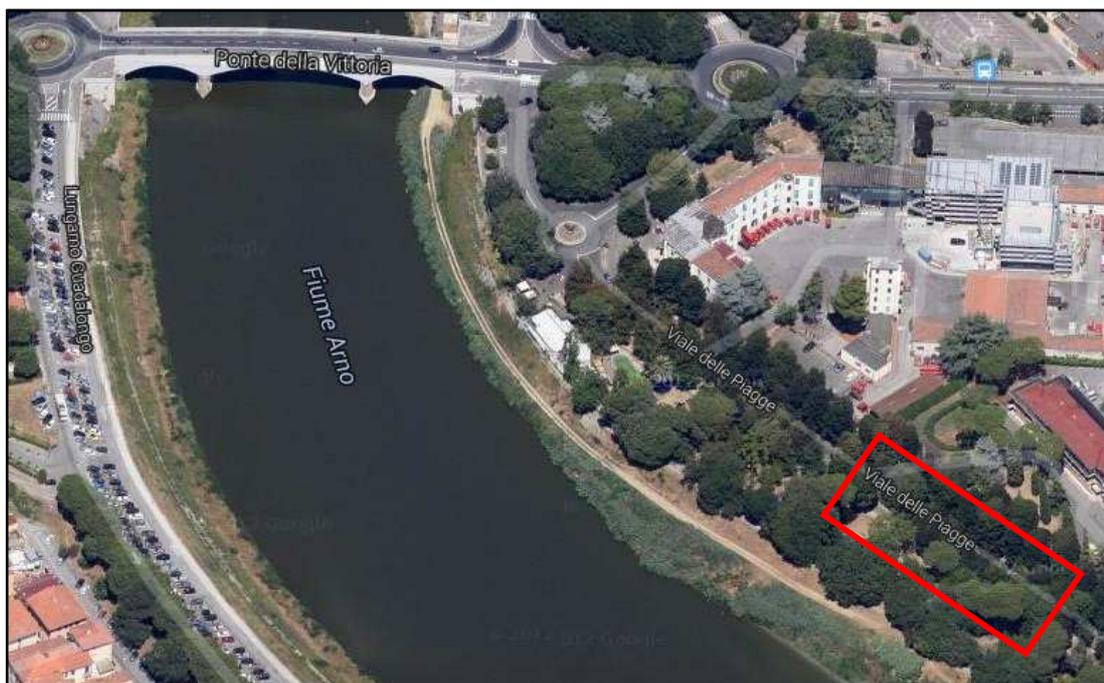


Figura 4.6 –Vista aerea Viale delle Piagge

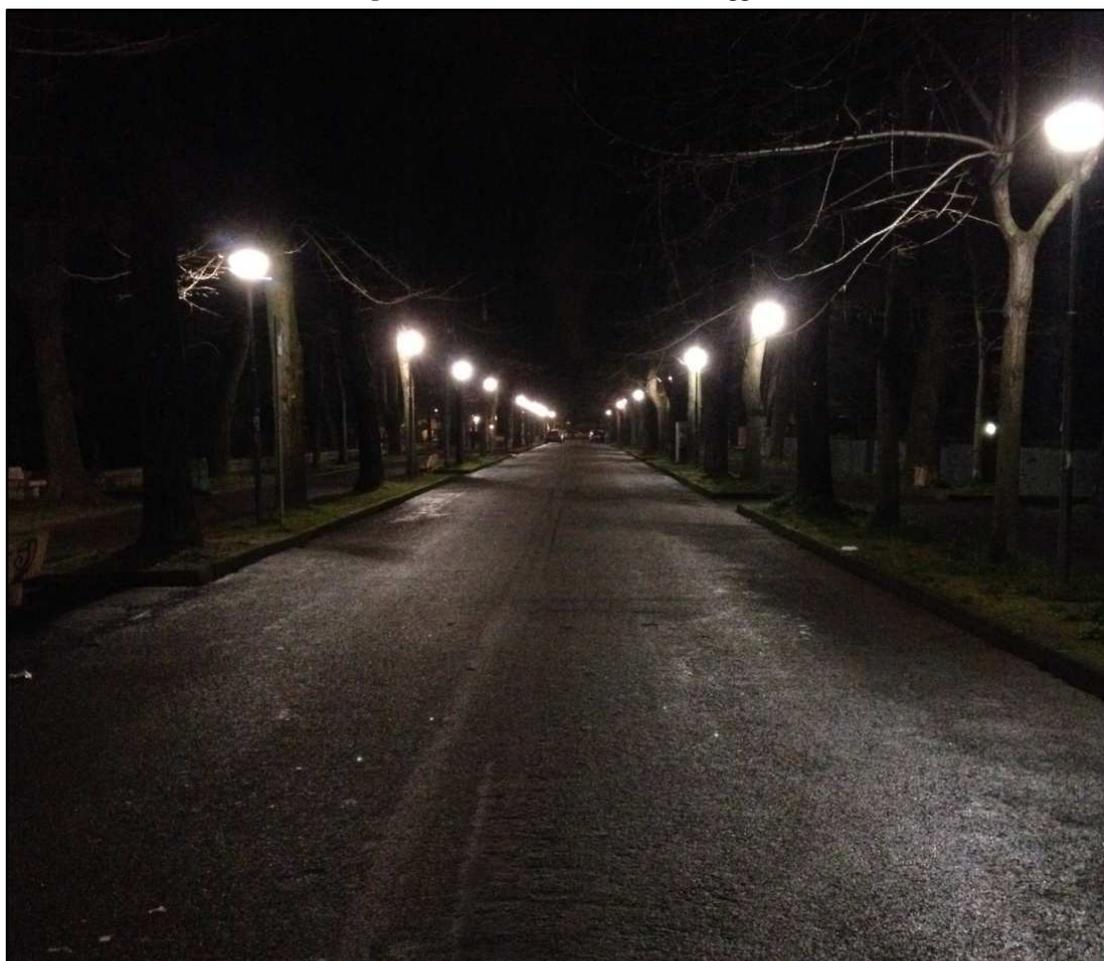


Figura 4.7 –Viale delle Piagge, condizioni notturne

Il percorso pedonale oggetto di studio, è stato analizzato in condizioni notturne con sola illuminazione artificiale, con l'obiettivo di controllare la corretta illuminazione dell'ambiente, v. fig. 4.7.

Per prima cosa è stato effettuato un rilievo geometrico del luogo in esame, riportando le dimensioni geometriche degli elementi concorrenti nella strada, come le dimensioni dei marciapiedi, delle aiuole e della carreggiata.

E' stato così possibile riportare graficamente la pianta e la sezione dell'area in esame (Allegato C-TAV.2)

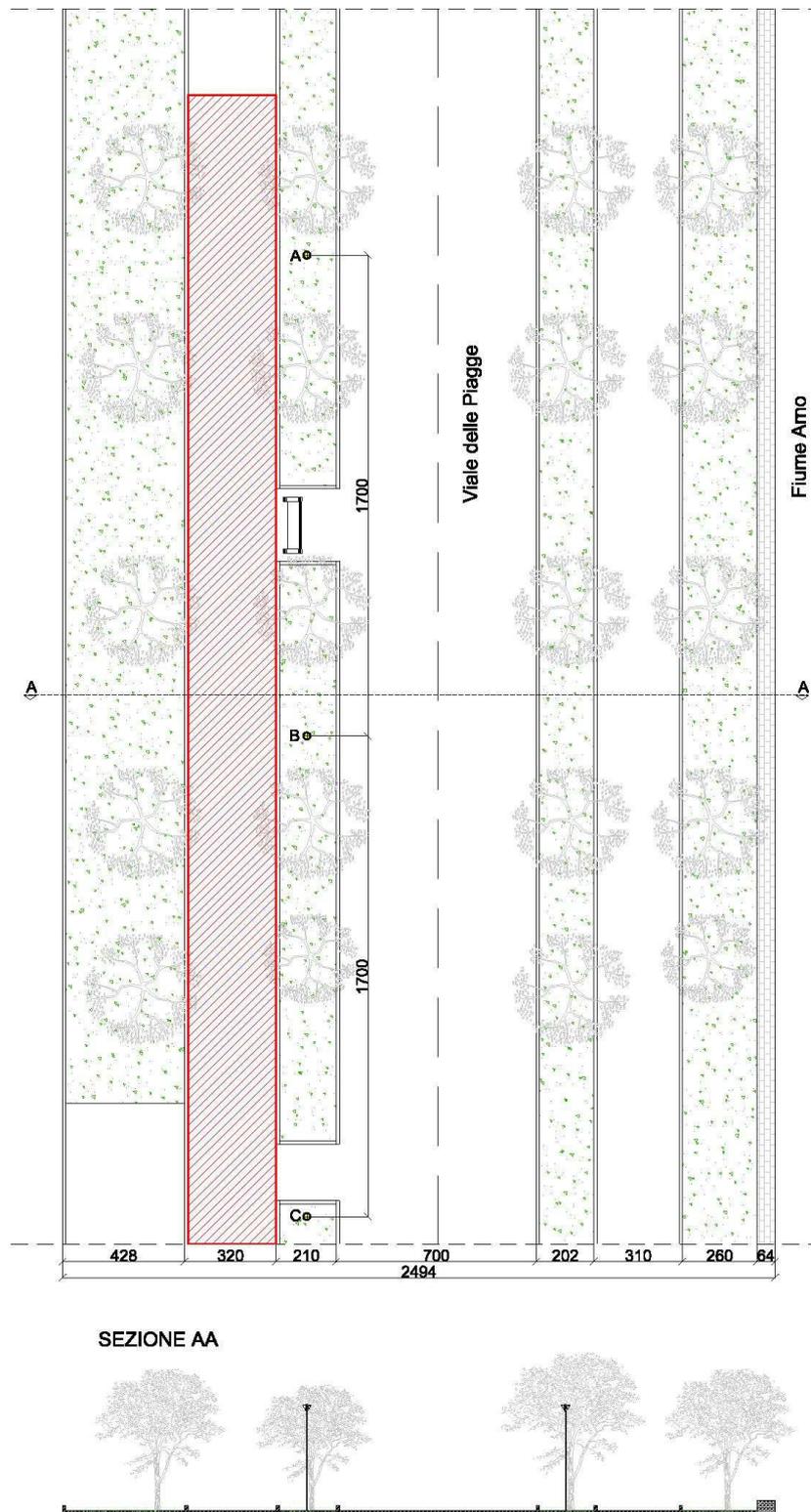


Figura 4.8 –Pianta e sezione area oggetto di studio

Per le misure sono state prese in considerazione due campate e precisamente tre lampioni data la similarità della zona, che si presenta per due chilometri e mezzo come un susseguirsi di lampioni posizionati alla medesima distanza, v. fig. 4.9.



Figura 4.9 –Viale delle Piagge, area oggetto di studio



Figura 4.10 –Lampada “Clima”

Gli apparecchi di illuminazione utilizzati appartengono alla ditta Disano, modello Clima, v. fig. 4.10, e sono costituiti da un corpo in alluminio pressofuso e policarbonato all'interno del quale è montata la lampada, risultando quindi protetta dall'ambiente esterno (scheda tecnica dell'apparecchio Allegato B).

4.4. Modellazione scena ambiente esterno

Parallelamente alle misurazioni sul campo, come per l'ambiente interno, la scena è stata modellata con l'ausilio del software di calcolo Dialux.

Di seguito è illustrata la pianta relativa all'area di studio, con l'introduzione degli apparecchi di illuminazione della ditta Disano, estratta dal software (figura 4.11).

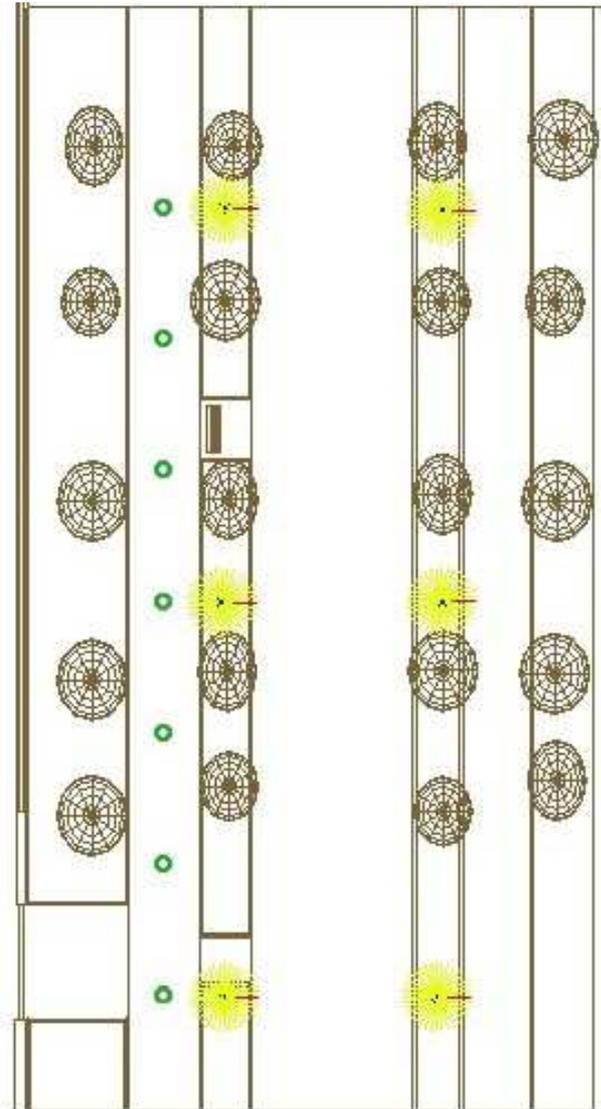


Figura 4.11 –Modellazione pianta con Dialux 4.11

Nelle seguenti immagini è rappresentata una visione tridimensionale del Viale delle Piagge.

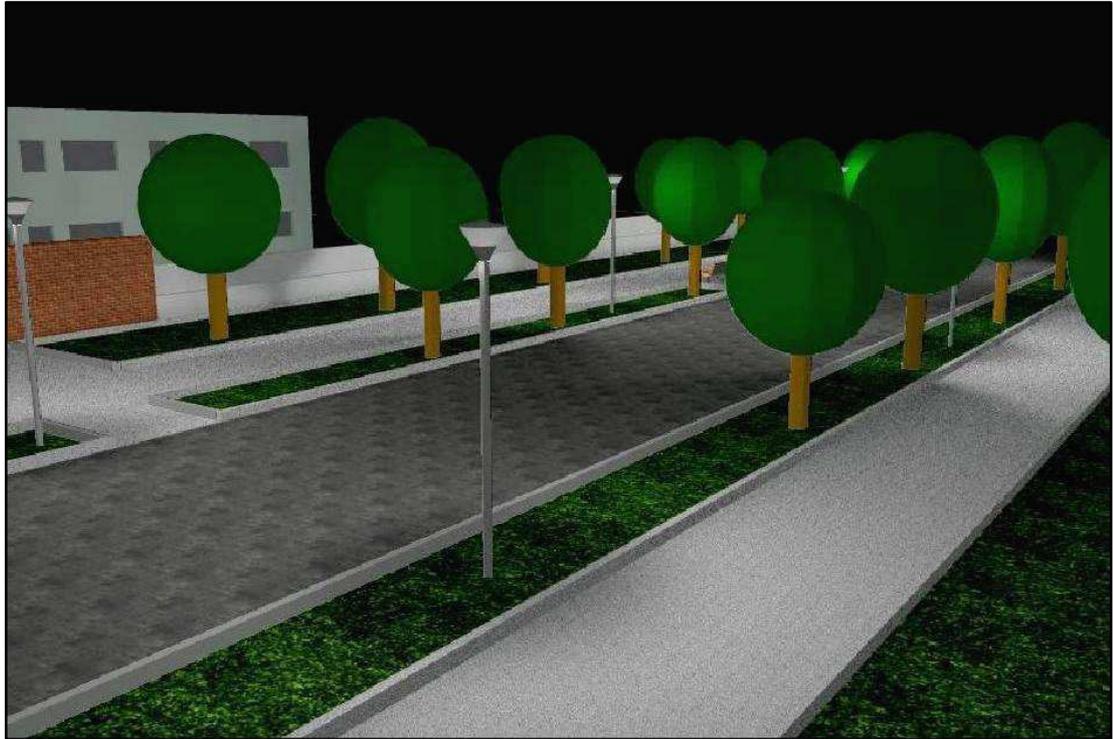


Figura 4.12 –Modellazione tridimensionale con Dialux 4.11



Figura 4.13 –Modellazione tridimensionale con Dialux 4.11

Capitolo 5

ANALISI DELL'ILLUMINAZIONE AMBIENTE INTERNO

Per la raccolta dei dati sono state realizzate 5 griglie di misura rispettivamente una per il pavimento, i cui punti sono indicati con la lettera "T", una per il soffitto, i cui punti sono indicati con la lettera "S" e 3 per le pareti verticali, i cui punti sono indicati con la lettera "P".

E' opportuno creare una griglia di misura regolare, preferibilmente a maglia quadrata o rettangolare.

Indicazioni sulle dimensioni della griglia (in particolare per il pavimento), in funzione della dimensione maggiore della superficie/piano di lavoro da analizzare, sono riportate nella Norma UNI EN 12464-1 del 2011 e riepilogate nella tabella seguente:

Tabella 5.1– Dimensioni della griglia di misura e numero minimo di punti di misura

Lenght of the area m	Maximum distance between grid points m	Minimum number of grid points
0,40	0,15	3
0,60	0,20	3
1,00	0,20	5
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

Gli apparecchi di illuminazione sono stati numerati con lettere, dalla A alla H.

I punti di misura sono stati presi con il seguente criterio:

- 1) Sul pavimento sono stati fissati 36 punti di misura (figura 5.1):
 - i punti T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T21, T23, T25, T27, T29, T31, T33, T35, sono stati presi in asse agli apparecchi (A, B, C, D, G), in corrispondenza del punto medio tra due apparecchi successivi (ad una distanza di 1,80 m), ad un quarto (distanza di 90 cm) e a tre quarti (di stanza di 2,70 m) della distanza tra due apparecchi consecutivi;

- i punti T2, T4, T6, T8, T10, T12, T14, T16, T18, T20, T22, T24, T26, T28, sono stati presi in corrispondenza dei punti in asse agli apparecchi, rispettivamente nella metà sinistra e destra di ciascun apparecchio;
- i punti T30, T32, sono stati presi in asse agli apparecchi (E, F);
- i punti T34, T36 sono stati presi sul punto di incontro tra l'asse orizzontale passante per il T35 e l'asse verticale passante per i punti T30 e T32.

2) Sul soffitto sono stati fissati 6 punti di misura (figura 5.2):

- i punti S1, S2, S3, S4, sono stati presi in corrispondenza del punto medio tra due apparecchi consecutivi, ad una distanza di 3,60 m l'un l'altro;
- i punti S5, S6, sono stati presi sull'asse del segmento congiungente gli apparecchi di illuminazione H ed F, rispettivamente nel punto di mezzo tra gli apparecchi E-G e G-H.

3) Sulle pareti verticali sono stati fissati 47 punti di misura (figura 5.3):

- i punti P1, P7, P13, P19, P23, P29, P35, P41, sono stati presi ad una distanza di 40 cm dal soffitto ed in corrispondenza degli apparecchi di illuminazione (A, B, C, D);
- i punti P4, P10, P16, P26, P32, P38, sono stati presi anch'essi ad una distanza di 40 cm dal soffitto ed in corrispondenza dei punti medi tra due apparecchi consecutivi;
- i punti P45, P46, P47, sono stati presi rispettivamente ad una distanza di 40 cm dal soffitto, ad un'altezza di 1,52 m da terra, ad una altezza di 70 cm da terra, sull'asse longitudinale degli apparecchi di illuminazione;
- i punti P2, P8, P14, P20, P22, P24, P30, P36, P42, sono stati presi ad una altezza di 1,52 m da terra ed in corrispondenza degli apparecchi di illuminazione (A, B, C, D, F);
- i punti P5, P11, P17, P27, P33, P39, P44, sono stati presi anch'essi ad una altezza di 1,52 m da terra ed in corrispondenza dei punti medi tra due apparecchi consecutivi;
- i punti P3, P9, P15, P21, P25, P31, P37, P43, sono stati presi ad una altezza di 70 cm da terra ed in corrispondenza degli apparecchi di illuminazione (A, B, C, D);
- i punti P6, P12, P18, P28, P34, P40 sono stati presi anch'essi ad una altezza di 70 cm da terra ed in corrispondenza dei punti medi tra due apparecchi consecutivi;



figura 5.1 Esempio punti di misura pavimento



figura 5.2-Esempio punti di misura soffitto



figura 5.3-Esempio punti di misura pareti verticali

Nell'Allegato D (TAV.3) sono riportati la pianta del corridoio, tre sezioni significative e la pianta del soffitto, raffiguranti i punti di misura.

Per effettuare le misurazioni sono state scelte 3 configurazioni luminose:

- 1) “**Configurazione 1**”, presenta tutti gli apparecchi di illuminazione accesi e a regime (A, B, C, D, E, F, G, H);



figura 5.4-Configurazione1

- 2) **“Configurazione 2”** presenta solo gli apparecchi A, C, E ed H in funzione e gli altri spenti ;



figura 5.5 -Configurazione2

- 3) **“Configurazione 3”** presenta solo gli apparecchi B, D, F e G in funzione e gli altri spenti;



figura 5.6 -Configurazione3

I parametri misurati ed analizzati sono stati i seguenti:

- Illuminamento orizzontale (E_o);
- Illuminamento verticale (E_v);
- Illuminamento semicilindrico (E_{sc});
- Illuminamento cilindrico (E_c);
- Luminanza (L).

5.1. Illuminamento orizzontale (E_o)

I valori di illuminamento orizzontale sono stati calcolati direttamente sul campo in tutti i punti di misura della griglia sopracitata, sia mediante il software di calcolo Dialux, calcolati in tutti i punti di misura situati sul pavimento.

Andiamo di seguito a specificare i metodi utilizzati per entrambe le misurazioni.

5.1.1. Misure

I valori degli illuminamenti orizzontali (E_o) sono stati effettuati mediante il *luxmetro*, strumento di misura le cui caratteristiche tecniche sono illustrate in Allegato A.

Le misurazioni sono state eseguite posizionando l'apparecchio (fig. 5.7) a circa 10 cm dal pavimento, con la sonda rivolta verso l'alto ed in corrispondenza di ciascun punto di misura individuato sulla griglia;



figura 5.7-Luxmetro e sonda per le misure di illuminamento orizzontale

a. Eo_Configurazione 1

Tabella 5.2 – Valori di illuminamento orizzontale, configurazione 1.

