

LIGHTHINK

SISTEMA MODULARE LED PER L'ILLUMINAZIONE URBANA



POLITECNICO DI MILANO



Scuola del Design
Corso di laurea in Design del prodotto industriale

LIGHTHINK

SISTEMA MODULARE LED PER L'ILLUMINAZIONE URBANA

CANDIDATO: MATTIA MARCON 761128
RELATORE: PROF. MAURIZIO FIGIANI

A.A. 2012-2013

A chi mi ha sostenuto,
in particolare ai miei genitori.

INDICE

1

INTRODUZIONE

09 Abstract
09 Scelte e motivazioni

2

11 Etnografia e ricerca sociale
14 Osservazioni sulla città di SSG
20 Contesto fisico e sociale
26 Profilo utente

UTENTE

3

27 Bisogni
28 Scenari
30 Dichiarazione d'intenti

STORIA

4

ILLUMINAZIONE & SICUREZZA

41 Caratteristiche sorgenti luminose
50 Pianificazione dell' illuminazione
52 L' illuminazione & la città dei pedoni
59 Requisiti tecnici

5

SORGENTI LUMINOSE

65 Tecnologie presenti e obsolete
76 La tecnologia LED
90 Lo stato dell'arte

6

SVILUPPO

97 Scelte e motivazioni
102 Sketch e prime idee
110 Modelli di studio
114 Idea definitiva

7

119 Descrizione
120 Moduli
122 Componenti principali
132 Componenti elettronici

PRODOTTO

8

136 Sistema di controllo
140 Configurazione moduli a parete
142 Configurazione moduli a terra
144 Proporzioni e dimensionamento

BIBLIOGRAFIA & SITOGRAFIA

151 Bibliografica
152 Documenti e tesi
153 Sitografia

01

INTRODUZIONE

ABSTRACT

Il progetto è finalizzato alla valorizzazione degli spazi urbani scarsamente frequentati. La tesi si propone di ricercare le tecnologie riguardanti le componenti di un sistema d'illuminazione urbana che aumenti la sicurezza percepita dalle persone di un determinato luogo, grazie al metodo d'illuminazione e al sistema di controllo annesso, facendo attenzione al consumo d'energia e alla limitazione dell'inquinamento luminoso.

SCELTE E MOTIVAZIONI

Sono molte le persone che provano uno stato d'ansia dovuto alla possibilità di essere derubati o aggrediti soprattutto di notte, e i luoghi dove maggiormente si manifesta questa sensazione sono i parchi pubblici o la strada. I ripetersi dei crimini "leggeri", quei piccoli reati che non costituiscono un pericolo per la vita degli individui, ma arrecano disturbo alla psicologia,

creando paure, ansie e timori negli individui. Il progetto nasce dall'esigenza di fornire sicurezza e benessere nella psicologia delle persone che si trovano, o percorrono un parco durante la notte. Trattandosi di luoghi pubblici si presta particolare attenzione al risparmio energetico, ottimizzando i costi di produzione e di gestione. Il prodotto inoltre ha come obiettivo quello di limitare il più possibile l'inquinamento luminoso che provoca danni di diversa natura: ambientali, culturali ed economici.

CARATTERISTICHE:

- Generazione sicurezza;
- Risparmio energetico;
- Limitazione inquinamento luminoso;

02

UTENTE

ETNOGRAFIA E
RICERCA SOCIALE

La parola etnografia ha molteplici significati: essa indica quel metodo di ricerca sociale, noto anche come osservazione partecipante, caratterizzato dal fatto che un ricercatore raccoglie informazioni sulla cultura e sulla vita quotidiana di un certo gruppo sociale osservando direttamente le persone e in qualche caso partecipando alle loro attività; al termine etnografia non solo viene associato un metodo di ricerca sociale ma designa anche il risultato della ricerca, ovvero monografie e saggi scritti dai ricercatori qualche tempo dopo la fine del lavoro sul campo; ultimo ma non meno importante l'etnografia è anche una forma particolare di esperienza umana, un viaggio alla scoperta di altri mondi, di altre culture.

Per praticare l'etnografia è dunque necessario la curiosità verso gli altri, la disponibilità a trascorrere molti mesi in compagnia di persone sconosciute e specialmente la capacità di

adattamento.