CONFIGURAZIONE 1					
ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE E_o (lx)					
PAVIMENTO		PARETI		SOFFITTO	
POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE
T1	303	P1	350	S1	126
T2	387	P2	493	S2	132
T3	383	P3	243	S3	137
T4	380	P4	144	S4	154
T5	366	P5	168	S5	150
T6	344	P6	198	S6	124
T7	346	P7	284		
T8	345	P8	460		
T9	404	P9	268		
T10	440	P10	151		
T11	439	P11	181		
T12	420	P12	183		
T13	388	P13	226		
T14	362	P14	486		
T15	358	P15	276		
T16	356	P16	157		
T17	397	P17	200		
T18	441	P18	216		
T19	433	P19	295		
T20	435	P20	536		
T21	391	P21	276		
T22	382	P22	501		
T23	373	P23	164		
T24	373	P24	467		
T25	429	P25	246		
T26	486	P26	148		
T27	467	P27	176		
T28	475	P28	190		
T29	619	P29	193		
T30	562	P30	467		
T31	596	P31	267		
T32	547	P32	152		
T33	580	P33	191		
T34	620	P34	211		
T35	536	P35	176		
T36	402	P36	478		
		P37	323		
		P38	162		
		P39	203		
		P40	227		
		P41	209		
		P42	500		
		P43	322		
		P44	347		
		P45	112		
		P46	127		
		P47	159		

Vedi Allegato D (TAV.4).

b. Eo_Configurazione 2

Tabella 5.3 – Valori di illuminamento orizzontale, configurazione 2

CONFIGURAZIONE 2					
<i>ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE E_o (lx)</i>					
PAVIMENTO		PARETI		SOFFITTO	
POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE
T1	283	P1	320	S1	80
T2	343	P2	454	S2	54
T3	341	P3	213	S3	69
T4	338	P4	79	S4	52
T5	281	P5	100	S5	73
T6	171	P6	107	S6	64
T7	171	P7	54		
T8	171	P8	53		
T9	103	P9	46		
T10	83	P10	78		
T11	83	P11	101		
T12	82	P12	117		
T13	103	P13	170		
T14	173	P14	425		
T15	172	P15	217		
T16	173	P16	73		
T17	285	P17	87		
T18	348	P18	96		
T19	338	P19	46		
T20	344	P20	46		
T21	268	P21	53		
T22	168	P22	48		
T23	165	P23	135		
T24	169	P24	434		
T25	98	P25	224		
T26	83	P26	80		
T27	69	P27	103		
T28	67	P28	114		
T29	166	P29	55		
T30	111	P30	50		
T31	211	P31	48		
T32	334	P32	73		
T33	218	P33	93		
T34	284	P34	107		
T35	212	P35	120		
T36	165	P36	396		
		P37	236		
		P38	73		
		P39	96		
		P40	106		
		P41	50		
		P42	44		
		P43	45		
		P44	289		
		P45	89		
		P46	107		
		P47	141		

Vedi Allegato D (TAV.5).

c. Eo_Configurazione 3

Tabella 5.4 – Valori di illuminamento orizzontale, configurazione 3

CONFIGURAZIONE 3					
ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE E_o (lx)					
PAVIMENTO		PARETI		SOFFITTO	
POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE	POSIZIONE	VALORE
T1	25	P1	34	S1	62
T2	45	P2	36	S2	66
T3	46	P3	35	S3	85
T4	44	P4	72	S4	94
T5	88	P5	98	S5	97
T6	178	P6	106	S6	65
T7	180	P7	200		
T8	178	P8	452		
T9	302	P9	232		
T10	358	P10	80		
T11	358	P11	99		
T12	337	P12	107		
T13	281	P13	58		
T14	181	P14	60		
T15	178	P15	44		
T16	177	P16	94		
T17	111	P17	134		
T18	86	P18	129		
T19	93	P19	248		
T20	92	P20	512		
T21	114	P21	253		
T22	200	P22	490		
T23	198	P23	31		
T24	203	P24	32		
T25	326	P25	32		
T26	394	P26	75		
T27	393	P27	97		
T28	407	P28	107		
T29	449	P29	140		
T30	448	P30	458		
T31	381	P31	249		
T32	209	P32	81		
T33	360	P33	106		
T34	328	P34	124		
T35	327	P35	59		
T36	242	P36	60		
		P37	46		
		P38	93		
		P39	125		
		P40	139		
		P41	159		
		P42	475		
		P43	282		
		P44	68		
		P45	24		
		P46	24		
		P47	22		

Vedi Allegato D (TAV.6).

5.1.2. Calcolo con software

Nel software di calcolo Dialux, successivamente alla modellazione della scena, sono stati introdotti 36 punti di calcolo in corrispondenza della griglia stabilita all'inizio delle misurazioni (figura 5.8), nei quali verrà calcolato l'illuminamento orizzontale.

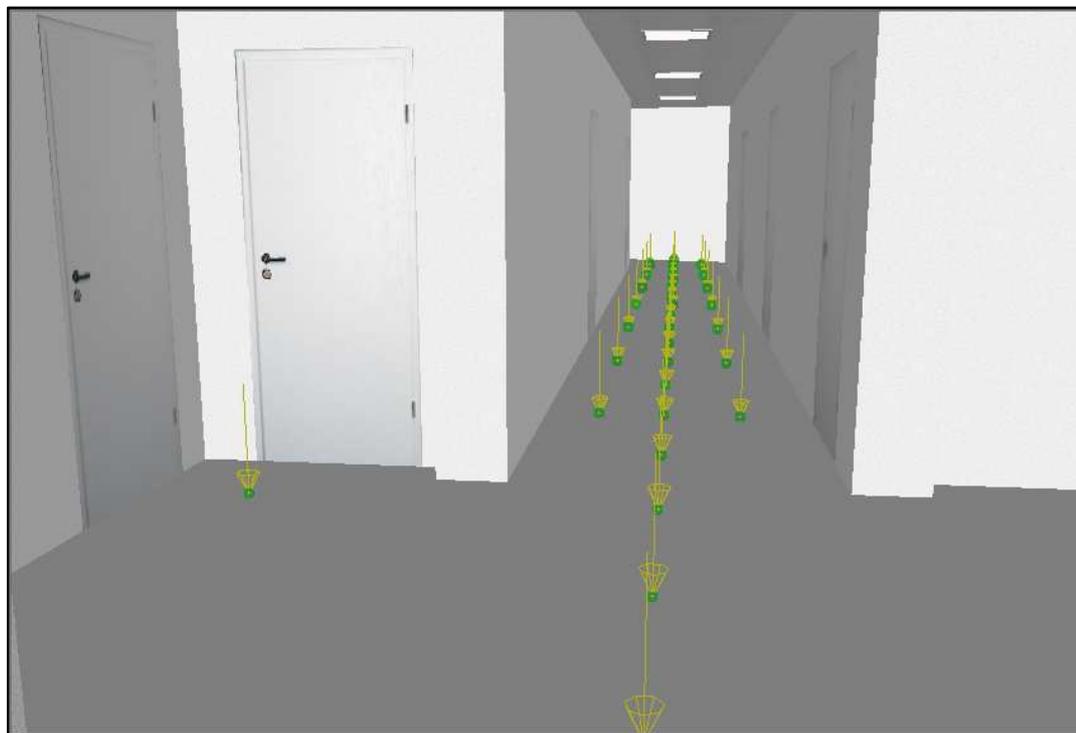


Figura 5.8 -Punti calcolo_ Software

Nella seguente tabella sono illustrati i valori di illuminamento orizzontale nelle tre configurazioni per i soli punti di misura sul pavimento, calcolati con il software, v.tab. 5.5.

Tabella 5.5 – Valori di illuminamento orizzontale, software di calcolo

	CONFIGURAZ. 1	CONFIGURAZ. 2	CONFIGURAZ. 3
Numero	E_0	E_0	E_0
T1	318	287	33
T2	378	326	53
T3	388	335	55
T4	387	334	56
T5	373	279	97
T6	347	184	166
T7	349	184	167
T8	344	181	166
T9	385	120	268
T10	431	104	331
T11	437	104	336
T12	433	104	332
T13	408	124	288
T14	367	181	189
T15	370	182	192
T16	370	182	191
T17	389	267	125
T18	408	309	103
T19	421	318	106
T20	414	313	104
T21	407	279	132
T22	378	185	197
T23	383	188	199
T24	383	188	199
T25	421	125	300
T26	469	111	362
T27	463	102	366
T28	448	94	358
T29	626	201	430
T30	543	151	397
T31	648	250	405
T32	493	330	169
T33	655	268	393
T34	638	312	332
T35	626	267	365
T36	435	202	238

5.1.3. Verifica dell'illuminamento medio mantenuto (E_m) e dell'uniformità media di illuminamento (U_0)

Effettuate le misurazioni, è stato verificato che il corridoio rispettasse i requisiti di normativa per una buona illuminazione; la normativa di riferimento è la **UNI EN 12464-1** (luglio 2011) *Luce e illuminazione- Illuminazione dei posti di lavoro- Parte 1: Posti di lavoro in interno.*

In particolare nel paragrafo 5.3: *Requisiti di illuminazione per interni*, nella tabella 4.6: *Zone di circolazione e spazi comuni all'interno degli edifici* (nel caso di studio, corridoi), vengono precisati i valori minimi di Illuminamento **medio mantenuto** (E_m), **Uniformità (media) di illuminamento** (U_0), i valori massimi dell'**Indice di abbagliamento** (UGR) e dell'**Indice di resa cromatica** (Ra).

Tabella 5.6 – Zone di circolazione e spazi comuni all'interno degli edifici

Ref. no.	Type of area, task or activity	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_0 -	R_a -	Specific requirements
5.1.1	Circulation areas and corridors	100	28	0,40	40	<ul style="list-style-type: none"> • Illuminance at floor level. • R_a and UGR similar to adjacent areas. • 150 lx if there are vehicles on the route. • The lighting of exits and entrances shall provide a transition zone to avoid sudden changes in illuminance between inside and outside by day or night. • Care should be taken to avoid glare to drivers and pedestrians.
5.1.2	Stairs, escalators, travelators	100	25	0,40	40	Requires enhanced contrast on the steps.
5.1.3	Elevators, lifts	100	25	0,40	40	Light level in front of the lift should be at least $\bar{E}_m = 200$ lx.
5.1.4	Loading ramps/bays	150	25	0,40	40	

Si verifica che siano rispettati i valori minimi di illuminamento medio mantenuto (E_m) e dell'uniformità media di illuminamento (U_0).

Nei *corridoi*, è richiesto da normativa:

- Illuminamento medio mantenuto, minimo: **$E_{min} = 100$ lux**
- Uniformità (media) di illuminamento minima: **$U_0 = 0,4$**

Nella tabella 5.7: *Valori di illuminamento medio e uniformità sulle superfici che delimitano l'ambiente di lavoro* e precisamente “*In ambienti nei quali le pareti ed il soffitto è necessario che risultino sufficientemente luminose (per esempio: uffici, scuole, ospedali, zone di ingresso, corridoi, scale, ...)*”, è richiesto da normativa che:

Pareti

- Illuminamento medio mantenuto, minimo: **E min= 75 lux**
- Uniformità (media) di illuminamento minima: **U₀= 0,1**

Soffitto

- Illuminamento medio mantenuto, minimo: **E min= 50 lux**
- Uniformità (media) di illuminamento minima: **U₀= 0,1**

Tabella 5.7 – Valori di illuminamento medio e uniformità sulle superfici che delimitano l'ambiente di lavoro.

Tipi di ambiente	Grandezza	Pareti	Soffitto
In tutti gli ambienti interni	Illuminamento medio E _m (lx)	>50	>30
	Uniformità di illuminamento U ₀	≥10	≥10
In ambienti nei quali le pareti ed il soffitto è necessario che risultino sufficientemente luminose (per esempio: uffici, scuole, ospedali, zone do ingresso, corridoi, scale, ...)	Illuminamento medio E _m (lx)	>75	>50
	Uniformità di illuminamento U ₀	≥10	≥10
In ambienti nei quali le dimensioni, la complessità delle attività che vi si svolgono e particolari condizioni nello svolgimento dell'attività lavorativa non permettono di raggiungere nella pratica i livelli di illuminazione richiesti (per esempio: aree di stoccaggio materiali, industria siderurgica, stazioni ferroviarie, ...).	Risultano accettabili livelli di illuminamento ed uniformità ridotti rispetto ai precedenti		

Di seguito si riportano i valori di illuminamento medio mantenuto e di uniformità di illuminamento minima, per le tre configurazioni, sia per le misure prese sul campo che per i valori ottenuti dal software di calcolo.

I due parametri vengono calcolati come sotto precisato e sono da confrontare con i valori di normativa:

$$E_m = \text{media aritmetica}$$

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_m}$$

a. Misure/ Software_Configurazione 1

Risultati relativi alle misure sul campo, v. tab. 5.8.

Tabella 5.8– Valori di illuminamento medio e uniformità minima.

CONFIGURAZIONE 1					
PAVIMENTO					
$E_m(lx)$	432	≥	100	lx	VERIFICATO
$E_{min}(lx)$	303				
U_0	0,70	≥	0,4		VERIFICATO
PARETI					
$E_m(lx)$	266	≥	100	lx	VERIFICATO
$E_{min}(lx)$	112				
U_0	0,42	≥	0,4		VERIFICATO
SOFFITTO					
$E_m(lx)$	137	≥	100	lx	VERIFICATO
$E_{min}(lx)$	124				
U_0	0,90	≥	0,4		VERIFICATO

Risultati relativi alle misure del solo pavimento, ottenute con il software, v. tab. 5.9.

Tabella 5.9 – Valori di illuminamento medio e uniformità minima, software

CONFIGURAZIONE 1					
PAVIMENTO					
$E_m(lx)$	437	≥	100	lx	VERIFICATO
$E_{min}(lx)$	318				
U_0	0,73	≥	0,4		VERIFICATO

b. Misure/ Software_Configurazione 2

Risultati relativi alle misure sul campo, v. fig. 5.10.

Tabella 5.10– Valori di illuminamento medio e uniformità minima.

CONFIGURAZIONE 2					
PAVIMENTO					
E_m (lx)	199	≥	100	lx	VERIFICATO
E_{min} (lx)	67				
U_0	0,34	≥	0,4		NON VERIFICATO
PARETI					
E_m (lx)	134	≥	100	lx	VERIFICATO
E_{min} (lx)	44				
U_0	0,33	≥	0,4		NON VERIFICATO
SOFFITTO					
E_m (lx)	65	≥	100	lx	NON VERIFICATO
E_{min} (lx)	52				
U_0	0,80	≥	0,4		VERIFICATO

Risultati relativi alle misure del solo pavimento, ottenute con il software, v. fig. 5.11.

Tabella 5.11 – Valori di illuminamento medio e uniformità minima, software

CONFIGURAZIONE 2					
PAVIMENTO					
E_m (lx)	213	≥	100	lx	VERIFICATO
E_{min} (lx)	94				
U_0	0,44	≥	0,4		VERIFICATO

c. Misure/ Software_Configurazione 3

Risultati relativi alle misure sul campo, v. fig. 5.12.

Tabella 5.12– Valori di illuminamento medio e uniformità minima.

CONFIGURAZIONE 3					
PAVIMENTO					
$E_m (lx)$	231	\geq	100	lx	VERIFICATO
$E_{min} (lx)$	25				
U_0	0,11	\geq	0,4		NON VERIFICATO
PARETI					
$E_m (lx)$	142	\geq	100	lx	VERIFICATO
$E_{min} (lx)$	22				
U_0	0,15	\geq	0,4		NON VERIFICATO
SOFFITTO					
$E_m (lx)$	78	\geq	100	lx	NON VERIFICATO
$E_{min} (lx)$	62				
U_0	0,79	\geq	0,4		VERIFICATO

Risultati relativi alle misure del solo pavimento, ottenute con il software, v. fig. 5.13.

Tabella 5.13 – Valori di illuminamento medio e uniformità minima, software

CONFIGURAZIONE 3					
PAVIMENTO					
$E_m (lx)$	228	\geq	100	lx	VERIFICATO
$E_{min} (lx)$	33				
U_0	0,14	\leq	0,4		NON VERIFICATO

5.1.1. Confronto misure/ software

Nella tabella seguente è illustrata la differenza in percentuale tra il valore MISURATO (in sito) e il valore CALCOLATO con il software per l'illuminamento orizzontale nella configurazione 1, v. tab. 5.14.

Tabella 5.14 – Confronto misure-calcoli illuminamento orizzontale

CONFRONTO MISURE-CALCOLI			
ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE (E_o) lux			
CONFIGURAZIONE 1-PAVIMENTO			
POSIZIONE	E_o MISURATO	E_o CALCOLATO(DIALUX)	DIFFERENZA PERCENTUALE
T1	303	318	4,95%
T2	387	378	-2,33%
T3	383	388	1,31%
T4	380	387	1,84%
T5	366	373	1,91%
T6	344	347	0,87%
T7	346	349	0,87%
T8	345	344	-0,29%
T9	404	385	-4,70%
T10	440	431	-2,05%
T11	439	437	-0,46%
T12	420	433	3,10%
T13	388	408	5,15%
T14	362	367	1,38%
T15	358	370	3,35%
T16	356	370	3,93%
T17	397	389	-2,02%
T18	441	408	-7,48%
T19	433	421	-2,77%
T20	435	414	-4,83%
T21	391	407	4,09%
T22	382	378	-1,05%
T23	373	383	2,68%
T24	373	383	2,68%
T25	429	421	-1,86%
T26	486	469	-3,50%
T27	467	463	-0,86%
T28	475	448	-5,68%
T29	619	626	1,13%
T30	562	543	-3,38%
T31	596	648	8,72%
T32	547	493	-9,87%
T33	580	655	12,93%
T34	620	638	2,90%
T35	536	626	16,79%
T36	402	435	8,21%

Analizzando i risultati delle verifiche ottenute per i due casi, è possibile riscontrare in entrambe le situazioni che nella **configurazione 1**, con gli apparecchi di illuminazione tutti in funzione, sia il valore dell'*illuminamento medio mantenuto* che dell'*uniformità media*, risultano verificati e quindi superiori ai minimi indicati dalla normativa.

Questo indica che il corridoio è ben progettato per l'illuminazione e che gli apparecchi forniscono l'illuminamento richiesto.

Nelle **configurazioni 2 e 3**, in cui non tutte le lampade sono in funzione, l'*illuminamento medio*, risulta verificato in entrambi i casi per il pavimento e per le pareti, ma non per il soffitto, mentre l'*uniformità media* risulta verificata solo per il soffitto, per i valori misurati ed anche per il pavimento, nella configurazione 2 ottenuta dai valori del software.

Questa non uniformità dell'illuminazione era prevedibile, visto l'alternarsi di lampade accese e spente.

5.2. Illuminamento verticale (Ev), illuminamento semicilindrico (Esc)

I valori di illuminamento verticale (Ev) e di illuminamento semicilindrico (Esc) sono stati calcolati in corrispondenza di tutti i punti di misura presenti sull'asse longitudinale degli apparecchi di illuminazione; le misurazioni sono state effettuate inizialmente procedendo dal punto T1 al T35 (“*ANDATA*”) e successivamente in senso opposto (“*RITORNO*”).

5.2.1. Misure

- Illuminamento verticale: le misurazioni sono state eseguite posizionando l'apparecchio, (fig.5.7, vedi par. 5.1.1) a circa 1,60 m dal piano di calpestio in corrispondenza dei punti sopramenzionati;
- Illuminamento semicilindrico: le misurazioni sono state eseguite utilizzando l'apposita strumentazione, vedi Allegato A (fig.5.9-5.10), con sonda rilevatrice posizionata su un'asta verticale a quota 1,60 m; sono stati rilevati i valori di illuminamento procedendo dal punto T1 al T35 e successivamente in senso opposto.



figura 5.9-Sonda per illuminamento semicilindrico



figura 5.10-Sonda posizionata su asta verticale

a. Ev, Esc_Configurazione 1

Tabella 5.14- Valori di illuminamento verticale e semicilindrico, conf. 1

CONFIGURAZIONE 1				
POSIZIONE	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)	
n°	andata	ritorno	andata	ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	373	123	371	143
T3	200	209	246	260
T5	165	458	184	372
T7	262	229	225	210
T9	502	150	418	180
T11	220	250	262	283
T13	167	463	187	379
T15	250	248	223	225
T17	460	172	383	194
T19	213	220	253	269
T21	180	470	201	385
T23	287	237	254	222
T25	534	177	434	211
T27	210	254	258	306
T29	160	504	193	416
T31	220	262	210	242
T33	423	200	332	205
T35	144	205	170	230



Figura 5.11-Conf.1 misurazione Esc, "andata"



Figura 5.12-Conf.1 misurazione Esc, "ritorno"

b. Ev, Esc_Configurazione 2

Tabella 5.15– Valori di illuminamento verticale e semicilindrico,conf.2.

CONFIGURAZIONE 2				
POSIZIONE	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)	
n°	andata	ritorno	andata	ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	339	95	337	118
T3	129	198	193	231
T5	71	450	108	347
T7	54	202	65	164
T9	57	99	57	87
T11	70	73	65	66
T13	97	59	87	60
T15	188	58	155	69
T17	415	73	322	104
T19	146	175	179	212
T21	64	407	101	324
T23	49	179	61	148
T25	47	94	49	82
T27	59	67	54	60
T29	75	53	75	59
T31	73	66	80	74
T33	77	83	82	85
T35	63	77	77	85



Figura 5.13-Conf.2 misurazione Esc, “andata”



Figura 5.14-Conf.2 misurazione Esc, “ritorno”

c. Ev, Esc_Configurazione 3

Tabella 5.16– Valori di illuminamento verticale e semicilindrico, conf.3

CONFIGURAZIONE 3				
POSIZIONE	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)	
n°	andata	ritorno	andata	ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	45	16	36	17
T3	64	16	52	19
T5	96	20	80	26
T7	210	30	165	47
T9	488	53	365	94
T11	155	165	201	228
T13	71	395	104	321
T15	59	188	70	156
T17	62	99	60	86
T19	85	70	73	64
T21	120	57	105	61
T23	253	60	203	77
T25	476	84	391	130
T27	160	213	212	245
T29	89	455	122	356
T31	148	199	136	174
T33	365	123	253	118
T35	103	148	110	148



Figura 5.15-Conf.3 misurazione Esc, “andata”



Figura 5.16-Conf.3 misurazione Esc, “ritorno”

5.2.2. Calcolo con software

Per il calcolo degli illuminamenti, sono state create 18 superfici di calcolo di dimensioni 0,50 x 1,60 m (figura 5.17-5.18), in corrispondenza dei punti: T1, T3, T5, T7, T9, T11, T13, T15, T17, T19, T21, T23, T25, T27, T29, T31, T33, T35.

Tramite il software sono stati calcolati oltre ai valori dell'illuminamento verticale e semicilindrico, per il calcolo dell'indice di modellato M_{sc} , anche l'illuminamento orizzontale e cilindrico, al fine di calcolare l'indice di modellato cilindrico M_c , nell'illuminazione di interni, ad 1,60 m di altezza dal piano di calpestio, prima dal punto T1 al T35 ("ANDATA") e successivamente nel verso opposto ("RITORNO").



Figura 5.17-Superficie di calcolo di 0,50x1,60 m

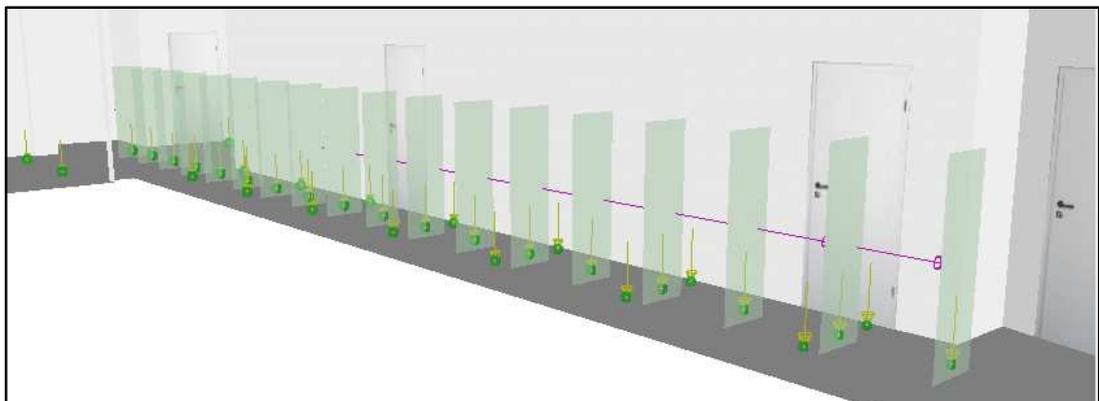


Figura 5.18- 18 superfici di calcolo

a. Ev, Esc, Eo, Ec_Configurazione 1, software

Tabella 5.17- Valori di illuminamento verticale, semicilindrico, orizzontale, cilindrico, conf.1

CONFIGURAZIONE 1 (h=1,60 m)						
Superfici di calcolo	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)		E orizzontale (lux)	E cilindrico (lux)
	andata	ritorno	andata	ritorno	andata/ritorno	andata/ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)		
S1	450	140	344	148	501	248
S3	239	219	252	246	1062	244
S5	197	444	195	353	521	276
S7	275	264	232	234	269	233
S9	479	179	370	187	532	278
S11	270	249	294	286	1095	283
S13	208	490	217	403	546	309
S15	280	296	245	262	286	256
S17	451	207	348	208	522	280
S19	271	243	273	254	1081	263
S21	221	474	226	389	548	307
S23	305	294	266	266	296	267
S25	491	213	402	227	561	315
S27	290	287	302	311	1105	303
S29	280	505	288	431	621	361
S31	316	340	319	345	414	335
S33	483	292	396	293	613	345
S35	270	312	276	319	1129	294

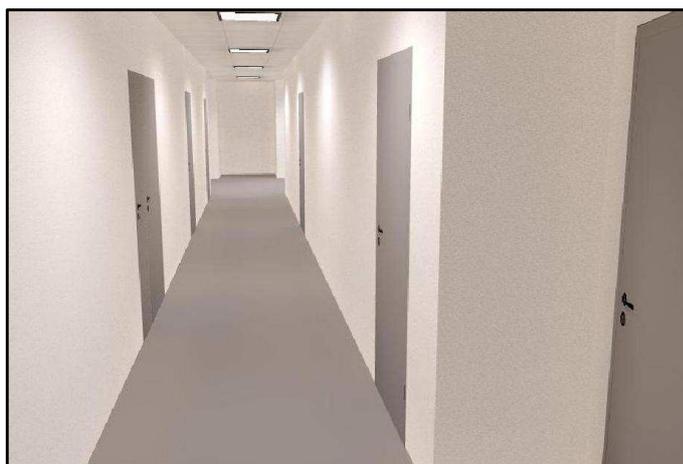


Figura 5.19- Configurazione 1 ANDATA



Figura 5.20- Configurazione 1 RITORNO

b. Ev, Esc, Eo, Ec_Configurazione 2, software

Tabella 5.18– Valori di illuminamento verticale, semicilindrico, orizzontale, cilindrico, conf.2

CONFIGURAZIONE 2 (h=1,60 m)						
Superfici di calcolo	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)		E orizzontale (lux)	E cilindrico (lux)
	andata	ritorno	andata	ritorno	andata/ritorno	andata/ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)		
S1	415	122	320	132	470	223
S3	167	202	205	227	1023	211
S5	91	425	120	333	466	222
S7	64	216	77	180	138	128
S9	65	111	64	94	72	79
S11	77	82	71	75	69	73
S13	98	73	90	73	77	81
S15	191	76	163	83	140	123
S17	377	95	295	113	454	200
S19	193	169	209	192	1017	197
S21	95	411	128	330	469	225
S23	72	212	84	179	141	132
S25	70	112	71	99	77	84
S27	86	87	78	79	73	79
S29	122	76	114	84	103	100
S31	114	89	129	112	135	121
S33	121	117	128	126	138	128
S35	115	115	131	133	148	132



Figura 5.21- Configurazione 2 ANDATA



Figura 5.22- Configurazione 2 RITORNO

c. Ev, Esc, Eo, Ec_Configurazione 3, software

Tabella 5.19– Valori di illuminamento verticale, semicilindrico, orizzontale, cilindrico, conf.3

CONFIGURAZIONE 3 (h=1,60 m)						
Superfici di calcolo	E verticale (lux)		E semicilindrico (lux)		E orizzontale (lux)	E cilindrico (lux)
	andata	ritorno	andata	ritorno	andata/ritorno	andata/ritorno
	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)	(da 1 a 35)	(da 35 a 1)		
S1	45	21	37	21	28	28
S3	63	22	52	25	37	38
S5	93	27	78	34	55	56
S7	191	44	158	57	129	108
S9	429	70	331	97	468	210
S11	203	172	240	219	1035	225
S13	98	425	135	343	474	236
S15	72	216	84	183	143	134
S17	67	114	67	98	75	83
S19	88	80	76	71	71	74
S21	116	71	103	73	86	88
S23	220	79	187	90	156	139
S25	440	104	352	135	489	240
S27	220	206	250	240	1053	241
S29	149	438	175	363	518	266
S31	183	247	193	237	270	216
S33	359	178	284	171	483	223
S35	151	203	159	193	985	172



Figura 5.23- Configurazione 3 ANDATA



Figura 5.24- Configurazione 3 RITORNO

5.2.3. Verifica dell'indice di modellato semicilindrico (Msc)

L'indice di modellato semicilindrico, parametro di fondamentale importanza per il comfort illuminotecnico sia di interni che di esterni, è stato calcolato per le tre configurazioni successivamente alle misurazioni degli illuminamenti, in conformità con quanto scritto nel par. 3.6.

Si considerano verificati tutti i valori compresi in uno scostamento del 5%.

a. Msc_Configurazione 1

I seguenti valori derivano dalle misurazioni sul campo, v. tab. 5.20.

Tabella 5.20– Indice di modellato Msc, conf.1

CONFIGURAZIONE 1				
POSIZIONE	Indice di modellato Msc			
n°	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	1,01	VERIFICATO	0,86	VERIFICATO
T3	0,81	VERIFICATO	0,80	VERIFICATO
T5	0,90	VERIFICATO	1,23	VERIFICATO
T7	1,16	VERIFICATO	1,09	VERIFICATO
T9	1,20	VERIFICATO	0,83	VERIFICATO
T11	0,84	VERIFICATO	0,88	VERIFICATO
T13	0,89	VERIFICATO	1,22	VERIFICATO
T15	1,12	VERIFICATO	1,10	VERIFICATO
T17	1,20	VERIFICATO	0,89	VERIFICATO
T19	0,84	VERIFICATO	0,82	VERIFICATO
T21	0,90	VERIFICATO	1,22	VERIFICATO
T23	1,13	VERIFICATO	1,07	VERIFICATO
T25	1,23	VERIFICATO	0,84	VERIFICATO
T27	0,81	VERIFICATO	0,83	VERIFICATO
T29	0,83	VERIFICATO	1,21	VERIFICATO
T31	1,05	VERIFICATO	1,08	VERIFICATO
T33	1,27	VERIFICATO	0,98	VERIFICATO
T35	0,85	VERIFICATO	0,89	VERIFICATO

I seguenti valori derivano dal software, v. tab. 5.21.

Tabella 5.21– Indice di modellato Msc, software, conf.1

CONFIGURAZIONE 1 (h=1,60 m)				
Superfici di calcolo	M_{sc}			
	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
S1	1,31	VERIFICATO	0,95	VERIFICATO
S3	0,95	VERIFICATO	0,89	VERIFICATO
S5	1,01	VERIFICATO	1,26	VERIFICATO
S7	1,19	VERIFICATO	1,13	VERIFICATO
S9	1,29	VERIFICATO	0,96	VERIFICATO
S11	0,92	VERIFICATO	0,87	VERIFICATO
S13	0,96	VERIFICATO	1,22	VERIFICATO
S15	1,14	VERIFICATO	1,13	VERIFICATO
S17	1,30	VERIFICATO	1,00	VERIFICATO
S19	0,99	VERIFICATO	0,96	VERIFICATO
S21	0,98	VERIFICATO	1,22	VERIFICATO
S23	1,15	VERIFICATO	1,11	VERIFICATO
S25	1,22	VERIFICATO	0,94	VERIFICATO
S27	0,96	VERIFICATO	0,92	VERIFICATO
S29	0,97	VERIFICATO	1,17	VERIFICATO
S31	0,99	VERIFICATO	0,99	VERIFICATO
S33	1,22	VERIFICATO	1,00	VERIFICATO
S35	0,98	VERIFICATO	0,98	VERIFICATO

b. Msc_Configurazione 2

I seguenti valori derivano dalle misurazioni sul campo, v. tab. 5.22.

Tabella 5.22– Indice di modellato Msc, conf.2

CONFIGURAZIONE 2				
POSIZIONE	Indice di modellato Msc			
n°	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	1,01	VERIFICATO	0,81	VERIFICATO
T3	0,67	NON VERIFICATO	0,86	VERIFICATO
T5	0,66	NON VERIFICATO	1,30	VERIFICATO
T7	0,83	VERIFICATO	1,23	VERIFICATO
T9	1,00	VERIFICATO	1,14	VERIFICATO
T11	1,08	VERIFICATO	1,11	VERIFICATO
T13	1,11	VERIFICATO	0,98	VERIFICATO
T15	1,21	VERIFICATO	0,84	VERIFICATO
T17	1,29	VERIFICATO	0,70	NON VERIFICATO
T19	0,82	VERIFICATO	0,83	VERIFICATO
T21	0,63	NON VERIFICATO	1,26	VERIFICATO
T23	0,80	VERIFICATO	1,21	VERIFICATO
T25	0,96	VERIFICATO	1,15	VERIFICATO
T27	1,09	VERIFICATO	1,12	VERIFICATO
T29	1,00	VERIFICATO	0,90	VERIFICATO
T31	0,91	VERIFICATO	0,89	VERIFICATO
T33	0,94	VERIFICATO	0,98	VERIFICATO
T35	0,82	VERIFICATO	0,91	VERIFICATO

I seguenti valori derivano dal software, v. tab. 5.23.

Tabella 5.23– Indice di modellato Msc, software, conf.2

CONFIGURAZIONE 2 (h=1,60 m)				
Superfici di calcolo	M_{sc}			
	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
S1	1,30	VERIFICATO	0,92	VERIFICATO
S3	0,81	VERIFICATO	0,89	VERIFICATO
S5	0,76	NON VERIFICATO	1,28	VERIFICATO
S7	0,83	VERIFICATO	1,20	VERIFICATO
S9	1,02	VERIFICATO	1,18	VERIFICATO
S11	1,08	VERIFICATO	1,09	VERIFICATO
S13	1,09	VERIFICATO	1,00	VERIFICATO
S15	1,17	VERIFICATO	0,92	VERIFICATO
S17	1,28	VERIFICATO	0,84	VERIFICATO
S19	0,92	VERIFICATO	0,88	VERIFICATO
S21	0,74	NON VERIFICATO	1,25	VERIFICATO
S23	0,86	VERIFICATO	1,18	VERIFICATO
S25	0,99	VERIFICATO	1,13	VERIFICATO
S27	1,10	VERIFICATO	1,10	VERIFICATO
S29	1,07	VERIFICATO	0,90	VERIFICATO
S31	0,88	VERIFICATO	0,79	VERIFICATO
S33	0,95	VERIFICATO	0,93	VERIFICATO
S35	0,88	VERIFICATO	0,86	VERIFICATO

c. Msc_Configurazione 3

I seguenti valori derivano dalle misurazioni sul campo, v. tab. 5.24.

Tabella 5.24– Indice di modellato Msc, conf.3

CONFIGURAZIONE 3				
POSIZIONE	Indice di modellato Msc			
n°	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
Centro del corridoio altezza 1,60 m				
T1	1,25	VERIFICATO	0,94	VERIFICATO
T3	1,23	VERIFICATO	0,84	VERIFICATO
T5	1,20	VERIFICATO	0,77	VERIFICATO
T7	1,27	VERIFICATO	0,64	NON VERIFICATO
T9	1,34	VERIFICATO	0,56	NON VERIFICATO
T11	0,77	VERIFICATO	0,72	NON VERIFICATO
T13	0,68	NON VERIFICATO	1,23	VERIFICATO
T15	0,84	VERIFICATO	1,21	VERIFICATO
T17	1,03	VERIFICATO	1,15	VERIFICATO
T19	1,16	VERIFICATO	1,09	VERIFICATO
T21	1,14	VERIFICATO	0,93	VERIFICATO
T23	1,25	VERIFICATO	0,78	VERIFICATO
T25	1,22	VERIFICATO	0,65	NON VERIFICATO
T27	0,75	NON VERIFICATO	0,87	VERIFICATO
T29	0,73	NON VERIFICATO	1,28	VERIFICATO
T31	1,09	VERIFICATO	1,14	VERIFICATO
T33	1,44	NON VERIFICATO	1,04	VERIFICATO
T35	0,94	VERIFICATO	1,00	VERIFICATO

I seguenti valori derivano dal software, v. tab. 5.25.

Tabella 5.25– Indice di modellato Msc, software, conf.3

CONFIGURAZIONE 3 (h=1,60 m)				
Superfici di calcolo	M_{sc}			
	andata		ritorno	
	(da 1 a 35)		(da 35 a 1)	
S1	1,22	VERIFICATO	1,00	VERIFICATO
S3	1,21	VERIFICATO	0,88	VERIFICATO
S5	1,19	VERIFICATO	0,79	VERIFICATO
S7	1,21	VERIFICATO	0,77	VERIFICATO
S9	1,30	VERIFICATO	0,72	NON VERIFICATO
S11	0,85	VERIFICATO	0,79	VERIFICATO
S13	0,73	NON VERIFICATO	1,24	VERIFICATO
S15	0,86	VERIFICATO	1,18	VERIFICATO
S17	1,00	VERIFICATO	1,16	VERIFICATO
S19	1,16	VERIFICATO	1,13	VERIFICATO
S21	1,13	VERIFICATO	0,97	VERIFICATO
S23	1,18	VERIFICATO	0,88	VERIFICATO
S25	1,25	VERIFICATO	0,77	VERIFICATO
S27	0,88	VERIFICATO	0,86	VERIFICATO
S29	0,85	VERIFICATO	1,21	VERIFICATO
S31	0,95	VERIFICATO	1,04	VERIFICATO
S33	1,26	VERIFICATO	1,04	VERIFICATO
S35	0,95	VERIFICATO	1,05	VERIFICATO

Come si riscontra dalle tabelle riportate, l'indice di modellato (Msc), nella **configurazione 1**, risulta sempre verificato, sia per i valori misurati sul campo che per i valori calcolati con il software, sinonimo di una buona illuminazione in condizioni ordinarie, che permette un ottimo riconoscimento delle persone e degli oggetti presenti nel corridoio.

Nella **configurazione 2**, si ha un riscontro in entrambi i casi per i punti T5 e T21 che non risultano verificati all'andata, in più per i valori misurati non verifica il T3 all'andata e il T17 al ritorno.

Nella **configurazione 3**, un numero maggiore di valori non risulta verificato. Si ha un riscontro in entrambi i casi solo per il punto T13 all'andata e T9 al ritorno, che non risultano verificati; mentre per i valori misurati sul campo, oltre ai punti già menzionati, non risultano verificati all'andata i punti T27, T29 e T33, e al ritorno i punti T7 T11 e T25, tutti in corrispondenza dell'apparecchio acceso o subito dopo.

Ciò significa che con un'illuminazione non uniforme la visibilità non è buona e non permette di distinguere con facilità i volti delle persone o oggetti presenti.

5.2.4. Verifica dell'indice di modellato cilindrico (Mc)

L'indice di modellato cilindrico, introdotto solo recentemente con la norma UNI EN 12464-1 2011, è un parametro prestazionale per la valutazione del comfort illuminotecnico di un ambiente interno. E' stato calcolato per le tre configurazioni; in conformità con quanto scritto nel par. 3.6 e considerando le misure in pianta e in altezza del corridoio, come indicato nel par. 4.1, si illustrano di seguito uno schema tridimensionale (v. fig. 5.25) e una vista di prospetto dell'angolo α e dei suoi limiti inferiore e superiore (v. fig. 5.26).

Si considerano verificati tutti i valori compresi in uno scostamento del 5%.

Mc è stato calcolato solo mediante il software di calcolo.

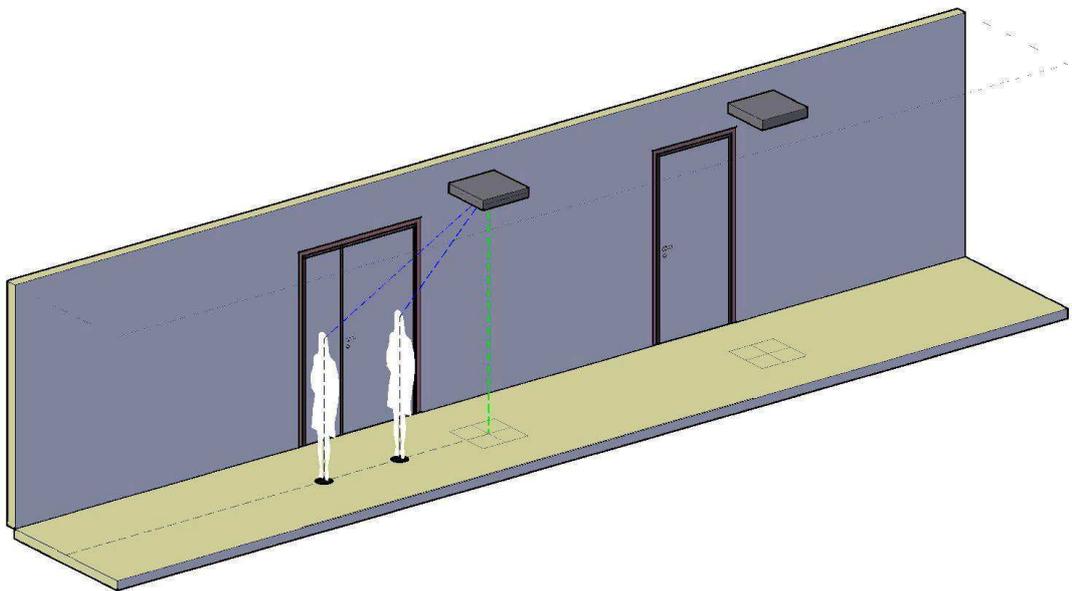


Figura 5.25- Schema tridimensionale angolo α

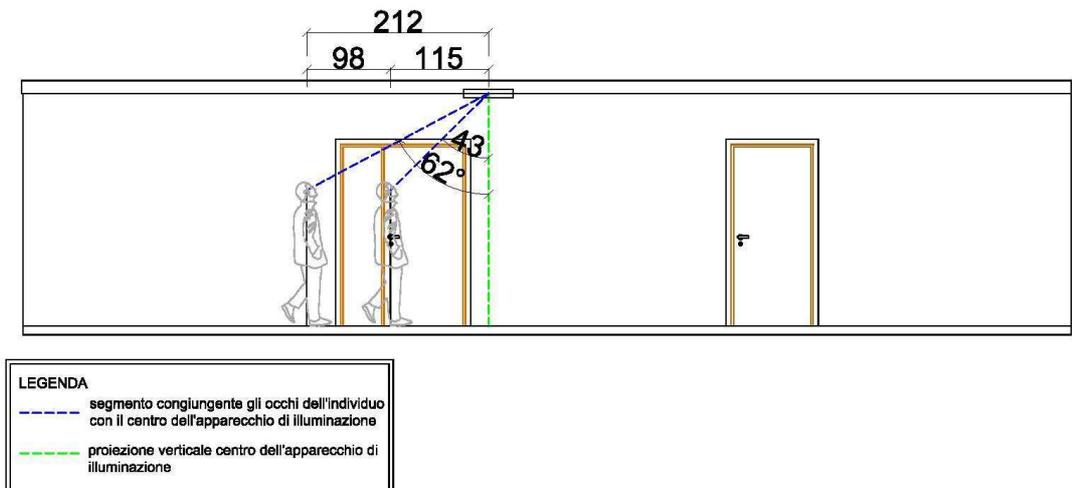


Figura 5.26- Vista di prospetto angolo α e suoi limiti inferiori e superiori ($43^\circ < \alpha < 62^\circ$)

a. **Mc_Configurazione 1**

Tabella 5.26– Indice di modellato Mc, software, conf.1

CONFIGURAZIONE 1 (h=1,60 m)		
Superfici di calcolo	M _c	
	andata/ritorno	
S1	0,50	VERIFICATO
S3	0,23	NON VERIFICATO
S5	0,53	VERIFICATO
S7	0,87	NON VERIFICATO
S9	0,52	VERIFICATO
S11	0,26	NON VERIFICATO
S13	0,57	VERIFICATO
S15	0,90	NON VERIFICATO
S17	0,54	VERIFICATO
S19	0,24	NON VERIFICATO
S21	0,56	VERIFICATO
S23	0,90	NON VERIFICATO
S25	0,56	VERIFICATO
S27	0,27	NON VERIFICATO
S29	0,58	VERIFICATO
S31	0,81	NON VERIFICATO
S33	0,56	VERIFICATO
S35	0,26	NON VERIFICATO

b. **Mc_Configurazione 2**

Tabella 5.27– Indice di modellato Mc, software, conf.2

CONFIGURAZIONE 2 (h=1,60 m)		
Superfici di calcolo	M _c	
	andata/ritorno	
S1	0,47	VERIFICATO
S3	0,21	NON VERIFICATO
S5	0,48	VERIFICATO
S7	0,93	NON VERIFICATO
S9	1,10	NON VERIFICATO
S11	1,06	NON VERIFICATO
S13	1,05	NON VERIFICATO
S15	0,88	NON VERIFICATO
S17	0,44	VERIFICATO
S19	0,19	NON VERIFICATO
S21	0,48	VERIFICATO
S23	0,94	NON VERIFICATO
S25	1,09	NON VERIFICATO
S27	1,08	NON VERIFICATO
S29	0,97	NON VERIFICATO
S31	0,90	NON VERIFICATO
S33	0,93	NON VERIFICATO
S35	0,89	NON VERIFICATO

c. Mc_Configurazione 3

Tabella 5.28– Indice di modellato Mc, software, conf.3

CONFIGURAZIONE 3 (h=1,60 m)		
Superfici di calcolo	M _c	
	andata/ritorno	
S1	1,00	NON VERIFICATO
S3	1,03	NON VERIFICATO
S5	1,02	NON VERIFICATO
S7	0,84	NON VERIFICATO
S9	0,45	VERIFICATO
S11	0,22	NON VERIFICATO
S13	0,50	VERIFICATO
S15	0,94	NON VERIFICATO
S17	1,11	NON VERIFICATO
S19	1,04	NON VERIFICATO
S21	1,02	NON VERIFICATO
S23	0,89	NON VERIFICATO
S25	0,49	VERIFICATO
S27	0,23	NON VERIFICATO
S29	0,51	VERIFICATO
S31	0,80	NON VERIFICATO
S33	0,46	VERIFICATO
S35	0,17	NON VERIFICATO

Dai risultati del calcolo si osserva come i valori dell'indice di modellato Mc non risultino quasi mai verificati in nessuna delle tre configurazioni.