Gli etnologi per lo svolgimento della loro ricerca privilegiano un approccio induttivo, nel quale le ipotesi emergono direttamente dal lavoro sul campo armati di taccuino ad osservare tutto quello che avviene lì intorno, ad un approccio deduttivo nel quale esse vengono ricavate dalle teorie e poi testate nel mondo empirico.

Una ricerca etnografica è un insieme di azioni: per soddisfare una curiosità, per esaminare un problema ignorato o sottovalutato nella ricerca scientifica, per contrapporsi ad alcune interpretazioni correnti o, più probabilmente, per l'insieme di tutte e tre le ragioni, un sociologo decide di realizzare una ricerca empirica, di "scendere sul campo" utilizzando il metodo dell'osservazione partecipante. Non c'è nessun training che metta un sociologo al riparo dal fallimento, la ricerca etnografica è contraddistinta da

un'elevata imprevedibilità.

Con l'osservazione partecipante non si studiano tanto rappresentazioni, credenze, stati di coscienza, atteggiamenti quanto azioni sociali, o meglio persone che agiscono in "ambienti naturali" di vita quotidiana. Il sociologo deve spesso limitarsi a registrare quello che succede sotto i suoi occhi e tentare di costruire rapporti di fiducia con coloro che vuole studiare. La possibilità di accedere al campo e di riuscire a portare a termine la ricerca dipendono dalla capacità di ambientamento dell'etnografo. L'inserimento non sempre è scontato e si può addirittura immaginare che quanto più difficile è l'accesso tanto più soddisfacente sarà la ricerca. Durante la ricerca il sociologo può valutare non solo la realizzabilità dei progetti e delle aspirazioni, anche se ridefinire e spesso stravolgere i piani iniziali, e percorrere percorsi di cui non sospettava nemmeno

l'esistenza. L'etnografo con il passare del tempo impara a non porre troppi quesiti e a diventare una presenza gradita e discreta, ad aumentare le sue capacità relazionali e quelle di adattamento a situazioni impreviste. Anche la tecnica di ricerca qualitativa come l'intervista spesso è il risultato di una scelta fatta sul campo, intervistare i soggetti che studia può diventare per un etnografo, ad un certo punto della ricerca, un'azione indispensabile.

Durante la sua permanenza sul campo, il ricercatore è costretto ad accollarsi un ruolo.

1) Il ruolo di "membro periferico". Egli rifiuta di assumere una collocazione attiva all'interno del gruppo e sceglie di continuare a rimanere esterno.

2) Il ruolo di "membro attivo" il ricercatore accetta di svolgere uno dei ruoli normalmente disponibili all'interno del gruppo.



← Murales, Sesto San Giovanni

3) Il ruolo di "membro completo". È il ruolo più "partecipante", quello nel quale la comprensione dei significati che i soggetti attribuiscono a quello che fanno avviene per attribuzione.

Ciò che rende l'impresa etnografica problematica e imprevedibile è il fatto che, da un lato, quando inizia il suo studio, il ricercatore ha un'idea assai vaga di quello che succederà. L'esperienza etnografica diventa anche un'occasione per conoscere la propria identità morale, per misurare, sotto la pressione degli avvenimenti e l'urgenza delle scelte, la consistenza e la tenuta dei propri valori. La natura problematica sotto il profilo morale dell'impresa etnografica è particolarmente evidente nel caso della "ricerca coperta". L'etnografo non rivela il vero scopo della sua presenza sul campo ma rincorre a qualche forma di menzogna. I problemi etici possono presentarsi anche a ricerca completa e possono dipendere sia da quello che gli etnologi hanno scritto sia da qualche conseguenza imprevista di ciò che è avvenuto durante la ricerca sul campo. Sull'altro versante, quello delle conseguenze, è necessario decidere da che parte stare "lealtà verso i soggetti" o "responsabilità verso la comunità". Quella etnografica non è solo un'impresa conoscitiva ma anche un'avventura morale dagli esiti difficilmente prevedibili.

La scrittura per gli etnologi è un'attività importante quanto l'osservazione. Non scrivono solo testi compiuti, corretti, ordinati, ma anche appunti, promemoria e note di campo. Al termine della giornata, l'etnografo, con accanto i fogli dei suoi appunti, scrive il suo diario quotidiano. Nel testo finale si può sempre identificare uno stile di scrittura diversificato tra: un'impostazione analitica, manifestazione di pensare logico e scientifico o un'impostazione narrativa che avvicina quelle etnografiche alle opere letterarie.

Questo piccolo excursus sull'etnografia e la ricerca sociale, in particolare l'osservazione partecipante serve a spiegare che per progettare qualcosa che serva e aiuti le persone occorre prima di tutto conoscere gli utenti a cui ci rivolgiamo, i bisogni di cui necessitano per definire i requisiti del prodotto e il campo per la progettazione. La raccolta di dati rappresenta una parte fondamentale dell'attività di definizione dei requisiti. In relazione alla disciplina progettuale l'osservazione partecipante rappresenta una tecnica funzionale per identificare appunto i bisogni e stabilire i requisiti.



↑ Torre Quadra e Torre Marelli



↑ Torre dei modelli a sinistra, Centro direzione ABB a destra



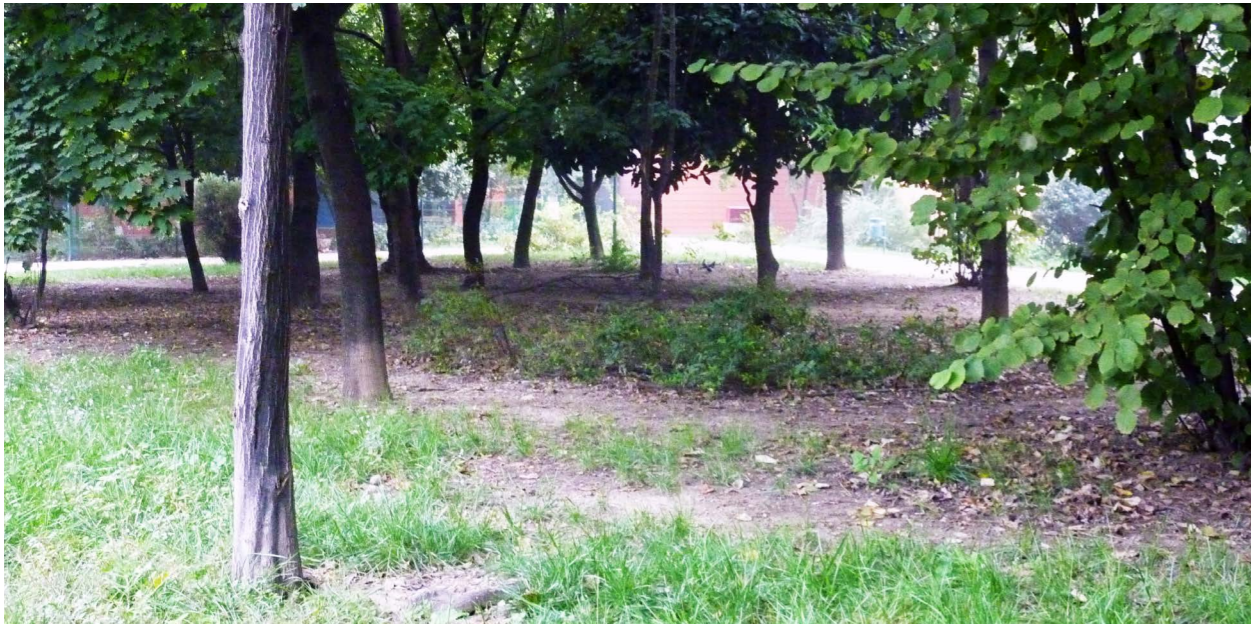
↓ Sede Campari



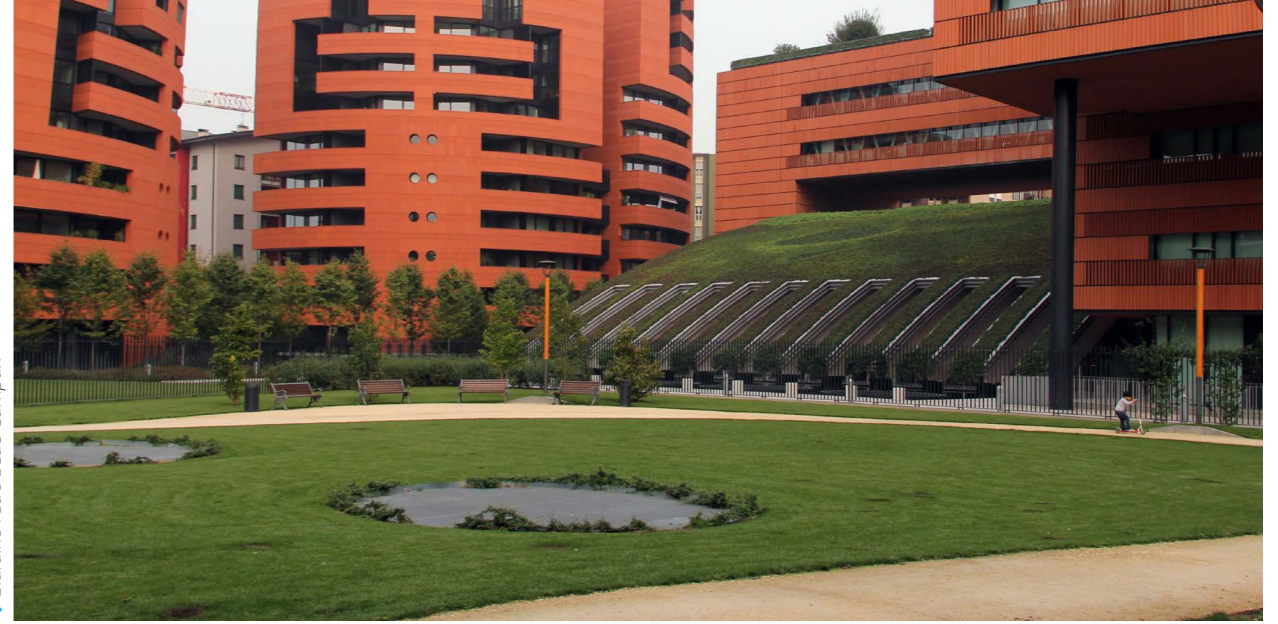
↓ Costruzione fronte sede Campari, Via Antonio Gramsci



Parco giochi Sesto San Giovanni



Fronte Parco giochi Sesto San Giovanni



Giardino retro sede Campari



Gioghi per Bambini. Parco delle Torri





↑ Anziani, Piazza Via Gorizia



↑ Bambino nel parco della sede Campari



↓ Parco delle torri

L'analisi in loco della città di Sesto San Giovanni, è stata sintetizzata in questa serie di foto. Quello che si può vedere dalle immagini, e che ho voluto far notare, è di una Sesto San Giovanni di contrasti, una città che vuole muoversi verso una direzione futura ma che non riesce a staccarsi dal proprio passato. Infine ho voluto identificare la città con un'unica frase, qui sotto riportata:

spazi della memoria,
SPAZIO AL FUTURO:
contrasti di una città in evoluzione

Durante il corso di Sintesi Finale è stata assegnata ad ogni gruppo una particolare zona della città di Sesto San Giovanni, ne mio caso rappresenta la piazzetta posizionata in via Gorizia, poco distante dalla fermata M1 Sesto Marelli.

Analizzando nel dettaglio la ragione sociale attuale della piazzetta è quella di luogo di transito durante l'intera giornata ad eccezione di sporadici casi o dei ragazzi che vi sostano la sera, vuole essere un luogo di ritrovo (tipico valore della piazza) ma viene prevalentemente vissuta come non-luogo, semplice area di transito. E' un luogo che non può definirsi né identitario, né relazionale, né storico. Come tutti i non-luoghi esso non crea né identità singola né relazionale. I non-luoghi si "percorrono" e dunque si misurano in unità di tempo.

Un giardinetto, con vari giochi per bambini, è collegato a quest'ultima da un cancelletto che rimane

aperto fino alle 22:00. Durante il giorno sostano prevalentemente bambini delle elementari e della materna accompagnati da genitori o nonni.

Il luogo è anonimo, senza identità (in particolare la piazzetta), per lo più di passaggio, con diverse destinazioni d'uso. Le persone più interessate (due fasce d'età - 3/10 anni e over 65), hanno poco spazio destinato ai loro bisogni.

I bambini hanno poche possibilità di interagire con i coetanei e con gli accompagnatori, gli ambienti sono inadatti, inoltre il luogo non risulta sicuro per esempio a causa dei dislivelli, e durante le ore notturne per la scarsa illuminazione.