5.2.5. Confronto misure/software

Nella tabella seguente è illustrata la differenza in percentuale tra il valore MISURATO (in sito) e il valore CALCOLATO (con il software) per l'illuminamento verticale (Ev), semicilindrico (Esc) e indice di modellato semicilindrico (Msc), nelle configurazioni 1, 2 e 3 nel verso di sola "ANDATA".

Tabella 5.29 – Confronto misure-calcoli, configurazione 1

CONFRONTO MISURE-CALCOLI									
CONFIGURAZIONE 1 - "ANDATA"									
POSIZIONE	Ev MISURATO	Ev CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Esc MISURATO	Esc CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Msc (MISURE)	Msc (CALCOLI)	DIFF. %
T1	373	450	20,6%	371	344	-7,3%	1,01	1,31	30,1%
T3	200	239	19,5%	246	252	2,4%	0,81	0,95	16,7%
T5	165	197	19,4%	184	195	6,0%	0,90	1,01	12,7%
T7	262	275	5,0%	225	232	3,1%	1,16	1,19	1,8%
T9	502	479	-4,6%	418	370	-11,5%	1,20	1,29	7,8%
T11	220	270	22,7%	262	294	12,2%	0,84	0,92	9,4%
T13	167	208	24,6%	187	217	16,0%	0,89	0,96	7,3%
T15	250	280	12,0%	223	245	9,9%	1,12	1,14	1,9%
T17	460	451	-2,0%	383	348	-9,1%	1,20	1,30	7,9%
T19	213	271	27,2%	253	273	7,9%	0,84	0,99	17,9%
T21	180	221	22,8%	201	226	12,4%	0,90	0,98	9,2%
T23	287	305	6,3%	254	266	4,7%	1,13	1,15	1,5%
T25	534	491	-8,1%	434	402	-7,4%	1,23	1,22	-0,7%
T27	210	290	38,1%	258	302	17,1%	0,81	0,96	18,0%
T29	160	280	75,0%	193	288	49,2%	0,83	0,97	17,3%
T31	220	316	43,6%	210	319	51,9%	1,05	0,99	-5,4%
T33	423	483	14,2%	332	396	19,3%	1,27	1,22	-4,3%
T35	144	270	87,5%	170	276	62,4%	0,85	0,98	15,5%

Tabella 5.30 – Confronto misure-calcoli, configurazione 2

CONFRONTO MISURE-CALCOLI									
CONFIGURAZIONE 2 - "ANDATA"									
POSIZIONE	Ev MISURATO	Ev CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Esc MISURATO	Esc CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Msc (MISURE)	Msc (CALCOLI)	DIFF. %
T1	339	415	22,4%	337	320	-5,0%	1,01	1,30	28,9%
T3	129	167	29,5%	193	205	6,2%	0,67	0,81	21,9%
T5	71	91	28,2%	108	120	11,1%	0,66	0,76	15,4%
T7	54	64	18,5%	65	77	18,5%	0,83	0,83	0,0%
T9	57	65	14,0%	57	64	12,3%	1,00	1,02	1,6%
T11	70	77	10,0%	65	71	9,2%	1,08	1,08	0,7%
T13	97	98	1,0%	87	90	3,4%	1,11	1,09	-2,3%
T15	188	191	1,6%	155	163	5,2%	1,21	1,17	-3,4%
T17	415	377	-9,2%	322	295	-8,4%	1,29	1,28	-0,8%
T19	146	193	32,2%	179	209	16,8%	0,82	0,92	13,2%
T21	64	95	48,4%	101	128	26,7%	0,63	0,74	17,1%
T23	49	72	46,9%	61	84	37,7%	0,80	0,86	6,7%
T25	47	70	48,9%	49	71	44,9%	0,96	0,99	2,8%
T27	59	86	45,8%	54	78	44,4%	1,09	1,10	0,9%
T29	75	122	62,7%	75	114	52,0%	1,00	1,07	7,0%
T31	73	114	56,2%	80	129	61,3%	0,91	0,88	-3,2%
T33	77	121	57,1%	82	128	56,1%	0,94	0,95	0,7%
T35	63	115	82,5%	77	131	70,1%	0,82	0,88	7,3%

Tabella 5.31 – Confronto misure-calcoli, configurazione 3

CONFRONTO MISURE-CALCOLI									
CONFIGURAZIONE 3 - "ANDATA"									
POSIZIONE	Ev MISURATO	Ev CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Esc MISURATO	Esc CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Msc (MISURE)	Msc (CALCOLI)	DIFF. %
T1	45	45	0,0%	36	37	2,8%	1,25	1,22	-2,7%
T3	64	63	-1,6%	52	52	0,0%	1,23	1,21	-1,6%
T5	96	93	-3,1%	80	78	-2,5%	1,20	1,19	-0,6%
T7	210	191	-9,0%	165	158	-4,2%	1,27	1,21	-5,0%
T9	488	429	-12,1%	365	331	-9,3%	1,34	1,30	-3,1%
T11	155	203	31,0%	201	240	19,4%	0,77	0,85	9,7%
T13	71	98	38,0%	104	135	29,8%	0,68	0,73	6,3%
T15	59	72	22,0%	70	84	20,0%	0,84	0,86	1,7%
T17	62	67	8,1%	60	67	11,7%	1,03	1,00	-3,2%
T19	85	88	3,5%	73	76	4,1%	1,16	1,16	-0,6%
T21	120	116	-3,3%	105	103	-1,9%	1,14	1,13	-1,5%
T23	253	220	-13,0%	203	187	-7,9%	1,25	1,18	-5,6%
T25	476	440	-7,6%	391	352	-10,0%	1,22	1,25	2,7%
T27	160	220	37,5%	212	250	17,9%	0,75	0,88	16,6%
T29	89	149	67,4%	122	175	43,4%	0,73	0,85	16,7%
T31	148	183	23,6%	136	193	41,9%	1,09	0,95	-12,9%
T33	365	359	-1,6%	253	284	12,3%	1,44	1,26	-12,4%
T35	103	151	46,6%	110	159	44,5%	0,94	0,95	1,4%

5.2.6. Casi particolari

a) Primo caso studio particolare

Nel primo caso studio “particolare”, dalla griglia dei punti di misura sono stati presi in considerazione i punti T10, T11 e T12, posizionati sotto l’apparecchio di illuminazione ed è stato poi misurato nel verso di “ANDATA” (da T1 a T35), l’illuminamento verticale e semicilindrico e calcolato l’indice di modellato nella configurazione 1(luci tutte accese) e nella configurazione 3 (luci in funzione alternate) per i seguenti tre casi:

- 1) 50 cm indietro rispetto ai tre punti (P1);
- 2) in corrispondenza dei tre punti (P2);
- 3) 50 cm avanti rispetto ai tre punti (P3);

ad un'altezza rispettivamente di :

- 160 cm = altezza del volto;
- 120 cm = altezza di metà busto;
- 80 cm = altezza delle mani distese lungo il busto

Le immagini seguenti (figura 5.27-5.28) raffigurano una persona nelle tre posizioni sopracitate, nella configurazione 1 e 3.

In entrambe le configurazioni si nota che nella posizione P1 si distinguono molto bene le fattezze della persona, nella posizione P2 e P3 si riscontra un oscuramento del volto.



Figura 5.27- Caso a) nelle 3 combinazioni P1, P2 P3 nella configurazione 1



Figura 5.28- Caso a) nelle 3 combinazioni P1, P2 P3 nella configurazione 3

I valori ricavati nelle configurazioni 1 e 3 sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 5.32– Valori di illuminamento verticale, semicilindrico e indice di modellato, configurazione 1

CASO PARTICOLARE 1 a)_ Configurazione 1												
P1= 50 cm indietro rispetto ai tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	510	462	1,1	VERIFICATO	337	352	0,96	VERIFICATO	258	275	0,94	VERIFICATO
T11	523	441	1,19	VERIFICATO	372	334	1,11	VERIFICATO	253	268	0,94	VERIFICATO
T12	522	420	1,24	VERIFICATO	360	341	1,06	VERIFICATO	258	272	0,95	VERIFICATO

CASO PARTICOLARE 2 a)_ Configurazione 1												
P2= in corrispondenza dei tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	229	327	0,7	NON VERIFICATO	215	198	1,09	VERIFICATO	198	230	0,86	VERIFICATO
T11	225	276	0,82	VERIFICATO	204	190	1,07	VERIFICATO	190	221	0,86	VERIFICATO
T12	225	350	0,64	NON VERIFICATO	217	199	1,09	VERIFICATO	199	244	0,82	VERIFICATO

CASO PARTICOLARE 3 a)_ Configurazione 1												
P3= 50 cm avanti rispetto ai tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	182	226	0,81	VERIFICATO	189	227	0,83	VERIFICATO	198	217	0,91	VERIFICATO
T11	171	215	0,8	VERIFICATO	178	214	0,83	VERIFICATO	190	213	0,89	VERIFICATO
T12	173	244	0,71	NON VERIFICATO	183	231	0,79	VERIFICATO	196	224	0,88	VERIFICATO

Tabella 5.33– Valori di illuminamento verticale, semicilindrico e indice di modellato, configurazione 3

CASO PARTICOLARE 1 a)_ Configurazione 3												
P1= 50 cm indietro rispetto ai tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	462	413	1,12	VERIFICATO	292	294	0,99	VERIFICATO	201	225	0,89	VERIFICATO
T11	490	389	1,26	VERIFICATO	326	265	1,23	VERIFICATO	232	218	1,06	VERIFICATO
T12	484	374	1,29	VERIFICATO	317	279	1,14	VERIFICATO	216	219	0,99	VERIFICATO

CASO PARTICOLARE 2 a)_ Configurazione 3												
P2= in corrispondenza dei tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	207	304	0,68	NON VERIFICATO	152	210	0,72	NON VERIFICATO	134	173	0,77	VERIFICATO
T11	170	217	0,78	VERIFICATO	133	180	0,74	NON VERIFICATO	123	158	0,78	VERIFICATO
T12	160	280	0,57	NON VERIFICATO	144	217	0,66	NON VERIFICATO	125	178	0,7	NON VERIFICATO

CASO PARTICOLARE 3 a)_ Configurazione 3												
P3= 50 cm avanti rispetto ai tre punti												
POSIZIONE	h1 = 160 cm				h2 = 120 cm				h3 = 80 cm			
	Ev1	Esc1	M1		Ev2	Esc2	M2		Ev3	Esc3	M3	
T10	115	169	0,68	NON VERIFICATO	113	152	0,74	NON VERIFICATO	107	136	0,79	VERIFICATO
T11	93	142	0,65	NON VERIFICATO	92	135	0,68	NON VERIFICATO	92	127	0,72	NON VERIFICATO
T12	96	163	0,59	NON VERIFICATO	98	154	0,64	NON VERIFICATO	96	139	0,69	NON VERIFICATO

b) Secondo caso studio particolare

Nel secondo caso studio “particolare“, sono stati analizzati i valori degli illuminamenti nei tre punti T26, T27, T28, nel verso di “RITORNO” (da T35 a T31), posizionati in asse con una porta presente nel corridoio, al variare delle seguenti due combinazioni:

- 1) porta chiusa;
- 2) porta aperta con apporto di sola luce artificiale.

I valori sono stati calcolati nella sola configurazione 1, con apparecchi di illuminazione tutti in funzione

Nella tabella seguente si riportano i valori di illuminamento orizzontale (E_o) nelle due combinazioni.

Tabella 5.34 – Valori di illuminamento orizzontale

POSIZIONE	ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE (E_o) lux	
	PORTA CHIUSA	PORTA APERTA
T26	486	464
T27	467	479
T28	475	549

Di seguito si analizzano i valori delle misurazioni dell’illuminamento verticale e semicilindrico con il calcolo dell’indice di modellato:

Tabella 5.35 – Valori di illuminamento verticale, semicilindrico e indice di modellato, caso particolare b)

CASO PARTICOLARE 1 b) PORTA CHIUSA												
POSIZIONE	h1 = 160 cm			h2 = 120 cm				h3 = 80 cm				
	Ev1	Esc1	M1	Ev2	Esc2	M2	Ev3	Esc3	M3			
T26	320	398	0,8	VERIFICATO	232	299	0,78	VERIFICATO	205	255	0,8	VERIFICATO
T27	332	340	0,98	VERIFICATO	227	272	0,83	VERIFICATO	207	238	0,87	VERIFICATO
T28	280	394	0,71	NON VERIFICATO	224	316	0,71	NON VERIFICATO	198	260	0,76	NON VERIFICATO

CASO PARTICOLARE 2 b) PORTA APERTA												
POSIZIONE	h1 = 160 cm			h2 = 120 cm				h3 = 80 cm				
	Ev1	Esc1	M1	Ev2	Esc2	M2	Ev3	Esc3	M3			
T26	353	378	0,93	VERIFICATO	258	277	0,93	VERIFICATO	200	239	0,84	VERIFICATO
T27	268	304	0,88	VERIFICATO	258	258	1	VERIFICATO	204	235	0,87	VERIFICATO
T28	318	415	0,77	NON VERIFICATO	249	312	0,8	VERIFICATO	230	272	0,85	VERIFICATO

Nel primo caso particolare analizzato, si vede che l’indice di modellato è sempre verificato solo nella posizione P1: “50 cm indietro rispetto ai tre punti di misura” in entrambe le configurazioni di illuminazione ed a tutte e tre le altezze.

Nel secondo caso particolare, dopo aver aperto la porta, con solo apporto di luce artificiale, i punti più vicini ad essa (T27 e T28) aumentano il loro valore di illuminamento orizzontale, mentre il punto più lontano (T26) diminuisce. Per ciò che riguarda l’illuminamento semicilindrico, la situazione sembra migliorare nella condizione di “PORTA APERTA”.

5.3. Luminanza

Tra le varie grandezze fotometriche, definite per valutare in termini quantitativi le caratteristiche dell'illuminazione prodotta in un ambiente, si va ad approfondire la **luminanza** (L).

Data una sorgente luminosa S od una superficie illuminata, ed assegnata una direzione, si definisce luminanza il flusso luminoso emesso dalla sorgente S estesa, in quella data direzione, per unità di angolo solido $d\omega$ e di area proiettata dS^l :

$$L = \frac{d\phi}{dS^l d\omega}$$

unità di misura nel Sistema Internazionale: **cd/m² (nit)**

dove $dS^l = dS \cos\vartheta$, superficie apparente ortogonale alla direzione di osservazione;
 ϑ = angolo tra la direzione del flusso luminoso $d\phi$ e la normale n alla superficie S.

Se si assume come grandezza fondamentale l'**intensità luminosa**, così definita:

$$I = \frac{d\phi}{d\omega}$$

unità di misura nel Sistema Internazionale: **candela (cd)**

$d\phi$ = flusso luminoso emesso da una sorgente O in un angolo solido $d\omega$ attorno ad una direzione data;

$d\omega$ = angolo stesso;

allora si può dire che la luminanza L è data dal rapporto tra l'intensità luminosa (I) in una data direzione e l'area apparente della superficie (normale alla direzione data):

$$L = \frac{I}{dS^l}$$

5.3.1. Descrizione caso studio

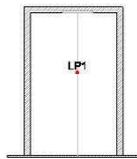
Per effettuare le misurazioni, indispensabili per il calcolo dei rapporti di luminanza limite prescritti, sono stati presi nuovi punti di misura sulle pareti, sul pavimento e sul soffitto nel seguente modo (vedi Allegato D-TAV.7):

1) sulle pareti sono stati fissati 3 punti di misura (figura 5.29):

- LP1 è stato preso sulla parete di fondo, sull'asse longitudinale degli apparecchi di illuminazione, ad un'altezza di 1,60m;
- LP2, allineato con i punti di misura T10, T11 e T12 in corrispondenza dell'apparecchio di illuminazione B, ad un'altezza di 1,60 m;

- LP3, allineato con i punti di misura T22, T23 e T24 tra i due apparecchi di illuminazione C e D, ad un'altezza di 1,60 m.
- 2) sul pavimento è stato fissato un punto di misura (figura 5.30):
- LT1 è stato preso in corrispondenza del punto T11, precisamente sotto l'apparecchio di illuminazione B. Considerando una persona in movimento, il punto è posizionato a -10° dalla retta che passa per l'occhio umano, giustificato dal fatto che, in movimento, lo sguardo ricade orientativamente verso il basso.
- 3) sul soffitto sono stati presi 7 punti di misura (figura 5.31):
- LS1, LS3, LS5, LS7 in corrispondenza del centro degli apparecchi di illuminazione A, B, C e D e LS2, LS4, LS6 in corrispondenza dei punti medi tra un apparecchio e l'altro.

SEZIONE CC



SEZIONE BB

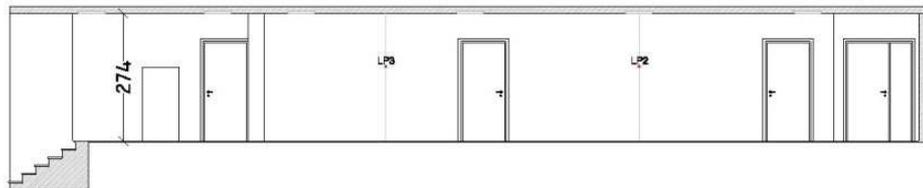


Figura 5.29- Punti di misura sulle pareti

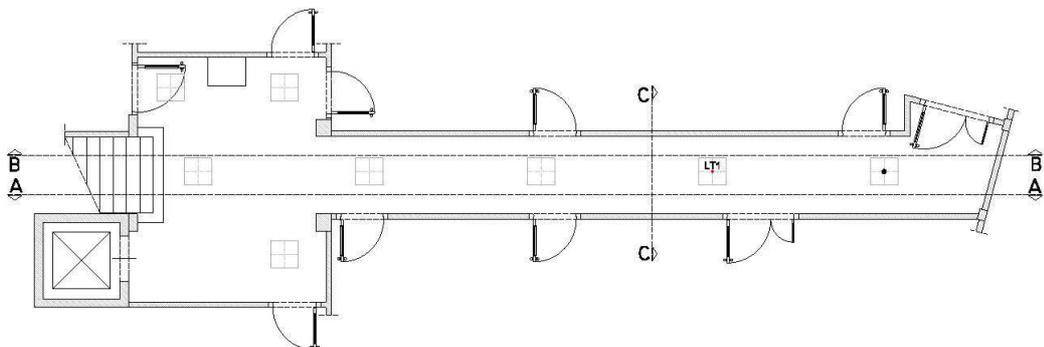


Figura 5.30- Punti di misura sul pavimento

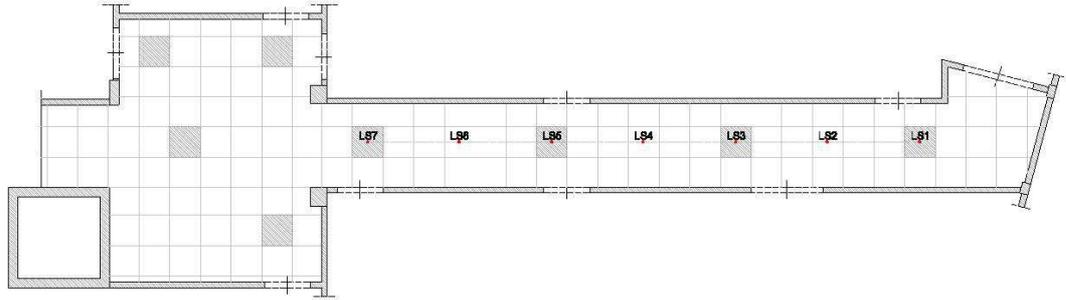


Figura 5.31- Punti di misura sul soffitto

Per quanto riguarda il compito visivo da analizzare è stato preso un individuo con abbigliamento chiaro e con abbigliamento scuro, nelle seguenti 3 posizioni (figura 5.32):

- P1 in corrispondenza del punto di misura T3, al di sotto dell'apparecchio di illuminazione A;
- P2 in corrispondenza del punto T7, tra i due apparecchi d'illuminazione A e B;
- P3 in corrispondenza del punto T 11, al di sotto dell'apparecchio di illuminazione B.

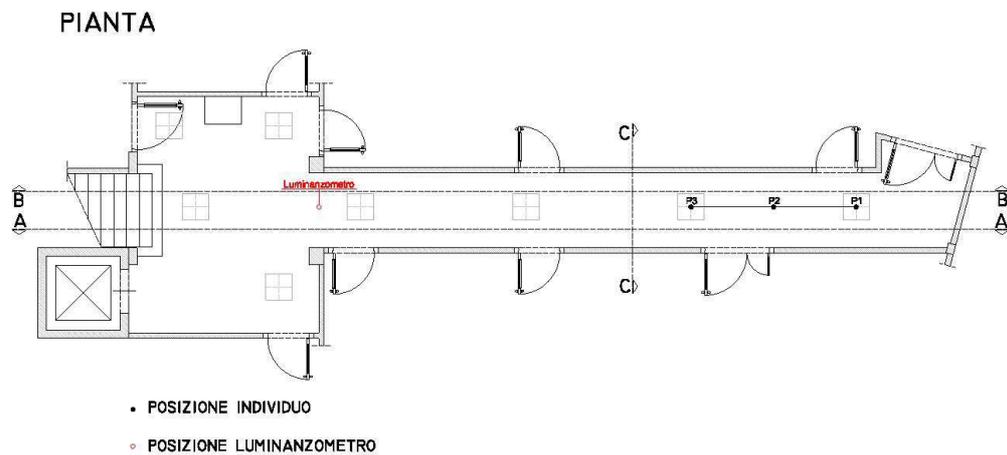


Figura 5.32- Individuo nelle tre posizioni

In tutte e tre le posizioni è stato calcolato il valore della luminanza (L) ad un'altezza pari a 1,45m in corrispondenza del petto dell'individuo.

5.3.2. Misure

Lo strumento utilizzato per effettuare le misure di luminanza è il **luminanzometro** (fig. 5.33) (vedi Allegato A), in grado di focalizzare la luce proveniente da un angolo solido di 1° a sezione circolare su di un elemento fotosensibile.