↑ Parchetto Via Gorizia



↓ Piazza Via Gorizia



07:00 - 09:00 PREVALENTE PASSAGGIO

- Passaggio lavoratori verso gli uffici e metro
- Anziani e altre persone al poliambulatorio (apre alle 7.15)
- I bambini vengono portati a scuola



15:00 - 17:00 SOSTA

- Uscita bambini materna e elementari dalla scuole
- Il parchetto si riempie di bambini, genitori, nonni



09:00 - 12:00 PREVALENTE PASSAGGIO

- Le azioni che compiono, prevalentemente, anziani, sono: vagare senza meta, portare il cane al parchetto vicino, incontrarsi con gli amici, fare la spesa e altre commissioni



17:00 - 19:00 SOSTA E PASSAGGIO

- Ragazzi in piazza sui gradoni della fontana (dichiarano di venirci spesso)
- Bambini e genitori o nonni (fino alle 18.00) nel parchetto
- I lavoratori ritornano a casa



12:00 - 14:00 STASI

- La zona si svuota
- Qualche lavoratore mangia nel parchetto o legge il giornale



19:00 - 21:00 STASI

- La zona si svuota, probabilmente per la cena



14:00 - 15:00 PASSAGGIO FRONTE PIAZZA

- Ragazzi 10-13 anni passano nella zona senza fermarsi nel parco



21:00 in poi SOSTA

- Alcuni ragazzi sostano in piazza
- Qualcuno scavalca
- Probabilmente giro di droga nel parchetto



07:00 - 09:00 PASSAGGIO RADO

- Anziani e altre persone al poliambulatorio (apre alle 7.15)



15:00 - 17:00 SOSTA

- Il parchetto si riempie di bambini, genitori, nonni



09:00 - 12:00 PREVALENTE PASSAGGIO

- Le azioni che compiono, prevalentemente, anziani, sono: vagare senza meta, portare il cane al parchetto vicino, incontrarsi con gli amici, fare la spesa e altre commissioni



17:00 - 19:00 SOSTA E PASSAGGIO

- Ragazzi in piazza sui gradoni della fontana (dichiarano di venirci spesso)
- Bambini e genitori o nonni (fino alle 18.00) nel parchetto



12:00 - 14:00 STASI

- La zona si svuota



19:00 - 21:00 STASI

- La zona si svuota, probabilmente per la cena



14:00 - 15:00 PASSAGGIO FRONTE PIAZZA

- Ragazzi 10-13 anni passano nella zona senza fermarsi nel parco



21:00 in poi SOSTA

- Alcuni ragazzi sostano in piazza
- Qualcuno scavalca
- Probabilmente giro di droga nel parchetto

Dalle interviste registrate ho voluto estrapolare quelle che secondo me sono state le più significative

Data: 20.10.12

Luogo: Piazza Via Gorizia

Oggetto: M

Età: 70 anni

Disponibilità: Ottima

Metodo intervista: Coperta

S: Sia al parchetto qui che c'è dietro sia a quello davanti, soprattutto la piazzetta qua davanti e lei che magari vive qui in questa zona sa darmi qualche consiglio o qualche problematica da portare...cioè non so...c'è qualche problema, se avesse un nipote lo porterebbe qui?

O: Sì... (ostenta sicurezza)

S: Qui è sicuro...

O: Sì sì..

S: Ecco in quel senso volevo chiederle...un suo parere...

O: E sì..(ora incerto) vabbuene..però e..ci sono i....

eeee (non vuole dirlo) [intende non brave persone]

S: La "malagente"

O: Le persone che...adesso...(Se ne va senza salutare, quasi impaurito)

L'intervistato non si sente al sicuro di parlare delle persone che frequentano la piazza, denota che non è frequentata da brave persone quindi necessità di un maggiore controllo e di essere messa in sicurezza.

Data: 20.10.12

Luogo: Piazza adiacente Via Gorizia

Oggetto: M,F

Età: 70 anni

Disponibilità: Eccellente

Metodo intervista: Scoperta

...

S: Ma tipo di bisogni che magari sente rispetto a quella piazzetta la..come se le dicessero le do Tot. Mila Euro e le dicessero faccia quello che vuole in quella piazza...

S: A livello proprio funzionale...o una scultura un qualcosa di quel tipo...