Tale elemento fotosensibile è normalmente connesso ad un apparato elettronico in grado di restituire in forma numerica un valore di luminanza espresso in candele/metro². Il luminanzometro normalmente è composto da un obiettivo con dispositivo di messa a fuoco, l'apparato sensibile, la parte elettronica dotata di un display di interfaccia (fig. 5.34), indicazione dei gradi di inclinazione (fig. 5.35) e un mirino dal quale si individua l'area di misurazione della luminanza.



Figura 5.33- Luminanzometro



Figura 5.34- Luminanzometro con display di interfaccia



Figura 5.35- Luminanzometro con gradi di inclinazione apparecchio

Lo strumento di misura è stato disposto in modo tale che il centro focale risultasse in asse con il punto di misura T29, nel verso di “RITORNO”.

Le misure sono state effettuate guardando all’interno del mirino dal quale si individua l’area di misurazione della luminanza, sul display di interfaccia esterno è indicato il valore della luminanza in cd/m^2 .

Nelle seguenti tabelle sono indicati i valori delle misure nelle 3 configurazioni sia per il compito visivo (individuo con abbigliamento sia BIANCO che NERO), sia per le superfici ad esso adiacenti.

Si ricorda che le tre configurazioni, già descritte nel cap. 5 sono:

1. “**Configurazione 1**” presenta tutti gli apparecchi di illuminazione accesi e a regime (A, B, C, D, E, F, G, H);
2. “**Configurazione 2**” presenta solo gli apparecchi A, C, E ed H in funzione e gli altri spenti;
3. “**Configurazione 3**” presenta solo gli apparecchi B, D, F e G in funzione e gli altri spenti.

a) **L, configurazione 1**

Tabella 5.36 – Valori di luminanza, conf.1

CONFIGURAZIONE 1				
POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	
n°	Superfici adiacenti/lontane al compito visivo	n°	Compito visivo	
			BIANCO	NERO
LP1	40	P1	45	5,3
LP2	111	P2	56	5,2
LP3	63	P3	78	5,6
LT1	62			
LS1	43			
LS2	48			
LS3	46			
LS4	49			
LS5	41			
LS6	55			
LS7	5000			

Le immagini seguenti mostrano l'individuo nelle 3 posizioni P1, P2, P3 con abbigliamento chiaro e scuro nella configurazione 1.

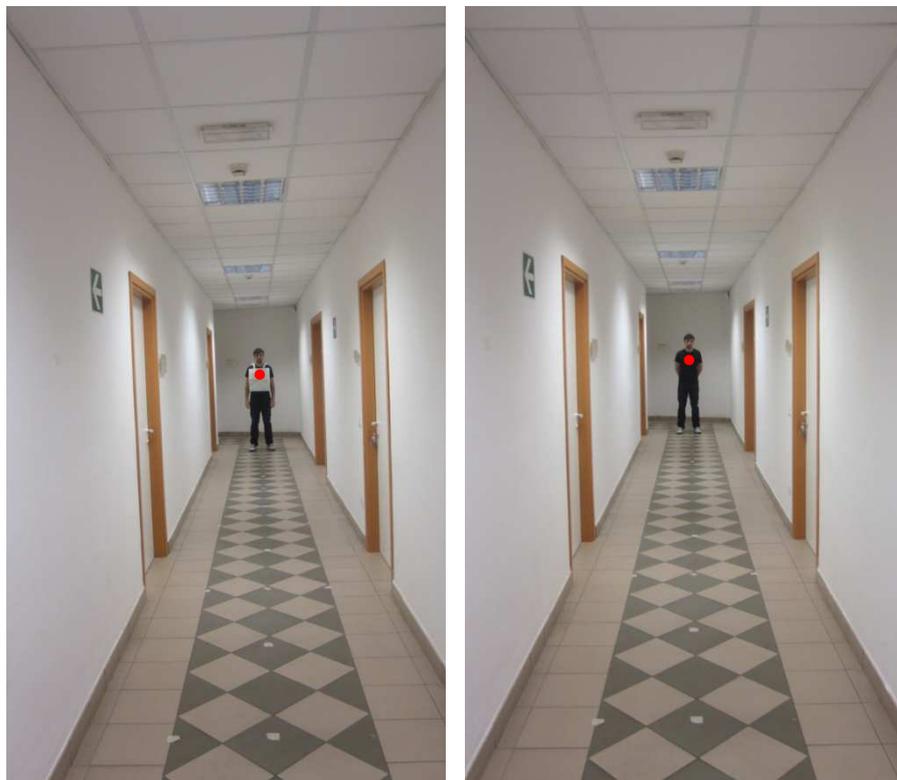


Figura 5.36- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P1, conf.1

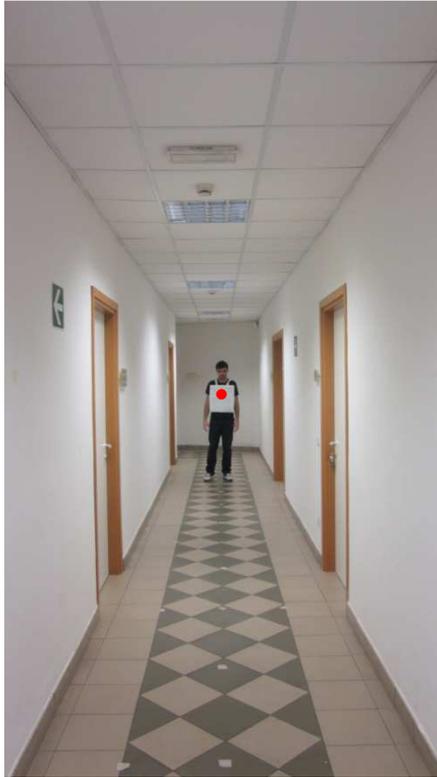


Figura 5.37- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P2, conf.1

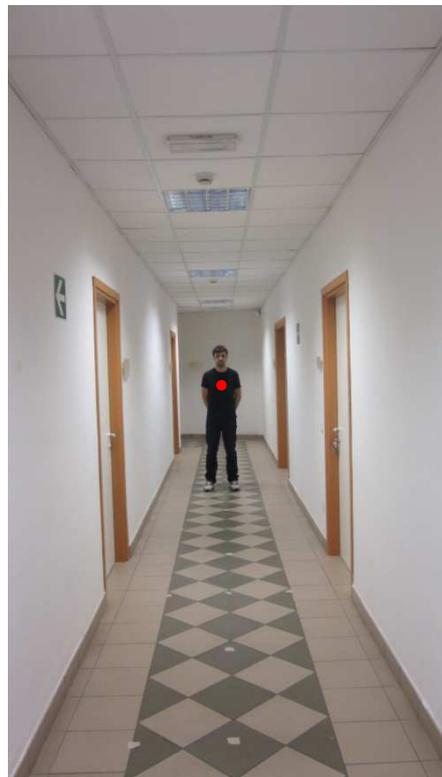


Figura 5.38- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P3, conf.1

b) L, configurazione 2

Tabella 5.37 – Valori di luminanza, conf. 2

CONFIGURAZIONE 2				
POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	
n°	Superfici adiacenti/lontane al compito visivo	n°	Compito visivo	
			BIANCO	NERO
LP1	32	P1	65	2,2
LP2	19	P2	12	1,6
LP3	27	P3	15	1,6
LT1	19			
LS1	30			
LS2	28			
LS3	16			
LS4	23			
LS5	26			
LS6	23			
LS7	10,2			

Le immagini seguenti mostrano l'individuo nelle 3 posizioni P1, P2, P3 con abbigliamento chiaro e scuro nella configurazione 2.

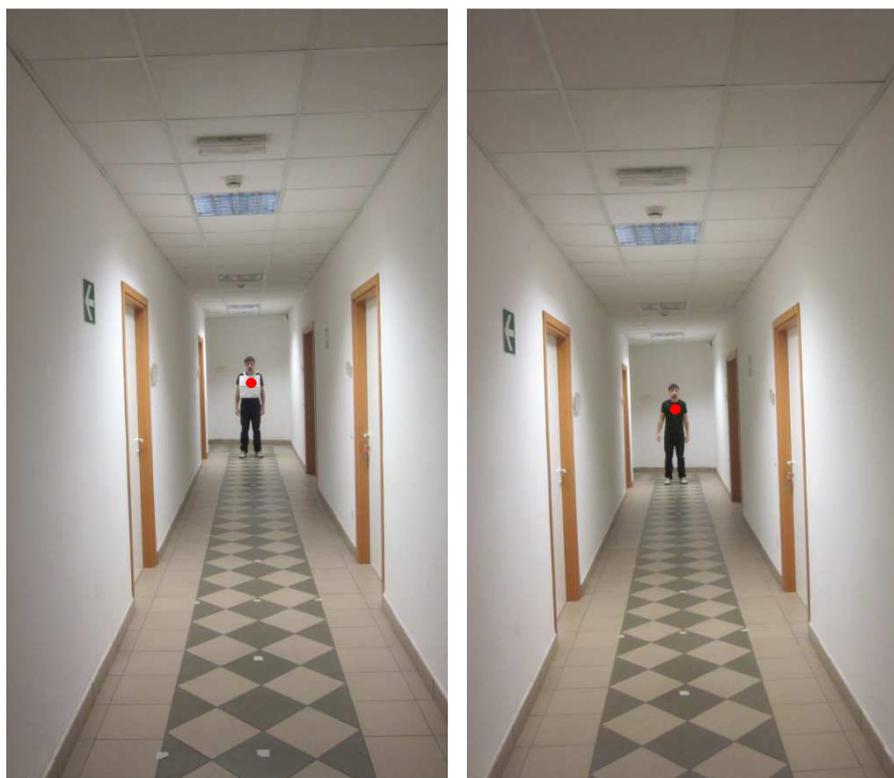


Figura 5.39- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P1, conf.2



Figura 5.40- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P2, conf.2



Figura 5.41- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P3, conf.2

c) L, configurazione 3

Tabella 5.38 – Valori di luminanza, conf. 3

CONFIGURAZIONE 3				
POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	POSIZIONE	LUMINANZA (cd/m ²)	
n°	Superfici adiacenti/lontane al compito visivo	n°	Compito visivo	
			BIANCO	NERO
LP1	9,6	P1	13	3,2
LP2	95	P2	43	3,8
LP3	37	P3	77	4,2
LT1	20			
LS1	11			
LS2	19			
LS3	31			
LS4	27			
LS5	13			
LS6	29			
LS7	3425			

Le immagini seguenti mostrano l'individuo nelle 3 posizioni P1, P2, P3 con abbigliamento chiaro e scuro nella configurazione 3.



Figura 5.42- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P1, conf.3



Figura 5.43- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P2, conf.3



Figura 5.44- Individuo con abbigliamento chiaro e scuro, P3, conf.3

5.3.3. Verifica dei rapporti di luminanza

Considerando che negli ambienti di lavoro si debba avere buone prestazioni visive per un periodo di tempo prolungato, è buona regola evitare eccessivi contrasti di luminanza nelle principali direzioni di osservazione.

Se ho eccessivi contrasti di luminanza il mio occhio fatica a trovare una luminanza media, compromettendo la qualità della visione.

Dovremo tener conto di questo rapporto: $\frac{L_{CV}}{L_S}$, dove:

L_{CV} = luminanza compito visivo (nel caso in esame $h=1,45$ m al petto dell'individuo);

L_S = luminanza sfondo.

Questo rapporto dovrà essere contenuto entro certi intervalli.

Nella seguente tabella sono illustrati i rapporti di luminanza consigliati per varie condizioni di visione e diversi ambienti interni (UNI 10380).

Tabella 5.39 – Rapporti di luminanza

Rapporti di luminanza limite prescritti		Classificazione degli ambienti		
		X	Y	Z
Tra il compito visivo e le superfici ad esso adiacenti	più scure (MAX)	3	3	5
	più chiare (min)	1/3	1/3	1/5
Tra il compito visivo e le superfici lontane	più scure (MAX)	10	20	
	più chiare (min)	1/10	1/20	
Tra gli apparecchi di illuminazione e le superfici ad essi adiacenti, es. finestre, lucernari, ... (MAX)		20		
Ovunque entro il campo visivo (MAX)		40		

Per “classificazione dell’ambiente” deve intendersi (UNI 10380):

- (X), ambienti dove le riflessioni possono essere controllate;
- (Y), ambienti nei quali è possibile controllare le riflessioni solo nelle zone vicine alle aree di lavoro mentre è limitata la possibilità di controllo per le superfici più lontane;
- (Z), ambienti nei quali il controllo delle riflessioni è impraticabile e dove risulta difficoltoso modificare le condizioni ambientali.

Nel caso in esame si andrà a considerare l’ambiente X ed i rapporti di luminanza tra il compito visivo e le superfici lontane più scure e più chiare:

$$\frac{1}{10} < \frac{L_{CV}}{L_S} < 10$$

a) $\frac{L_{CV}}{L_S}$, configurazione 1

Tabella 5.40 – Rapporti di luminanza_configurazione 1

CONFIGURAZIONE 1				
RAPPORTI DI LUMINANZA				
Lcv/Ls	BIANCO		NERO	
POSIZIONE 1				
P1/LP1	1,125	VERIFICATO	0,133	VERIFICATO
P1/LP2	0,405	VERIFICATO	0,048	NON VERIFICATO
P1/LP3	0,714	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P1/LT1	0,726	VERIFICATO	0,085	NON VERIFICATO
P1/LS1	1,047	VERIFICATO	0,123	VERIFICATO
P1/LS2	0,938	VERIFICATO	0,110	VERIFICATO
P1/LS3	0,978	VERIFICATO	0,115	VERIFICATO
P1/LS4	0,918	VERIFICATO	0,108	VERIFICATO
P1/LS5	1,098	VERIFICATO	0,129	VERIFICATO
P1/LS6	0,818	VERIFICATO	0,096	VERIFICATO
P1/LS7	0,009	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO
POSIZIONE 2				
P2/LP1	1,400	VERIFICATO	0,133	VERIFICATO
P2/LP2	0,505	VERIFICATO	0,047	NON VERIFICATO
P2/LP3	0,889	VERIFICATO	0,083	NON VERIFICATO
P2/LT1	0,903	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P2/LS1	1,302	VERIFICATO	0,121	VERIFICATO
P2/LS2	1,167	VERIFICATO	0,108	VERIFICATO
P2/LS3	1,217	VERIFICATO	0,113	VERIFICATO
P2/LS4	1,143	VERIFICATO	0,106	VERIFICATO
P2/LS5	1,366	VERIFICATO	0,127	VERIFICATO
P2/LS6	1,018	VERIFICATO	0,095	NON VERIFICATO
P2/LS7	0,011	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO
POSIZIONE 3				
P3/LP1	1,950	VERIFICATO	0,140	VERIFICATO
P3/LP2	0,703	VERIFICATO	0,050	NON VERIFICATO
P3/LP3	1,238	VERIFICATO	0,089	NON VERIFICATO
P3/LT1	1,258	VERIFICATO	0,090	NON VERIFICATO
P3/LS1	1,814	VERIFICATO	0,130	VERIFICATO
P3/LS2	1,625	VERIFICATO	0,117	VERIFICATO
P3/LS3	1,696	VERIFICATO	0,122	VERIFICATO
P3/LS4	1,592	VERIFICATO	0,114	VERIFICATO
P3/LS5	1,902	VERIFICATO	0,137	VERIFICATO
P3/LS6	1,418	VERIFICATO	0,102	VERIFICATO
P3/LS7	0,016	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO

b) $\frac{L_{CV}}{L_S}$, configurazione 2

Tabella 5.41 – Rapporti di luminanza_configurazione 2

CONFIGURAZIONE 2				
RAPPORTI DI LUMINANZA				
L_{CV}/L_S	BIANCO		NERO	
POSIZIONE 1				
P1/LP1	2,031	VERIFICATO	0,069	NON VERIFICATO
P1/LP2	3,421	VERIFICATO	0,116	VERIFICATO
P1/LP3	2,407	VERIFICATO	0,081	NON VERIFICATO
P1/LT1	3,421	VERIFICATO	0,116	VERIFICATO
P1/LS1	2,167	VERIFICATO	0,073	NON VERIFICATO
P1/LS2	2,321	VERIFICATO	0,079	NON VERIFICATO
P1/LS3	4,063	VERIFICATO	0,138	VERIFICATO
P1/LS4	2,826	VERIFICATO	0,096	VERIFICATO
P1/LS5	2,500	VERIFICATO	0,085	NON VERIFICATO
P1/LS6	2,826	VERIFICATO	0,096	VERIFICATO
P1/LS7	6,373	VERIFICATO	0,216	VERIFICATO
POSIZIONE 2				
P2/LP1	0,375	VERIFICATO	0,069	NON VERIFICATO
P2/LP2	0,632	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P2/LP3	0,444	VERIFICATO	0,059	NON VERIFICATO
P2/LT1	0,632	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P2/LS1	0,400	VERIFICATO	0,053	NON VERIFICATO
P2/LS2	0,429	VERIFICATO	0,057	NON VERIFICATO
P2/LS3	0,750	VERIFICATO	0,100	VERIFICATO
P2/LS4	0,522	VERIFICATO	0,070	NON VERIFICATO
P2/LS5	0,462	VERIFICATO	0,062	NON VERIFICATO
P2/LS6	0,522	VERIFICATO	0,070	NON VERIFICATO
P2/LS7	1,176	VERIFICATO	0,157	VERIFICATO
POSIZIONE 3				
P3/LP1	0,469	VERIFICATO	0,050	NON VERIFICATO
P3/LP2	0,789	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P3/LP3	0,556	VERIFICATO	0,059	NON VERIFICATO
P3/LT1	0,789	VERIFICATO	0,084	NON VERIFICATO
P3/LS1	0,500	VERIFICATO	0,053	NON VERIFICATO
P3/LS2	0,536	VERIFICATO	0,057	NON VERIFICATO
P3/LS3	0,938	VERIFICATO	0,100	VERIFICATO
P3/LS4	0,652	VERIFICATO	0,070	NON VERIFICATO
P3/LS5	0,577	VERIFICATO	0,062	NON VERIFICATO
P3/LS6	0,652	VERIFICATO	0,070	NON VERIFICATO
P3/LS7	1,471	VERIFICATO	0,157	VERIFICATO

c) $\frac{L_{CV}}{L_S}$, configurazione 3

Tabella 5.42 – Rapporti di luminanza_configurazione 3

CONFIGURAZIONE 3				
RAPPORTI DI LUMINANZA				
Lcv/Ls	BIANCO		NERO	
POSIZIONE 1				
P1/LP1	1,354	VERIFICATO	0,333	VERIFICATO
P1/LP2	0,137	VERIFICATO	0,034	NON VERIFICATO
P1/LP3	0,351	VERIFICATO	0,086	NON VERIFICATO
P1/LT1	0,650	VERIFICATO	0,160	VERIFICATO
P1/LS1	1,182	VERIFICATO	0,291	VERIFICATO
P1/LS2	0,684	VERIFICATO	0,168	VERIFICATO
P1/LS3	0,419	VERIFICATO	0,103	VERIFICATO
P1/LS4	0,481	VERIFICATO	0,119	VERIFICATO
P1/LS5	1,000	VERIFICATO	0,246	VERIFICATO
P1/LS6	0,448	VERIFICATO	0,110	VERIFICATO
P1/LS7	0,004	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO
POSIZIONE 2				
P2/LP1	4,479	VERIFICATO	0,333	VERIFICATO
P2/LP2	0,453	VERIFICATO	0,040	NON VERIFICATO
P2/LP3	1,162	VERIFICATO	0,103	VERIFICATO
P2/LT1	2,150	VERIFICATO	0,190	VERIFICATO
P2/LS1	3,909	VERIFICATO	0,345	VERIFICATO
P2/LS2	2,263	VERIFICATO	0,200	VERIFICATO
P2/LS3	1,387	VERIFICATO	0,123	VERIFICATO
P2/LS4	1,593	VERIFICATO	0,141	VERIFICATO
P2/LS5	3,308	VERIFICATO	0,292	VERIFICATO
P2/LS6	1,483	VERIFICATO	0,131	VERIFICATO
P2/LS7	0,013	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO
POSIZIONE 3				
P3/LP1	8,021	VERIFICATO	0,438	VERIFICATO
P3/LP2	0,811	VERIFICATO	0,044	NON VERIFICATO
P3/LP3	2,081	VERIFICATO	0,114	VERIFICATO
P3/LT1	3,850	VERIFICATO	0,210	VERIFICATO
P3/LS1	7,000	VERIFICATO	0,382	VERIFICATO
P3/LS2	4,053	VERIFICATO	0,221	VERIFICATO
P3/LS3	2,484	VERIFICATO	0,135	VERIFICATO
P3/LS4	2,852	VERIFICATO	0,156	VERIFICATO
P3/LS5	5,923	VERIFICATO	0,323	VERIFICATO
P3/LS6	2,655	VERIFICATO	0,145	VERIFICATO
P3/LS7	0,022	NON VERIFICATO	0,001	NON VERIFICATO

Capitolo 6

ANALISI DELL'ILLUMINAZIONE AMBIENTE ESTERNO

Per la raccolta dei dati sono stati fissati 7 punti di misura, lungo l'asse longitudinale del marciapiede oggetto di studio; sono stati presi con il seguente criterio:

- i punti P1, P4 e P7 sono stati presi in asse con gli apparecchi di illuminazione;
- i punti P2 e P5 si trovano ad un terzo della distanza tra due apparecchi consecutivi;
- i punti P3 e P6 si trovano a due terzi della distanza tra due apparecchi consecutivi.

I tre apparecchi di illuminazione sono stati numerati con lettere A, B e C. (Vedi Allegato E_TAV.8)

I parametri misurati ed analizzati sono i seguenti:

- Illuminamento orizzontale (E_o);
- Illuminamento verticale (E_v);
- Illuminamento semicilindrico (E_{sc});
- Luminanza (L).

6.1. Illuminamento orizzontale (E_o)

I valori di illuminamento orizzontale sono stati calcolati direttamente sul campo, sia mediante il software di calcolo Dialux, in tutti punti di misura sopraelencati.

Andiamo di seguito a specificare i metodi utilizzati per entrambe le misurazioni.

6.1.1. Misure

I valori degli illuminamenti orizzontali (E_o) sono stati effettuati mediante l'utilizzo del *luxmetro*, posizionandolo a circa 10 cm dal manto stradale, con la sonda rivolta verso l'alto ed in corrispondenza di ciascun punto di misura.

Nella tabella seguente sono illustrati i valori degli illuminamenti misurati (vedi Allegato E_TAV.9).

Tabella 6.1 – Valori di illuminamento orizzontale

<i>ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE E_o (lx)</i>	
POSIZIONE	VALORE
P1	7,8
P2	6
P3	5,2
P4	7,5
P5	6
P6	4,5
P7	9

6.1.2. Calcolo con software

Nel software di calcolo, successivamente alla modellazione della scena, sono stati introdotti 6 punti di calcolo in corrispondenza della griglia stabilita, nei quali verrà calcolato l'illuminamento orizzontale.



Figura 6.1- Punti di misura_software

Nella seguente tabella sono illustrati i valori di illuminamento orizzontale ottenuti dal software di calcolo.

Tabella 6.2 – Valori di illuminamento orizzontale, software

<i>ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE E_o (lx)</i>	
POSIZIONE	VALORE
P1	8,2
P2	4,2
P3	3,9
P4	8,1
P5	4,4
P6	4,3
P7	8,1

Vedi Allegato G.

Dall'immagine sottostante è possibile vedere la distribuzione dell'illuminamento su tutta la scena in analisi, tramite la simulazione con il software di calcolo.

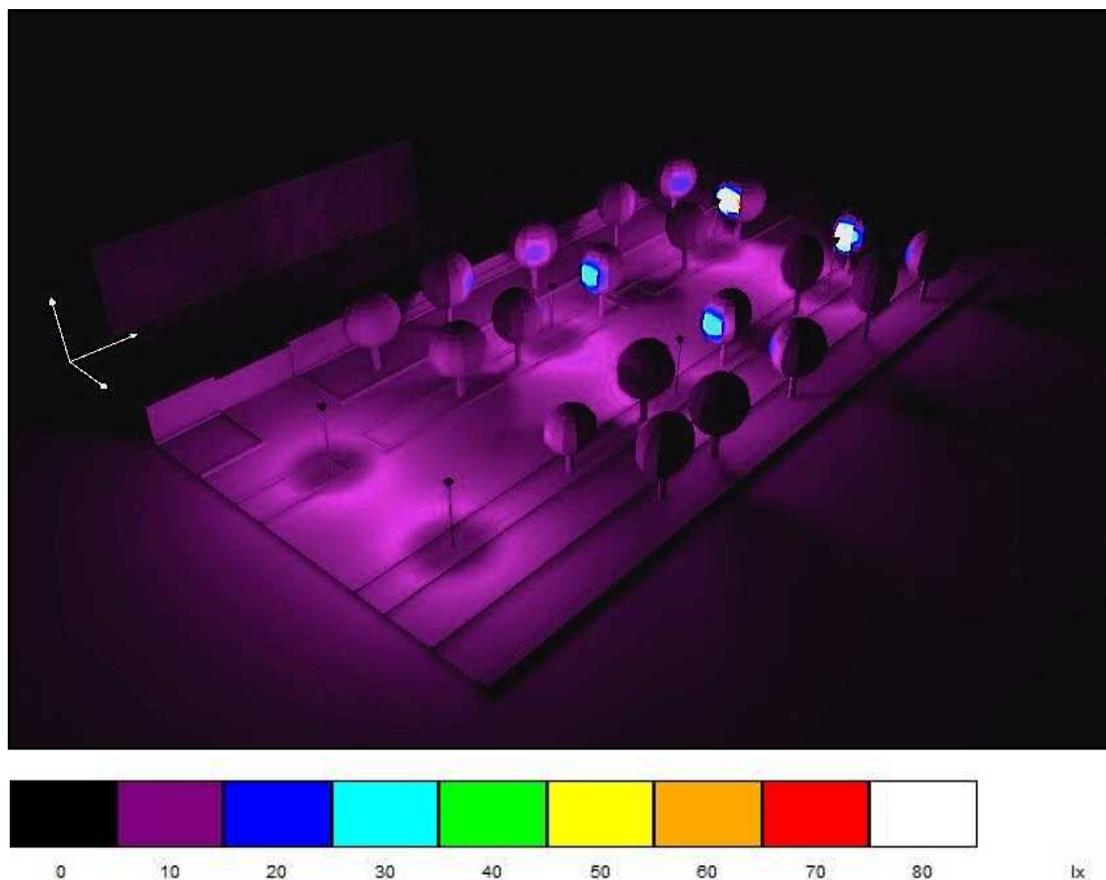


Figura 6.2- Distribuzione illuminamenti sulla scena in esame

6.1.3. Verifica dell'illuminamento medio mantenuto (E_m) e dell'illuminamento minimo mantenuto (E_{min})

Al fine di pervenire a valori illuminotecnici oggettivi di riferimento con i quali confrontare i risultati ottenuti durante le misurazioni in loco è necessario per prima cosa determinare la **categoria illuminotecnica di riferimento**, come conseguenza della classificazione della strada secondo la legislazione in vigore.

Una volta definita la categoria illuminotecnica di riferimento della sede stradale in esame è possibile pervenire alla **categoria illuminotecnica di progetto** e ad eventuali **categorie illuminotecniche di esercizio** in funzione di un processo di valutazione di molteplici parametri definito come "ANALISI DEI RISCHI".

Le fonti legislative a cui si farà riferimento sono la normativa italiana UNI 11248/2007, che ha sostituito la precedente UNI 10439/2001, e le norme europee UNI EN 13201 – 2/ 3 /4.

Per prima cosa si andrà a definire la **categoria illuminotecnica di riferimento**. Il prospetto 1 della norma UNI 11248 fornisce, noto il tipo di strada, la categoria illuminotecnica di riferimento.

Tabella 6.3 – Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità (km h ⁻¹)	Categoria illuminotecnica di riferimento	Note punto
A ₁	Autostrade extraurbane	130-150	ME1	-
	Autostrade urbane	130		
A ₂	Strade di servizio alle autostrade	70-90	ME3a	
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50		
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a	
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	ME4a	
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 ⁴⁾)	70-90	ME3a	
	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b	
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	ME3a	
D	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a	
		50		
E	Strade urbane interquartiere	50	ME3c	
	Strade urbane di quartiere	50		
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 ⁴⁾)	70-90	ME3a	6.3
	Strade locali extraurbane	50	ME4b	
		30	S3	
	Strade locali urbane (tipi F1 e F2 ⁴⁾)	50	ME4b	
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE4	
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3	
	Strade locali urbane: aree pedonali	5		
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE5/S3	
	Strade locali interzonali	50		
		30		
	Piste ciclabili ⁵⁾	Non dichiarato	S3	-
	Strade a destinazione particolare ⁶⁾	30		-

4) Secondo il Decreto Ministeriale 5 Novembre 2001 n° 6792 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

5) Decreto Ministeriale 30 novembre 1999 n° 557 del Ministero dei Lavori Pubblici

6) Secondo l'art. 3.5 del Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 n°6792 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

La strada in esame (Viale delle Piagge), è a traffico pedonale, per cui i valori di riferimento sono dettati dalle classi S.

“Le categorie illuminotecniche S o A sono riferite agli ambienti a carattere ciclopedonale come per esempio marciapiedi o piste ciclabili, ma anche corsie di emergenza ed altre separate o lungo la carreggiata. Sono inoltre applicabili a strade urbane, strade pedonali, aree di parcheggio, strade interne a complessi scolastici, etc.”¹

A questa prima classificazione, si applica quella che è definita come “analisi dei rischi”, ovvero una valutazione di tutte quelle caratteristiche specifiche dell’ambiente che possono portare ad individuare una diversa **categoria illuminotecnica di progetto**, ed eventuali **sotto-categorie illuminotecniche di esercizio** legate al variare dei flussi di traffico, rispetto alle quali eseguire la progettazione illuminotecnica vera e propria.

Nel caso preso in esame è stato possibile tramite un diagramma di flusso (Tab. 6.4) pervenire alla categoria illuminotecnica di esercizio **S4**, non coincidente con quella di riferimento S3, poiché non sono presenti zone di conflitto ma il flusso del traffico è stato assunto medio ($\geq 25\%$).

¹ Tratto da UNI EN 13201-2 2004

Nota con precisione la categoria illuminotecnica di esercizio S4 presa in considerazione, è possibile estrarre dal prospetto 3 della UNI 13201 – 2/2004, i valori di illuminamento medio e minimo da mantenere ai fini della sicurezza per pedoni e ciclisti su marciapiedi.

Tabella 6.5 –Categorie illuminotecniche serie S

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	E_m in lx ^{a)} [minimo mantenuto]	E_{min} in lux ^{a)} [minimo mantenuto]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	prestazione non determinata	prestazione non determinata
^{a)} Per ottenere l'uniformità, il valore effettivo dell'illuminamento medio non può essere maggiore di 1,5 volte il valore minimo E_m indicato per la categoria		

Per la classe S4 si prevede:

- illuminamento medio: $E_m = 5$ lux;
- illuminamento minimo: $E_{min} = 1$ lux

Di seguito sono riportati i valori degli illuminamenti medi e minimi delle misure ottenute sul campo (v. tab. 6.6) e tramite il software di calcolo (v. tab. 6.7); i due valori sono sufficientemente soddisfatti in entrambi i casi.

Tabella 6.6 –Valori di illuminamento medio e minimo

Illuminamento orizzontale (lx)					
E_m (lx)	7	≥	5	lx	VERIFICATO
E_{min} (lx)	5	≥	1	lx	VERIFICATO

Tabella 6.7 –Valori di illuminamento medio e minimo, Dialux

Illuminamento orizzontale (lx)_Software					
E_m (lx)	6	≥	5	lx	VERIFICATO
E_{min} (lx)	4	≥	1	lx	VERIFICATO

6.1.4. Confronto misure/software

Nella tabella seguente è illustrata la differenza in percentuale tra il valore MISURATO (in sito) e il valore CALCOLATO (con il software) per l'illuminamento orizzontale, v. tab. 6.8.

Tabella 6.8 –Confronto misure-software, Eo

CONFRONTO MISURE-SOFTWARE			
Illuminamento orizzontale			
POSIZIONE	Eo MISURATO	Eo CALCOLATO(DIALUX)	DIFFERENZA PERCENTUALE
P1	7,8	8,2	5,1%
P2	6	4,2	-42,9%
P3	5,2	3,9	-33,3%
P4	7,5	8,1	7,4%
P5	6	4,4	-36,4%
P6	4,5	4,3	-4,7%
P7	9	8,1	-11,1%

Dai risultati ottenuti è possibile vedere che i punti che discostano meno tra le due misure sono quelli più prossimi agli apparecchi di illuminazione (P1, P4, P6 e P7); questo perché un numero minore di ostacoli “esterni” alle misurazioni interferiscono nei calcoli.

È da tener presente che nella simulazione proposta con il software si è cercato di riproporre al meglio la situazione reale ma è ovviamente molto difficile imitare le caratteristiche meteorologiche e fisiche presenti sul sito al momento dell'indagine tramite il luxmetro. Ad esempio le chiome degli alberi sono state supposte di forma ellittica e rigogliose (perché il programma permette di fare solo questa ipotesi), mentre le misure sono state eseguite a fine inverno con le chiome ancora spoglie; l'arredo urbano come la cartellonistica stradale, che in alcuni casi si trova nelle immediate vicinanze della sorgente luminosa, non è stata introdotta nella simulazione e le superfici investite dal flusso luminoso sono state schematizzate come corpi omogenei privi di difetti locali che invece nella situazione reale sono presenti. Nonostante ciò non sono presenti valori forniti dalla simulazione con il software che si discostano eccessivamente dai rispettivi valori misurati. Il massimo delta misurato è pari a 1,8 lux per il punto P2, mentre il minimo è di 0,2 lux per il punto P6.

In entrambe le configurazioni sono comunque stati soddisfatti i valori minimi di illuminamento medio ed illuminamento minimo per l'area in esame.

6.2. Illuminamento verticale(E_v), illuminamento semicilindrico(E_{sc})

I valori di illuminamento verticale (E_v) e di illuminamento semicilindrico (E_{sc}) sono stati calcolati in corrispondenza di tutti i punti di misura presenti sull'asse longitudinale degli apparecchi di illuminazione; le misurazioni sono state effettuate inizialmente procedendo dal punto P1 al P7 (“*ANDATA*”) e successivamente in senso opposto (“*RITORNO*”).

6.2.1. Misure

- Illuminamento verticale: le misurazioni sono state eseguite posizionando l'apparecchio in corrispondenza di tutti i punti di misura a circa 1,60 m dal piano di calpestio, volendo simulare quella che poteva essere l'illuminazione alla quota media di un volto umano prodotta dalle condizioni presenti al momento del rilievo;
- Illuminamento semicilindrico: le misurazioni sono state eseguite utilizzando l'apposita strumentazione con sonda rilevatrice posizionata su un'asta verticale anch'essa alla quota di 1,60 m; sono stati rilevati i valori di illuminamento procedendo dal punto P1 al P7 e successivamente in senso opposto.

Tabella 6.9 –Valori di illuminamento verticale e illuminamento semicilindrico

Illuminamento verticale-Illuminamento semicilindrico				
POSIZIONE	E verticale (lx)		E semicilindrico (lx)	
	andata	ritorno	andata	ritorno
	(da P1 a P7)	(da P7 a P1)	(da P1 a P7)	(da P7 a P1)
h=1,60 m				
P1	2,4	3,1	6,7	6,1
P2	4,6	10,4	4,2	7,0
P3	7,8	6,8	6,2	5,1
P4	4,7	4,7	7,3	5,8
P5	4,3	10,2	4,3	6,1
P6	5,9	3,5	5,8	2,8
P7	3,6	4,4	8,9	8,2

6.2.2. Calcolo con software

Per il calcolo degli illuminamenti, sono state create 7 superfici di calcolo di dimensioni 0,50 x 1,60 m (figura 6.2) in corrispondenza dei punti: P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7; si andrà a ricavare i valori di illuminamento verticale ed illuminamento semicilindrico nella mezzeria di ciascuna superficie all' altezza di 1,60m.



Figura 6.3- Superfici di calcolo

Tabella 6.10 –Valori di illuminamento verticale e illuminamento semicilindrico_software

Illuminamento verticale-Illuminamento semicilindrico_software				
POSIZIONE	E verticale (lx)		E semicilindrico (lx)	
	andata	ritorno	andata	ritorno
	(da P1 a P7)	(da P7 a P1)	(da P1 a P7)	(da P7 a P1)
h=1,60 m				
P1	2,1	1,5	6,5	6,1
P2	3,4	8,0	3,0	5,9
P3	8,0	1,4	5,8	1,5
P4	3,1	1,9	7,0	6,3
P5	3,3	8,6	2,9	6,2
P6	8,0	1,4	5,9	1,8
P7	1,5	2,2	5,9	6,3

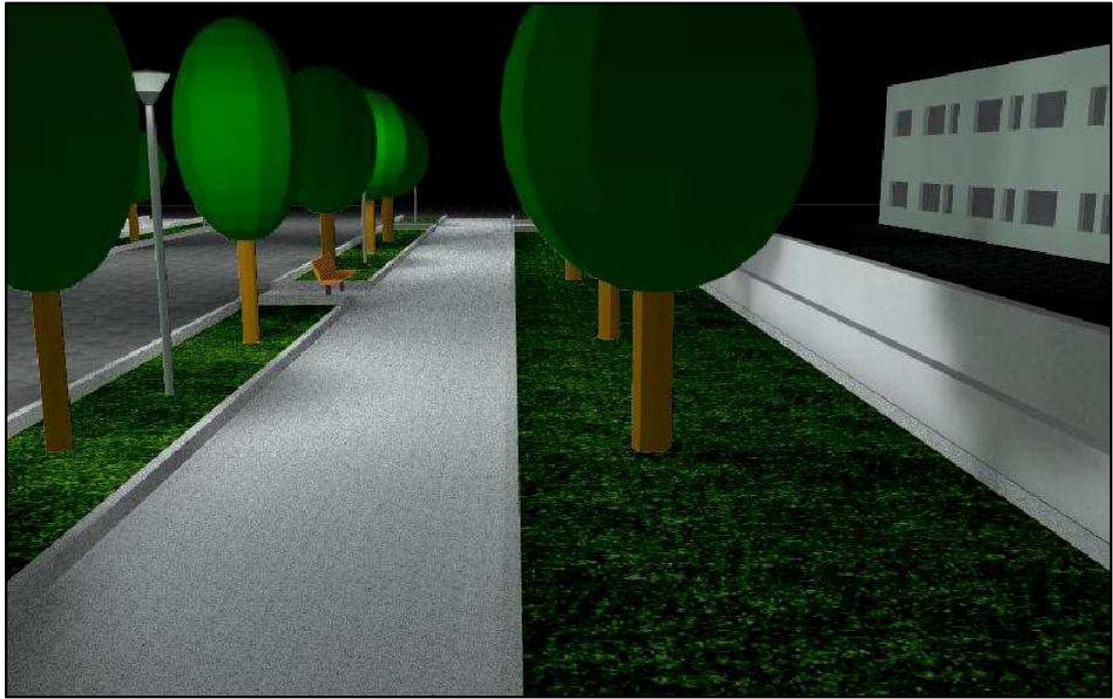


Figura 6.4- "ANDATA"



Figura 6.5- "RITORNO"

6.2.3. Verifica dell'illuminamento verticale e semicilindrico

Le aree pedonali, con lo scopo di ridurre il crimine e aumentare la sensazione di sicurezza, sono ulteriormente classificate nella norma UNI EN 13201-2/2004 con le classi ES, in cui si pongono dei limiti all'illuminamento semicilindrico.

In particolare la classe ES4, omologa di quella vista in precedenza in merito all'illuminamento orizzontale, prevede che sia mantenuto:

- illuminamento semicilindrico minimo: **Esc min = 3 lux**

Tabella 6.11 –Categorie illuminotecniche serie ES

Illuminamento semicilindrico	
Categoria	$E_{sc,min}$ in lx [mantenuto]
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Il senso di sicurezza e protezione che si avverte in un ambiente esterno appartiene alla sfera della psicologia umana, ed il vedere ed essere visti sono elementi primari del controllo interpersonale. Ai fini della sicurezza assume un ruolo di rilievo quindi la capacità di identificare le persone, o almeno di compiere un sommario riconoscimento delle loro fattezze, dell'abbigliamento, del comportamento.

La *prossemica*, ovvero la disciplina antropologica che considera lo spazio che si interpone tra gli esseri umani come fattore primario di comunicazione sociale, distingue quattro zone:

- zona intima;
- zona personale;
- zona di interazione sociale;
- zona pubblica.

L'ultimo dominio, quello pubblico, si estende da un minimo di 3 metri ai 10 metri nella fase cosiddetta di vicinanza, distinta da quella di non vicinanza oltre i 10 m, ed è il dominio che interessa la sicurezza. Infatti la distanza minima che consente a un soggetto normalmente vigile di intraprendere una qualsiasi azione evasiva, oppure difensiva, è pari a circa 4 metri. Distanze inferiori pregiudicano la messa in atto del comportamento reattivo. Sulla base di questo dato si è passati alla ricerca di quelle condizioni di illuminazione che permettono il riconoscimento a 4 m di distanza tra i

pedoni. Il parametro di valutazione è l'illuminamento semicilindrico E_{sc} , poiché il corpo umano è facilmente approssimabile ad un semicilindro per un osservatore collocato di fronte a esso. L'altezza alla quale è opportuno misurare E_{sc} è di circa 1,5-1,6 m dal piano della pavimentazione.

E' stato dimostrato che il riconoscimento del viso avviene alla distanza di 4 m, quando E_{sc} è uguale o superiore a 0,8 lux. A 10 m di distanza occorrono 2,7 lux, come è possibile osservare dal diagramma sottostante (v. fig. 6.6).

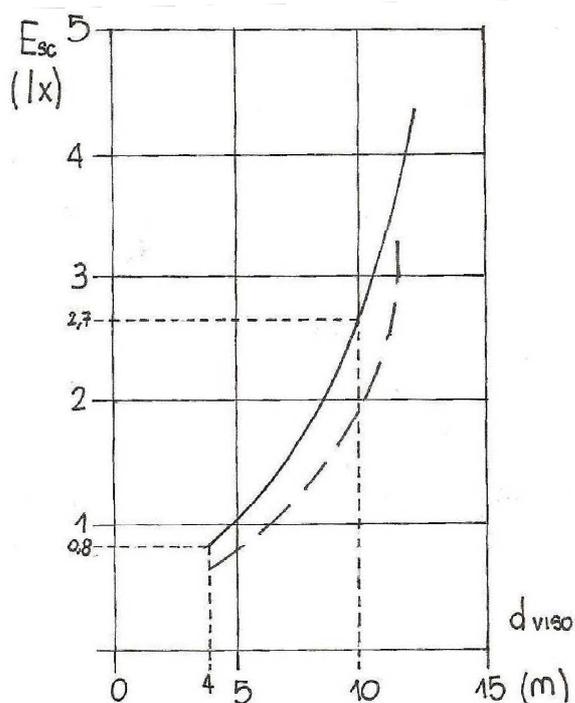


Figura 6.6- Valori di E_{sc} in funzione della distanza di riconoscimento dei connotati del viso di una persona, per un'altezza convenzionale del viso di 1,5 m. La curva continua indica i valori in assenza di abbagliamento, quella tratteggiata in presenza di abbagliamento.

Analogamente la medesima norma (UNI EN 13201-2/2004) prevede le classi EV per valutare l'illuminamento verticale da impiegare in quelle situazioni dove sia necessario evidenziare superfici verticali, ad esempio aree d'intersezione o di conflitto tra differenti utenze. In particolare la classe EV4 richiede:

- illuminamento verticale minimo: **$E_v \min = 7,5 \text{ lux}$**

Tabella 6.12 –Categorie illuminotecniche serie EV

Illuminamento del piano verticale	
Categoria	$E_{v,\min}$ in lx [mantenuto]
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Di seguito si riportano i valori dell'illuminamento verticale e semicilindrico minimi, delle misure ottenute sul campo (v. tab. 6.13) e tramite il software di calcolo (v. tab. 6.14); nel primo caso solo l'illuminamento semicilindrico rispetto alla direzione "andata" risulta soddisfatto, mentre i valori di illuminamento verticale risultano nettamente inferiori al minimo richiesto.

Nel secondo caso nessuno dei valori risulta soddisfatto.

Tabella 6.13 –Valori di illuminamento medio e minimo

Illuminamento verticale-Illuminamento semicilindrico (lx)					
ANDATA					
$E_{v,min}(lx)$	2,4	<	7,5	lx	NON VERIFICATO
$E_{sc,min}(lx)$	4,2	≥	3	lx	VERIFICATO
RITORNO					
$E_{v,min}(lx)$	3,1	<	7,5	lx	NON VERIFICATO
$E_{sc,min}(lx)$	2,8	<	3	lx	NON VERIFICATO

Tabella 6.14 –Valori di illuminamento medio e minimo, software

Illuminamento verticale-Illuminamento semicilindrico (lx)_software					
ANDATA					
$E_{v,min}(lx)$	1,5	<	7,5	lx	NON VERIFICATO
$E_{sc,min}(lx)$	2,9	<	3	lx	NON VERIFICATO
RITORNO					
$E_{v,min}(lx)$	1,4	<	7,5	lx	NON VERIFICATO
$E_{sc,min}(lx)$	1,5	<	3	lx	NON VERIFICATO

6.2.4. Verifica dell'indice di modellato semicilindrico (Msc)

A completamento del tema sopracitato sulla sicurezza delle persone, va sottolineata la necessità di rendere *l'effetto di modellato* del viso e della figura umana, in altri termini i rilievi e la plasticità, non solo ai fini della riconoscibilità ma anche per ragioni di resa estetica. Si analizza perciò come parametro di valutazione il rapporto tra l'illuminamento verticale e quello semicilindrico, ovvero l'indice di modellato semicilindrico. In conformità con quanto scritto nel par. 3.6 riguardo ai limiti di Msc e considerando le misure in pianta del tratto pedonale come indicato nel par. 4.3, si illustrano di seguito uno schema tridimensionale (v. fig. 6.7) e una vista in pianta dell'angolo β e dei suoi limiti inferiore e superiore (v. fig. 6.8).