O: Non so non avrei idea perché io mi trovo comodo... vado già nei miei parchetti che sono abbastanza ampi, e lì c'è tutto... perché ci sono i bagni... diciamo per andare...c'è l'acqua...la fontanella, per i cani c'è anche la cosa, ci sono i giochi dei bambini.

Bisognerebbe avere la mentalità secondo me di non...

O1: Sporcare di non strappare...

O: Di ampliare un po' questi giochi...un po' più creativi, perché sono un po' sempre i soliti...ad esempio mio figlio è andato a Berlino e ha detto che ci sono dei giochi impressionanti...

S: Sì la creatività dei giochi...

O: Bravo! ma qua credo che con la crisi...

Le due persone credono che un rinnovamento al parchetto (fa l'esempio dei giochi di Berlino) gioverebbe alla quantità di persone che ci andrebbero. Nella prima parte parlano dell'ampiezza dei parchetti che frequentano e successivamente accennano al bisogno di ampliare i giochi. Queste non sono necessità dirette, poiché loro non usufruirebbero delle infrastrutture ma, nell'eventualità che migliorassero i giochi frequenterebbero il parco per portare il loro nipoti.



↓ Intervista, Piazza, Via Gorizia



MARIO FAZIO

PROFILO

- Età: 70 anni
- Sesso: M
- Residenza: Quartiere Isola del Bosco delle Corti, Via Monfalcone, Sesto San Giovanni (Circoscrizione 3)

BACKGROUND

- Licenza media
- Operaio nelle Acciaierie Falk

ATTIVITÀ QUOTIDIANE

Mario pensionato di 70 anni si sveglia di buon'ora alla mattina, abituato ad andare a dormire presto alla sera. Solitamente le attività mattutine prevedono una camminata all'aria aperta, l'acquisto del quotidiano e il ritrovo con i coetanei al bar in via Monte San Michele per fare colazione e due chiacchiere.

La pensione gli permette la libertà di godersi la giornata, non avendo pressioni dovute al lavoro. Possedendo un cane è solito portarlo al parco nelle vicinanze.

Settimanalmente con la moglie si reca per fare la spesa al discount Sigma di fronte alla piazza transitando in essa e nel giardino retrostante. Il pomeriggio, verso le 16.00, va a prendere il nipote di sette anni e lo porta al giardino o all'oratorio dove può relazionarsi con altri coetanei.

Verso le 18.30 riporta il nipote dai genitori.

CARATTERE E CONTESTO

Mario è un anziano di buona salute, vispo e attivo per la sua età. Fonte di grandi soddisfazioni è la sua nipotina che porta spesso a divertirsi al parchetto di viale Gorizia. Il ricordo delle acciaierie è sempre presente e la vicinanza alle fabbriche è occasione per raccontare alla nipotina ciò che ha vissuto nella Sesto industriale.

Il mondo attorno a Mario è in continuo cambiamento dovuto all'avanzare della tecnologia troppo veloce per i suoi ritmi. I suoi ricordi sono principalmente legati al lavoro in fabbrica. Mario ha visto il processo di crescita e declino della sua città, ha seguito ogni sua trasformazione e riconosce le difficoltà attuali delle varie componenti sociali, a partire dai giovani.

L'analisi del contesto fisico e sociale del parchetto e piazzetta di via Gorizia mi ha portato a prendere in considerazione la fascia utente dell'anziano tra i 65 e 80 anni, a mio parere, la fascia maggiormente presente e influente nella zona da noi considerata. L'utente in questione è una persona che sfrutta la piazza in diversi modi: passaggio (per andare a fare la spesa o portare il cane fuori); sosta (quando, finita la scuola elementare, porta la nipotina a divertirsi nel parchetto). Il bisogno di sicurezza della piazzetta risulta la direzione progettuale definita al fine di creare benessere psicologico nell'utente. La sicurezza può essere definita diretta se genera un beneficio sull'anziano, indiretta se il senso di sicurezza finalizzato al nipote ne genera di conseguenza sul nonno.

- Sicurezza della piazza (benessere psicologico) - l'utente vuole circolare per la piazza senza dover pensare alla gente che la frequenta.
- Rinnovamento giochi piazza - maggior divertimento per il nipote.
- Legame più forte nonno/nipote - interazione più intensa tra i due utenti.
- Libertà di movimento - I movimenti dell'utente e le interazioni con lo spazio fisico devono essere facilitate.
- Benessere relazionale - Comunicazione con le altre persone resa più facile.
- Praticare attività fisica (benessere fisico).