Si considerano verificati tutti i valori compresi in uno scostamento del 5%.

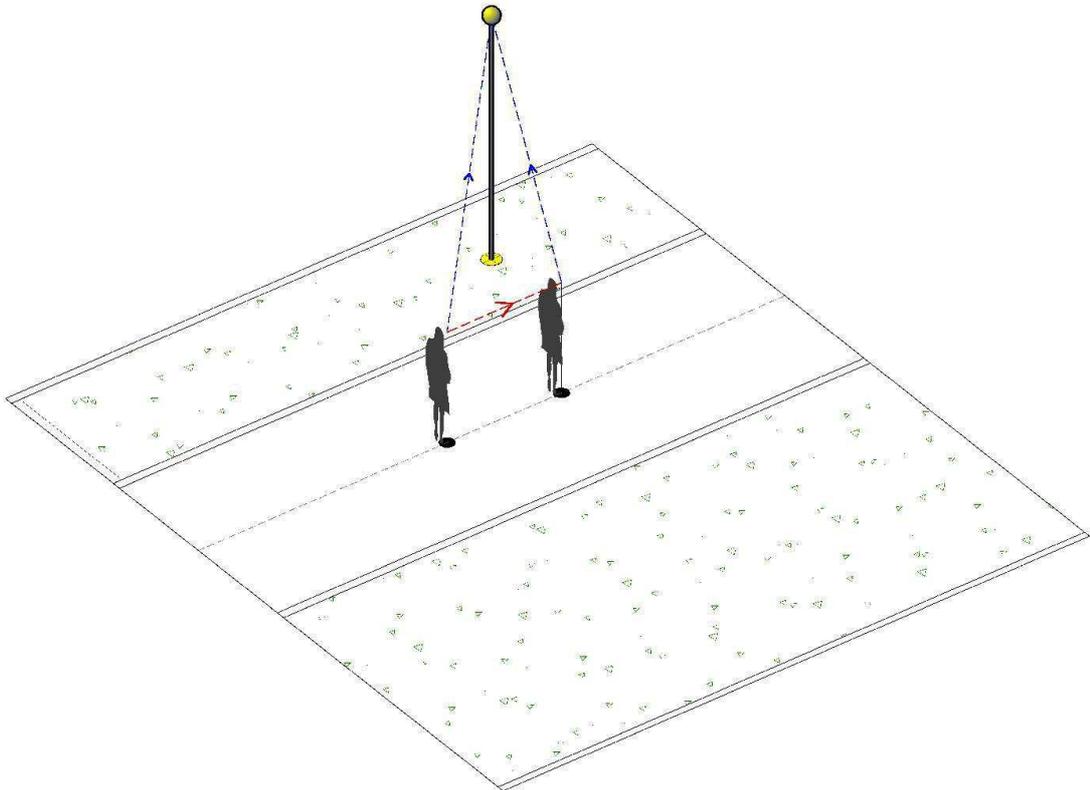
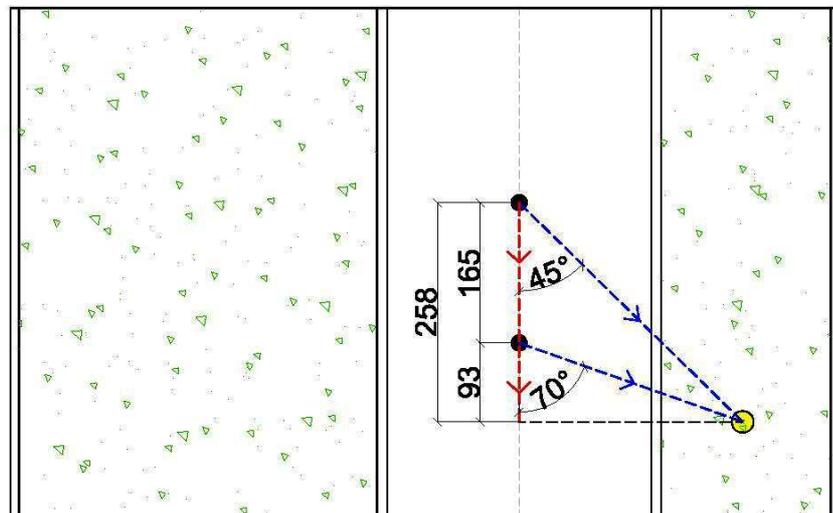


Figura 6.7- Schema tridimensionale angolo β



LEGENDA	
	posizione apparecchio di illuminazione
	posizione individuo
	normale uscente dagli occhi dell'individuo
	segmento congiungente gli occhi dell'individuo alla proiezione verticale del centro dell'apparechio di illuminazione

Figura 6.8- Vista in pianta angolo β e suoi limiti inferiore e superiore ($45^\circ < \beta < 70^\circ$)

I seguenti valori derivano dalle misurazioni sul campo, v. tab. 6.15, e dal software di calcolo, v. tab. 6.16.

Tabella 6.15 –Indice di modellato Msc

Indice di modellato Msc				
POSIZIONE	andata		ritorno	
	(da P1 a P7)		(da P7 a P1)	
h= 1,60 m				
P1	0,36	NON VERIFICATO	0,51	NON VERIFICATO
P2	1,10	VERIFICATO	1,49	NON VERIFICATO
P3	1,26	VERIFICATO	1,33	VERIFICATO
P4	0,64	NON VERIFICATO	0,81	VERIFICATO
P5	1,00	VERIFICATO	1,67	NON VERIFICATO
P6	1,02	VERIFICATO	1,25	VERIFICATO
P7	0,40	NON VERIFICATO	0,54	NON VERIFICATO

Tabella 6.16 –Indice di modellato Msc, Dialux

Indice di modellato Msc_software				
POSIZIONE	andata		ritorno	
	(da P1 a P7)		(da P7 a P1)	
h= 1,60 m				
P1	0,32	NON VERIFICATO	0,25	NON VERIFICATO
P2	1,13	VERIFICATO	1,36	VERIFICATO
P3	1,38	NON VERIFICATO	0,93	VERIFICATO
P4	0,44	NON VERIFICATO	0,30	NON VERIFICATO
P5	1,14	VERIFICATO	1,39	NON VERIFICATO
P6	1,36	VERIFICATO	0,78	VERIFICATO
P7	0,25	NON VERIFICATO	0,35	NON VERIFICATO

Dai risultati si osserva che l'indice di modellato non risulta verificato entro i limiti principalmente per i punti più adiacenti agli apparecchi di illuminazione (P1, P4 e P7).

Questo indica che nonostante in quelle posizioni vi sia più illuminamento, nel contesto generale dove l'illuminazione è modesta, la vicinanza all'apparecchio di illuminazione e quindi alla luce diretta non ostacolata da alberi od altro, non permette una buona visione, creando altresì fenomeni di abbagliamento.

6.2.5. Confronto misure/software

Nella tabella seguente è illustrata la differenza in percentuale tra il valore MISURATO (in sito) e il valore CALCOLATO (con il software) per l'illuminamento verticale (Ev), semicilindrico (Esc) e indice di modellato semicilindrico (Msc), nel verso di "ANDATA" e "RITORNO".

Tabella 6.17 –Confronto misure-calcoli, Ev, Esc, Msc, ANDATA

CONFRONTO MISURE-SOFTWARE									
"ANDATA"									
POSIZIONE	Ev MISURATO	Ev CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Esc MISURATO	Esc CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Msc (MISURE)	Msc (CALCOLI)	DIFF. %
P1	2,4	2,1	-12,5%	6,7	6,5	-3,0%	0,36	0,32	-9,8%
P2	4,6	3,4	-26,1%	4,2	3,0	-28,6%	1,10	1,13	3,5%
P3	7,8	8,0	2,6%	6,2	5,8	-6,5%	1,26	1,38	9,6%
P4	4,7	3,1	-34,0%	7,3	7,0	-4,1%	0,64	0,44	-31,2%
P5	4,3	3,3	-23,3%	4,3	2,9	-32,6%	1,00	1,14	13,8%
P6	5,9	8,0	35,6%	5,8	5,9	1,7%	1,02	1,36	33,3%
P7	3,6	1,5	-58,3%	8,9	5,9	-33,7%	0,40	0,25	-37,1%

Tabella 6.18 –Confronto misure-calcoli, Ev, Esc, Msc, RITORNO

CONFRONTO MISURE-SOFTWARE									
"RITORNO"									
POSIZIONE	Ev MISURATO	Ev CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Esc MISURATO	Esc CALCOLATO (DIALUX)	DIFF. %	Msc (MISURE)	Msc (CALCOLI)	DIFF. %
P1	3,1	1,5	-51,6%	6,1	6,1	0,0%	0,51	0,25	-51,6%
P2	10,4	8,0	-23,1%	7,0	5,9	-15,7%	1,49	1,36	-8,7%
P3	6,8	1,4	-79,4%	5,1	1,5	-70,6%	1,33	0,93	-30,0%
P4	4,7	1,9	-59,6%	5,8	6,3	8,6%	0,81	0,30	-62,8%
P5	10,2	8,6	-15,7%	6,1	6,2	1,6%	1,67	1,39	-17,0%
P6	3,5	1,4	-60,0%	2,8	1,8	-35,7%	1,25	0,78	-37,8%
P7	4,4	2,2	-50,0%	8,2	6,3	-23,2%	0,54	0,35	-34,9%

Vedendo i valori in percentuale ottenuti si può constatare che questi differiscono notevolmente rispetto ai valori ottenuti per l'illuminamento orizzontale.

Questo risultato è da attribuire, come specificato in precedenza, all'impossibilità di riproporre fedelmente le caratteristiche meteorologiche e fisiche presenti sul sito al momento dell'indagine.

6.3. Luminanza

Per effettuare le misurazioni di luminanza, indispensabili per il calcolo dei rapporti di luminanza limite prescritti, sono stati presi in considerazione altri punti di misura, oltre agli esistenti con il seguente criterio (vedi Allegato E_TAV.10), v. fig. 6.9:

- L1 è stato preso sull'asse longitudinale del marciapiede, ad una distanza di $-1/3$ dal punto di misura P1, ad un'altezza di 1,30 m in corrispondenza del busto dell'individuo;
- L2, in corrispondenza dell'apparecchio di illuminazione A e del punto P1, ad un'altezza di 1,30 m;
- L3, in corrispondenza del punto P2, ad un'altezza di 1,30 m;
- L4, in corrispondenza del punto P3, ad un'altezza di 1,30 m, considerando un individuo con abbigliamento chiaro;
- L5, in corrispondenza del punto P3, ad un'altezza di 1,30 m, considerando un individuo con abbigliamento scuro;
- L6, in corrispondenza di un albero posizionato alla destra dell'individuo, un metro prima del punto P3, ad un'altezza di 1,30 m;
- L7, in corrispondenza di un albero in linea con l'individuo ed alla sua sinistra, ad un'altezza di 1,30m;
- L8, è stato preso ad 1 m di distanza dal punto P3, sulla superficie del marciapiede, che al momento delle misure si presentava bagnata in seguito ad una perturbazione;
- L9, in corrispondenza del centro dell'apparecchio di illuminazione A.

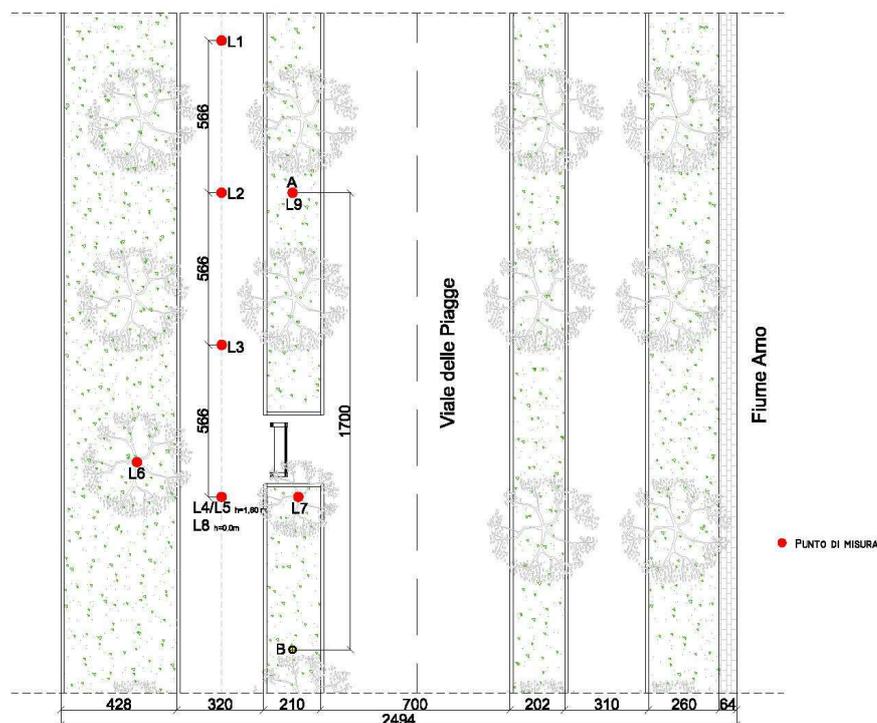


Figura 6.9- Punti di misura percorso pedonale

Per quanto riguarda il compito visivo da analizzare è stato preso un individuo con abbigliamento chiaro nelle seguenti 3 posizioni, v. fig. 6.10:

- 1 in corrispondenza del punto di misura L1;
- 2 in corrispondenza del punto di misura L2;
- 3 in corrispondenza del punto di misura L3;
- 4 in corrispondenza del punto di misura L4.

E' stato inoltre preso in considerazione un individuo con abbigliamento scuro nella seguente posizione:

- 5 in corrispondenza del punto di misura L5.

Lo strumento di misura è stato disposto in modo tale che il centro focale risultasse in asse con il punto di misura P4, in corrispondenza dell'apparecchio di illuminazione B, nel verso di "RITORNO".

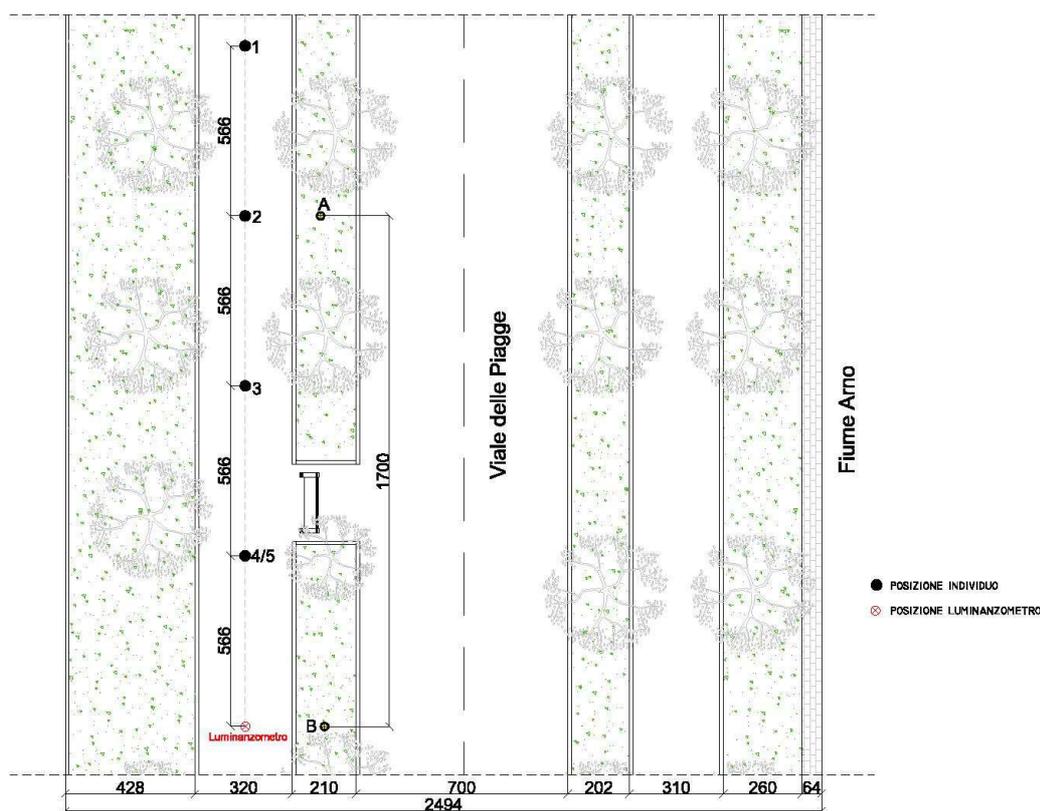


Figura 6.10- Posizione individuo

6.3.1. Misure

Le misure sono state effettuate guardando all'interno del mirino dal quale si individua l'area di misurazione della luminanza, sul display di interfaccia esterno è indicato il valore della luminanza in cd/m^2 .

Nella seguente tabella sono indicati i valori delle misure sia per il compito visivo (individuo con abbigliamento sia BIANCO che NERO), sia per le superfici ad esso adiacenti.

Tabella 6.19 –Valori di luminanza

LUMINANZA (cd/m^2)				
POSIZIONE	Compito visivo		POSIZIONE	Superfici adiacenti/lontane al compito visivo
	BIANCO	NERO		
1	1,3	-	L6	0,2
2	0,8	-	L7	0,2
3	0,8	-	L8	0,3
4	1,2	-	L9	4500
5	-	0,2		

Le immagini seguenti mostrano l'individuo nelle 5 posizioni 1, 2, 3, 4 e 5.

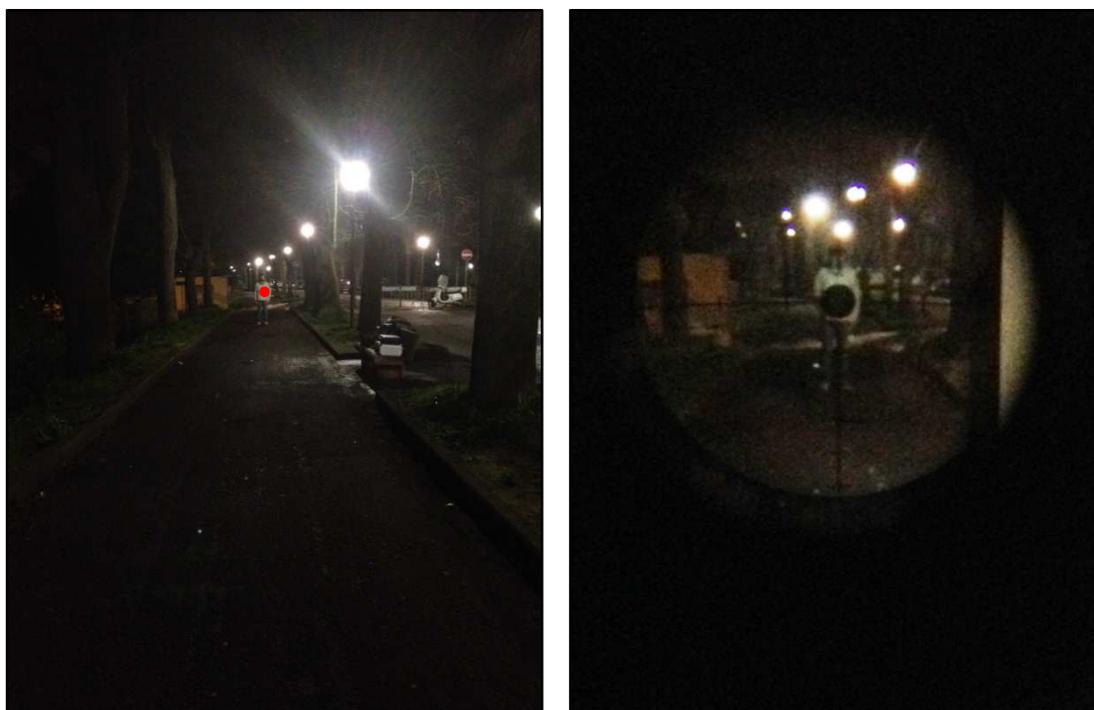


Figura 6.11- Individuo con abbigliamento chiaro, mirino luminanzometro, posizione 1.

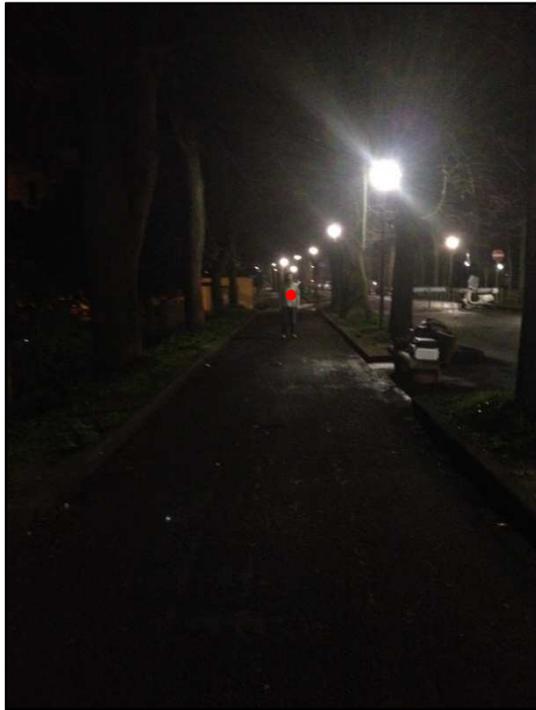


Figura 6.12- Individuo con abbigliamento chiaro, mirino luminanzometro, posizione 2.

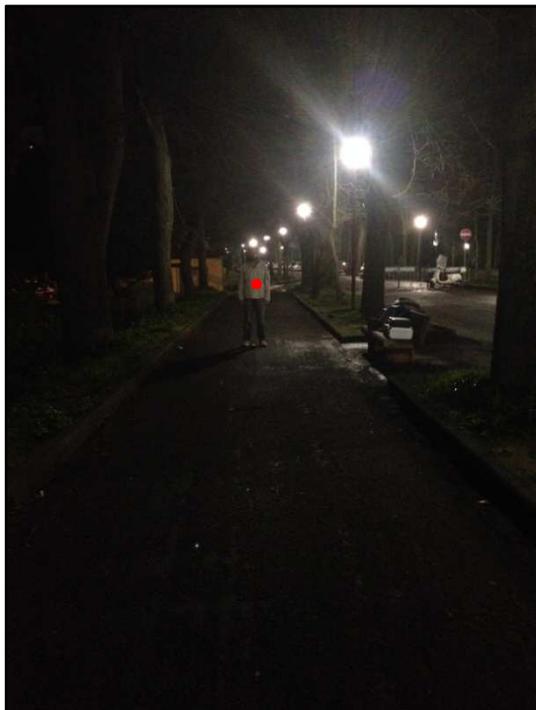


Figura 6.13- Individuo con abbigliamento chiaro, mirino luminanzometro, posizione 3.

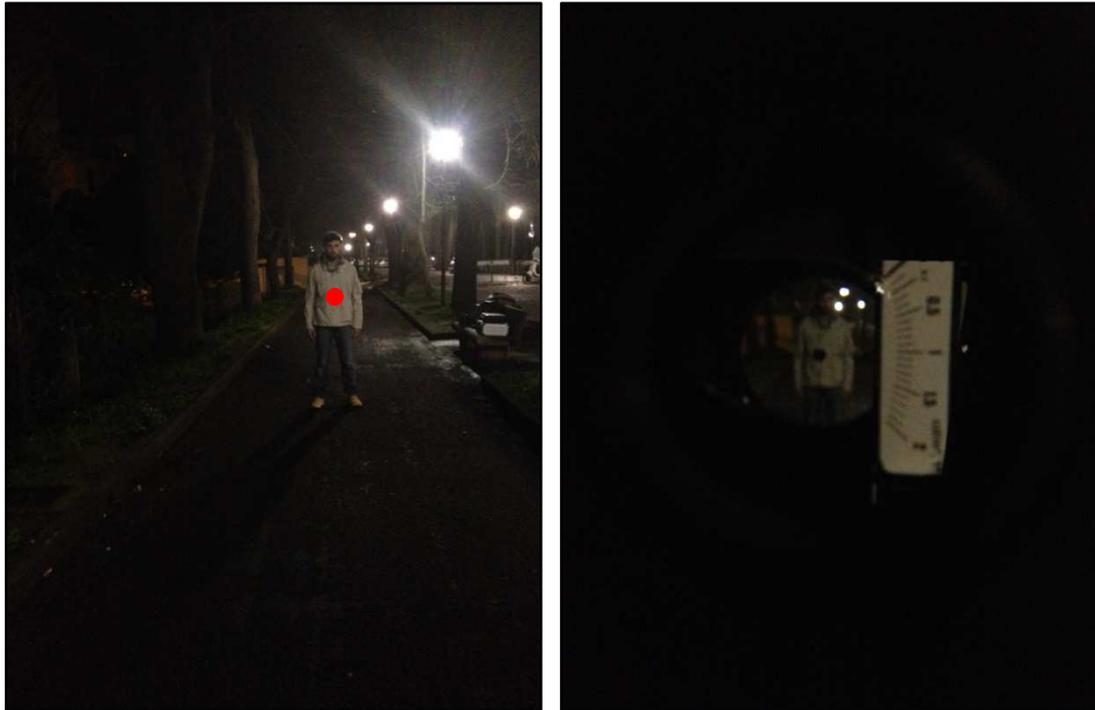


Figura 6.14- Individuo con abbigliamento chiaro, mirino luminanzometro, posizione 4.

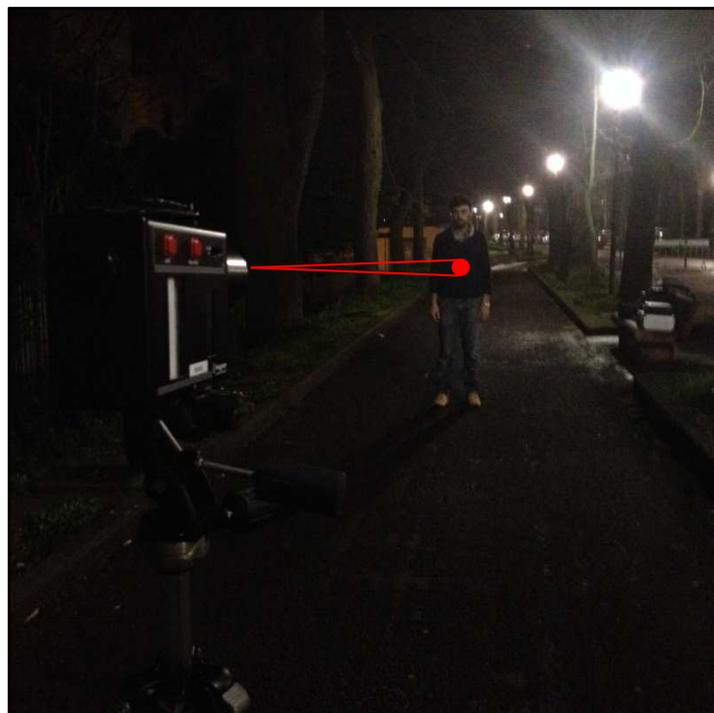


Figura 6.15- Individuo con abbigliamento scuro, posizione 5.

In questa posizione, l'individuo con abbigliamento scuro ha un valore di luminanza pari a $0,2 \text{ cd/m}^2$; si trova quindi in un contesto nel quale può confondersi con lo sfondo.



Figura 6.16- Albero alla destra dell'individuo, posizione L6.

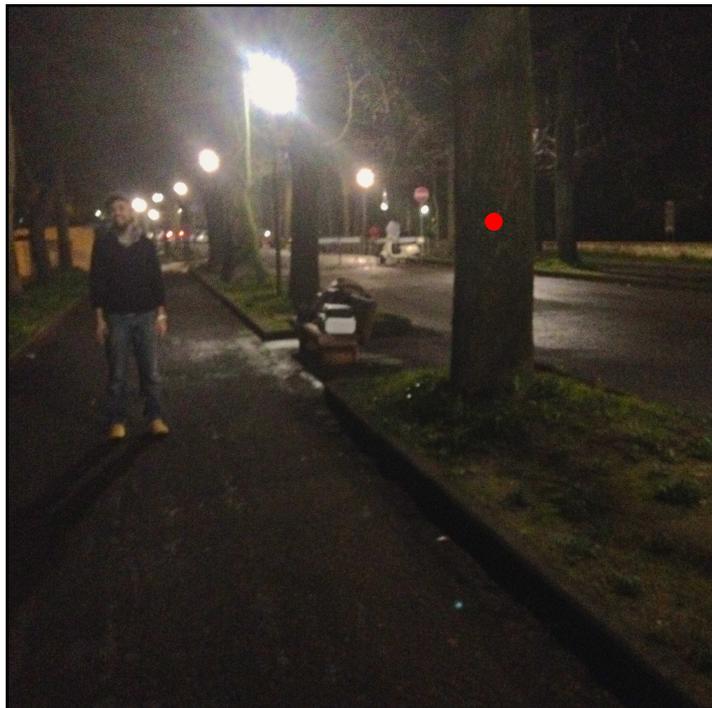


Figura 6.17- Albero alla sinistra dell'individuo, posizione L7.

L'individuo con abbigliamento scuro si confonde con lo sfondo e con gli elementi presenti intorno ad esso, in quanto ha lo stesso valore di luminanza rilevato sul tronco dell'albero alla sua destra ($L=0,2 \text{ cd/m}^2$).

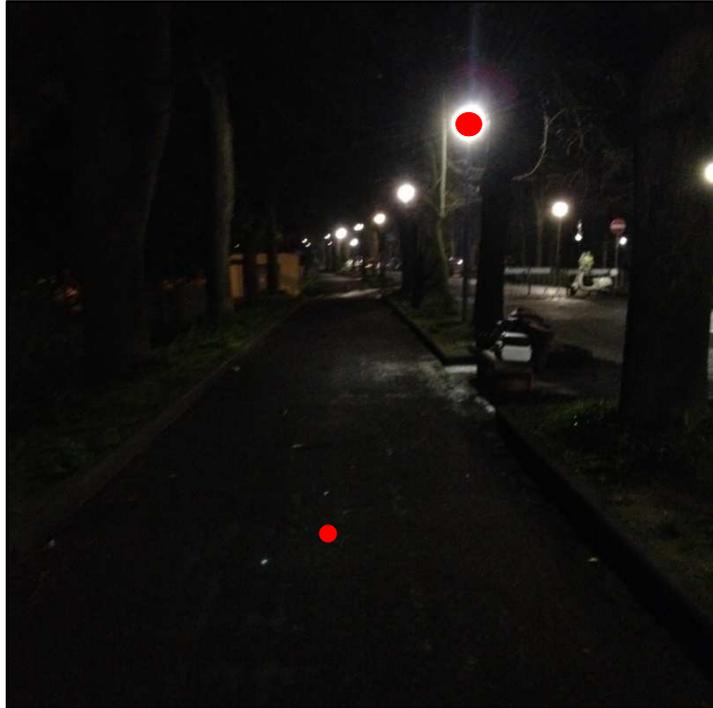


Figura 6.18- Punto su manto stradale, posizione L8_Apparecchio di illuminazione, posizione L9.

La strada assume un valore pari a $0,3 \text{ cd/m}^2$, leggermente superiore rispetto al contesto, in quanto al momento delle misurazioni si presentava bagnata, più riflettente rispetto alla normalità.

L'apparecchio di illuminazione presenta al contrario valori molto elevati, che oscillano intorno alle 4500 cd/m^2 , questo determina forti contrasti di luminanza; che creano sensazioni di accecamento guardando l'apparecchio, e di oscurità guardando il contesto.

E' compito di una buona illuminazione e di una buona progettazione illuminotecnica rendere visibili i vari individui, naturalmente indipendentemente dal fatto che portino abbigliamenti chiari o scuri.

6.3.2. Verifica dei rapporti di luminanza

Nella seguente tabella sono illustrati i rapporti di luminanza consigliati per varie condizioni di visione (UNI 10380).

Tabella 6.20 – Rapporti di luminanza

Rapporti di luminanza limite prescritti		Classificazione degli ambienti		
		X	Y	Z
Tra il compito visivo e le superfici ad esso adiacenti	più scure (MAX)	3	3	5
	più chiare (min)	1/3	1/3	1/5
Tra il compito visivo e le superfici lontane	più scure (MAX)	10	20	
	più chiare (min)	1/10	1/20	
Tra gli apparecchi di illuminazione e le superfici ad essi adiacenti, es. finestre, lucernari, ... (MAX)		20		
Ovunque entro il campo visivo (MAX)		40		

Nel caso in esame si andrà a considerare l'ambiente Y ("ambienti nei quali è possibile controllare le riflessioni solo nelle zone vicine alle aree di lavoro mentre è limitata la possibilità di controllo per le superfici più lontane") ed i rapporti di luminanza tra il compito visivo e le superfici lontane più scure e più chiare:

$$\frac{1}{20} < \frac{L_{CV}}{L_S} < 20$$

Tabella 6.21 – Rapporti di luminanza

RAPPORTI DI LUMINANZA		
Lcv/Ls	BIANCO	
POSIZIONE 1		
1/L6	6,5	VERIFICATO
1/L7	6,5	VERIFICATO
1/L8	4,3	VERIFICATO
1/L9	0,0003	NON VERIFICATO
POSIZIONE 2		
2/L6	4,0	VERIFICATO
2/L7	4,0	VERIFICATO
2/L8	2,7	VERIFICATO
2/L9	0,0002	NON VERIFICATO
POSIZIONE 3		
3/L6	4,0	VERIFICATO
3/L7	4,0	VERIFICATO
3/L8	2,7	VERIFICATO
3/L9	0,0002	NON VERIFICATO
POSIZIONE 4		
4/L6	6,0	VERIFICATO
4/L7	6,0	VERIFICATO
4/L8	4,0	VERIFICATO
4/L9	0,0003	NON VERIFICATO
Lcv/Ls	NERO	
POSIZIONE 5		
5/L6	1,000	VERIFICATO
5/L7	1,000	VERIFICATO
5/L8	1,500	VERIFICATO
5/L9	0,000	NON VERIFICATO

I vari contrasti di luminanza sono verificati in ogni posizione ad eccezione dei rapporti tra l'individuo, con abbigliamento sia chiaro che scuro, e l'apparecchio di illuminazione, che come accennato precedentemente presenta dei valori di luminanza molto elevati rispetto al contesto.

Conclusioni

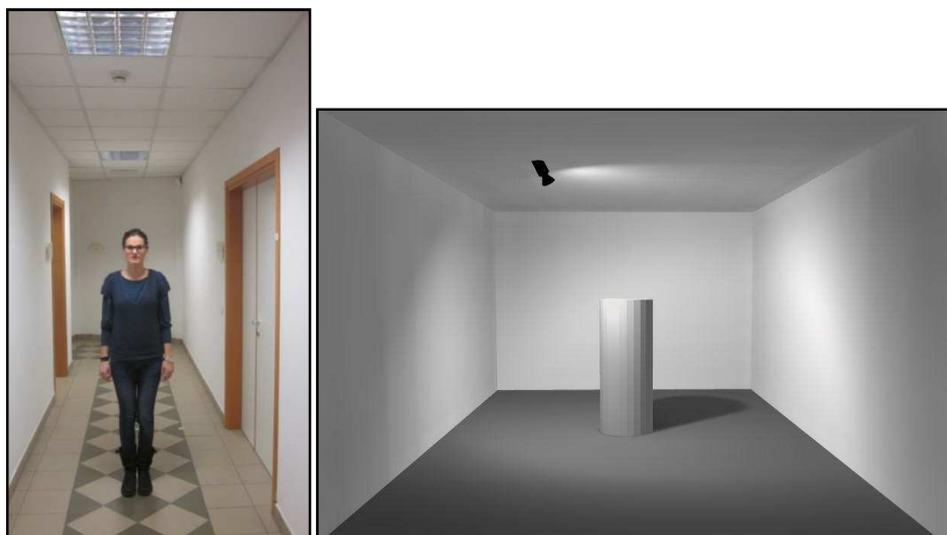
Al fine di poter trarre delle conclusioni sulla qualità dell'illuminazione è possibile fare delle considerazioni sia sulla scena interna che su quella esterna.

Ricordando le già citate tecniche di illuminazione, nel corridoio del Dipartimento di dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle costruzioni della Facoltà di Ingegneria di Pisa analizzato si trova un'illuminazione *base light*, una luce generale, diffusa, uniforme, caratterizzata dal dare il giusto risalto a tutto lo spazio espositivo. In questa configurazione con luci tutte accese si verifica un'ottima illuminazione, sinonimo di buona progettazione e di funzionamento ottimale degli apparecchi. Parzializzando il sistema, ovvero andando ad alternare il funzionamento degli apparecchi, si ottengono due nuove configurazioni.

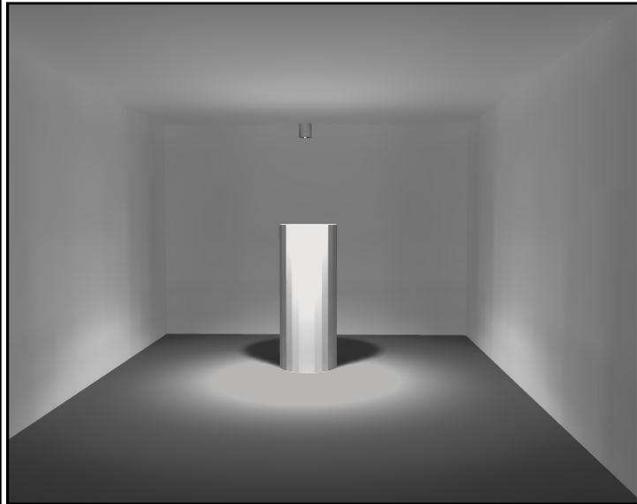
Le verifiche illuminotecniche evidenziano che in queste due condizioni si accetta di perdere dei parametri di tipo *qualitativo*, come l'uniformità media di illuminamento (U_0), non verificata su pavimento e pareti e l'indice di modellato semicilindrico (M_{sc}), non verificato per l'11% nella configurazione 2 e per il 22% nella configurazione 3, purché rimanga verificato il parametro *quantitativo* di base, l'illuminamento medio mantenuto (E_m) il quale risulta sempre verificato tranne che per il soffitto. Si può quindi sostenere che anche in una configurazione con luci non tutte accese ma alternate è possibile ritenere soddisfatte le verifiche di sicurezza, a discapito della perdita di parametri di tipo qualitativo.

Nel primo caso particolare analizzato, si evidenzia come al variare della posizione di un individuo rispetto all'apparecchio di illuminazione, si possono avere differenti tipi di illuminazione. Nello specifico le tre posizioni esaminate richiamano le seguenti tecniche di illuminazione:

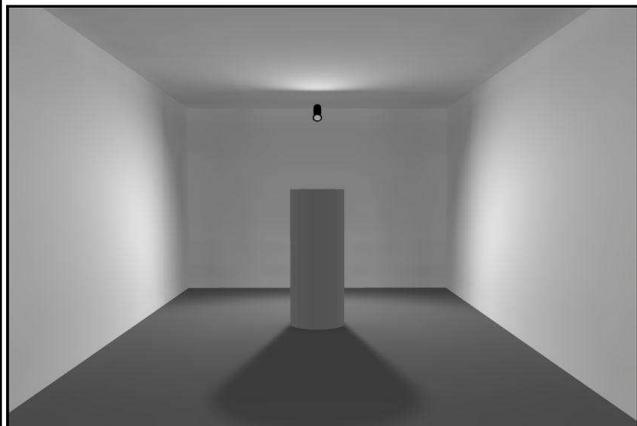
- *key light*, corrispondente alla posizione P1, 50 cm prima dell'apparecchio di illuminazione l'individuo appare illuminato in tutte le sue parti, si percepisce la sua tridimensionalità;



- *grazing light*, corrispondente alla posizione P2, precisamente sotto l'apparecchio di illuminazione, i raggi luminosi si discostano poco dall'asse principale dell'individuo, che presenterà zone di forte accento contrapposte a quelle di ombra marcata;



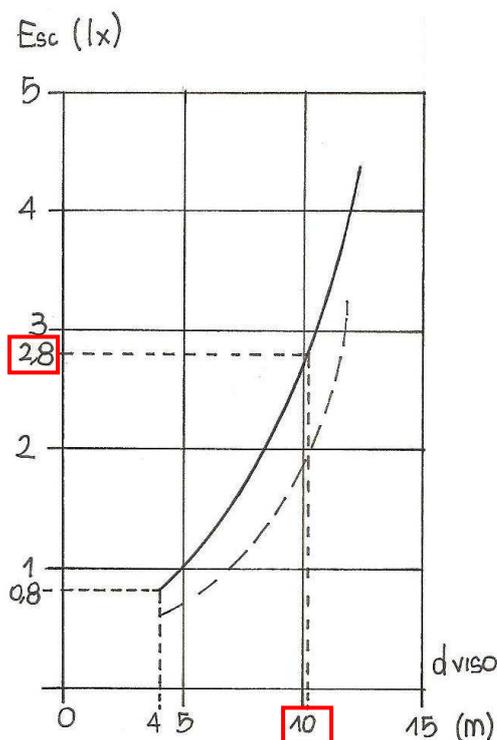
- *back light*, corrispondente alla posizione P3, 50 cm avanti rispetto all'apparecchio di illuminazione, lo scopo principale è quello di illuminare i contorni dell'individuo. In condizioni più marcate l'individuo appare in silhouette.



Le precedenti considerazioni sono più o meno evidenti e rilevanti a seconda dell'ambiente, dell'oggetto o del compito visivo che si ha da illuminare e mettere in risalto.

Per quanto riguarda la scena esterna analizzata, si tratta di un'illuminazione frontale rispetto agli alberi (apparecchi di illuminazione posizionati nel piano che taglia in orizzontale la parte mediana della chioma), mentre il pedone che si sposta passerà da un'illuminazione frontale, quando il palo di fronte è molto ravvicinato, ad un'illuminazione in silhouette, quando il palo è stato appena superato, creando differenti situazioni di illuminazione.

Le verifiche riguardanti l'illuminamento verticale minimo (nel caso in questione $E_{v,min}$ richiesto=7,5 lux), di importanza in quelle situazioni dove sia necessario evidenziare superfici verticali come aree di intersezione o di conflitto tra differenti utenze, non risultano verificate. Mentre i due fondamentali parametri cosiddetti del riconoscimento, ovvero l'illuminamento semicilindrico minimo (nel caso in questione $E_{sc,min}$ richiesto=3 lux) e indice di modellato semicilindrico (M_{sc}), risultano verificati per metà dei valori e più precisamente $E_{sc,min}$ risulta soddisfatto nel verso di "ANDATA", ma non di "RITORNO". Si menziona a tal proposito il diagramma che esprime i valori di E_{sc} in funzione della distanza di riconoscimento dei connotati del viso di una persona.



Nonostante la verifica dell'illuminamento semicilindrico minimo non sia verificata per il tipo di strada in questione, considerando che per il riconoscimento del viso alla distanza di 4 m sono necessari 0,8 lux, si può affermare che per il caso preso in esame $E_{sc,min}$ = 2,8 lux, ampiamente sufficienti per riconoscere le fattezze umane ad una distanza di ben 10÷11 m.

L'indice di modellato semicilindrico risulta anch'esso verificato per la metà dei valori misurati e più precisamente non è soddisfatto nei punti in corrispondenza degli apparecchi di illuminazione. La causa è da riscontrare principalmente nel tipo di illuminazione (frontale), si rischia di incorrere nell'abbagliamento per la ridotta altezza di installazione degli apparecchi. Queste, si possono considerare zone a maggior rischio a causa di un eccessivo contrasto di luminanze, si avvalora in tal modo la tesi secondo la quale non è l'intensità dell'illuminamento a migliorare la visibilità, quanto la sua corretta distribuzione.

Si è riscontrato inoltre che un individuo che indossa abbigliamento scuro, presenta valori di luminanza identici a quelli dell'ambiente circostante, rischiando addirittura di confondersi con lo sfondo.

Perciò è compito di una buona illuminazione rendere ben visibili i vari soggetti, soprattutto ai fini della sicurezza personale, indipendentemente dal fatto che indossino abbigliamento chiari o scuri.

Una buona illuminazione e di conseguenza la soluzione migliore scaturiscono in ciascun caso, che sia di interni o di esterni, da una preliminare indagine sul sito, seguita da un'analisi approfondita di tutti i parametri illuminotecnici di tipo quantitativo e qualitativo. Si è così dimostrato la necessaria utilità di effettuare una progettazione illuminotecnica per il comfort visivo, la salute, l'umore, l'atmosfera e la sicurezza di ciascun individuo.

Bibliografia

- ❖ UNI EN 12464-1 (luglio 2011) Luce e illuminazione- Illuminazione dei posti di lavoro- Parte 1: Posti di lavoro in interno;
- ❖ UNI EN 12464-1 (luglio 2011) : *Il modellato*;
- ❖ UNI EN 13201-2 (settembre 2004) Illuminazione stradale- Parte 2: Requisiti prestazionali (*Road lighting-Part 2:Performance requirements*);
- ❖ UNI 11248 -2007(*Road lighting-Selection of lighting classes*);
- ❖ UNI 10380 (1994)- *Illuminazione di interni con luce artificiale*;
- ❖ Gianni Forcolini: *Lighting. Lampade, apparecchi, impianti. Progettazione per ambienti interni ed esterni*; 2004, Hoepli Editore;
- ❖ Appunti tratti dalle lezioni del corso di “Illuminotecnica ed acustica applicata” a cura di Prof.Ing. Francesco Leccese a.a. 2011 – 2012.