Le persone che transitano nella piazza di viale Gorizia passano a testa bassa, lo vedono solo come un luogo di passaggio e non guardano quello che c'è attorno.



Gli spazi e gli artefatti presenti vengono usati in maniere non consona dai frequentatori creando disagio.



Non c'è interazione tra le persone, gli sguardi non si incrociano. L'insicurezza della piazza genera insicurezza nelle persone.



Gli utenti della piazza hanno il timore di parlare della stessa e della gente che la frequenta.



Le persone passano e guardano cosa c'è attorno a loro.



Gli spazi sono liberamente agibili.



L'interazione è maggiore.



Le persone sono libere di parlare tranquillamente sapendo che la piazza è frequentata da "brava gente".

L'obiettivo è la progettazione di un sistema d'illuminazione che, tramite un particolare sistema di controllo, generi un senso di sicurezza maggiore durante l'attraversamento di una determinata area, nella fascia oraria serale e notturna. Inoltre, deve permettere, tramite il risparmio energetico, un vantaggio economico rispetto le attuali fonti d'illuminazione.

DESCRIZIONE DEL PRODOTTO

Il prodotto o la serie di prodotti dovranno essere:

- Un oggetto che confluisca alla piazza un deterrente del senso di insicurezza che si prova attraversandola durante la notte. (SICUREZZA PSICOLOGICA)

VANTAGGI

Il maggior senso di sicurezza della piazza permetterebbe:

- Una maggiore interazione tra persone.
- Una maggiore libertà di movimento (per bambini e anziani).
- Un utilizzo libero degli artefatti presenti.
- Una maggiore frequentazione della piazza.
- Una minore frequentazione della piazza da persone poco raccomandabili.

VINCOLI

- L'oggetto dovrà essere studiato con forme e quindi misure adatte all'anziano e al bambino, e che non sia d'intralcio a qualsiasi persona interagisca con la piazza.
- Dovrà essere fatto con un materiale o più materiali adatti alle esigenze, ed essendo esposto ad agenti atmosferici dovrà resistere agli stessi.
- Non deve creare un impatto di stacco dagli oggetti presenti, deve essere in sintonia con il contesto dell'ambiente.
- Il costo dev'essere relativamente contenuto, che i vantaggi siano proporzionali alla spesa.
- Deve rispettare le norme in vigore.

STAKEHOLDER

- COMUNE DI SESTO SAN GIOVANNI
Il prodotto dev'essere capace di soddisfare le esigenze del comune, che risulti utile e che il prodotto valga la spesa per la produzione.



03

STORIA

EVOLUZIONE DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

L'illuminazione elettrica fu un prodotto concepito durante la rivoluzione industriale del XVII secolo con l'unico scopo di permettere le attività lavorative anche durante le ore notturne. Si può considerare l'avvento dell'illuminazione anch'essa una rivoluzione, economica e sociale, che ha cambiato radicalmente il modo di vivere sulla terra, infatti, se venisse a mancare, la popolazione rimarrebbe virtualmente paralizzata.

Precedentemente ai metodi di illuminazione che sfruttano l'elettricità esistevano le lampada ad olio e le candele, ma, costi eccessivamente elevati rendevano economicamente svantaggiose le attività notturne.

Paragonando la quantità di luce emessa dalle candele a una moderna lampadina, il consumo energetico sarebbe 2000 volte superiore utilizzando la prima fonte.

LE LAMPADE PIÙ ANTICHE

La prima luce artificiale è stata il fuoco, che inizialmente aveva altri utilizzi come: riscaldamento, protezione contro gli animali o per preparare il cibo. Solo quando furono inventate le torce fatte con rami di alberi resinosi, il fuoco è stato utilizzato come sorgente di luce.

La pericolosità di questa sorgente di luce unita all'utilizzo in maniera massiccia era causa di continui incendi, favoriti anche dalla struttura in legno della maggior parte delle abitazioni.

LAMPADE AD OLIO PRIMITIVE

La più vecchia sorgente luminosa conosciuta, costruita con quel preciso scopo, risale a circa 400.000 anni fa. Essa consisteva in pietre, conchiglie

e corni, riempite con grasso animale, vegetale o olio. In Europa, si utilizzava sia olio di oliva che di colza, perché bruciavano in maniera uniforme e senza fumo. Poi fu aggiunto uno stoppino fatto di muschio o altre fibre vegetali.

CANDELE E TORCE

La candela, rispetto alla lampada ad olio, è più recente. Fu inventata dai romani dopo la nascita di Cristo. Le prime candele erano di grasso animale solido (sego) o di cera di api. Solo nel 19° secolo, fu usata la paraffina per costruire le candele, ancora oggi utilizzata.

SUCCESSIVI SVILUPPI DELLA LAMPADA AD OLIO

Nuove tecnologie e più economiche per l'illuminazione sono state trovate durante la rivoluzione industriale, dal 1780 in poi susseguirono miglioramenti alle lampade ad olio, nuove invenzioni come la lampade a gas e, circa un secolo dopo, quelle elettriche.

Nel 1847, lo scozzese James Young ottenne cera di paraffina da olio di bitumi (successivamente la cera venne ottenuta direttamente da petrolio), che sostituì l'olio vegetale, troppo costoso, usato nelle lampade. In meno di un secolo la lampada ad olio si trasformò da sorgente primitiva a efficiente.

La disponibilità di un combustibile economico contribuì alla diffusione di tali lampade in tutti i livelli della società vittoriana; anche la casa più modesta si potevano trovare almeno una dozzina di lampade. Nel 1895 circa, terminò lo sviluppo delle lampade ad olio con introduzione della lampada ad olio di paraffina pressurizzata, e dotata di un "mantello" incandescente, realizzata da Welsbach.



↑ Lampada ad olio antica

ILLUMINAZIONE A GAS

L'esistenza del gas infiammabile era conosciuta da tempo, ma solo nel 18° secolo che l'uomo tentò di utilizzarlo a suo beneficio. Nel 1783 il tedesco J. Minckelers sviluppò un sistema di illuminazione a gas di carbone.

Il primo a sfruttare commercialmente il gas di carbone fu lo scozzese W. Murdock, che nel 1803 illuminò il cantiere dei lavori a Soho della Compagnia Boulton and Watt dove egli lavorava. Negli anni successivi questa tecnica si espanse riducendo i costi dell'80% rispetto all'uso di candele.

Nel 1807 a F.A. Winzer venne l'idea di centralizzare la produzione di gas e distribuirlo alla città attraverso una rete di tubi, formò quindi la "Compagnia Nazionale della Luce e del calore", che nel 1812 diventò la maggior società di gas del mondo.

LAMPADINE A GAS A "MANTELLO"

Per circa 25 anni furono effettuati numerosi tentativi per migliorare la luminosità della fiamma del gas utilizzando del materiale solido che la fiamma riscaldava fino all'incandescenza. Nel 1887 lo scienziato austriaco Carl Auer von Welsbach ebbe successo, riuscì nell'intento utilizzando un tubo di tessuto, inzuppato in una miscela di sali di torio e cerio. Il tessuto bruciava lasciando una struttura fragile. Questa lampada fu una valida alternativa alla lampada elettrica incandescente, che ne ritardò per molti anni l'espansione.

Solo dopo la guerra del 1940-45 l'illuminazione elettrica prese il sopravvento.



↓ Lampadario a gas di Argand

LA LAMPADA ELETTRICA AD ARCO

Nel 1802 H. Davy, in Inghilterra, portò vari metalli all'incandescenza utilizzando il flusso di corrente elettrica e scoprì nello stesso anno il principio dell'arco elettrico. Solo quando furono realizzati i primi generatori di energia elettrica (1850), l'applicazione dell'illuminazione elettrica diventò possibile.

Lo sviluppo della lampada elettrica cominciò nel 1850 con la lampada ad arco di carbone, i suoi miglioramenti proseguirono fino al 1900 quando raggiunse quasi la perfezione.

Uno dei problemi principali di questa lampada era l'impossibilità di collegare in parallelo più fonti luminose a una stessa alimentazione elettrica. Nonostante i progressi la lampada ad arco restò una sorgente di luce costosa e ingombrante.

Nel 1893, Jandus e Marks racchiusero l'arco elettrico in un'ampolla di vetro, con l'effetto di diminuire il consumo di carbone di circa l'80%. Nello stesso periodo dello sviluppo delle lampade, si perfezionarono i sistemi di produzione e distribuzione dell'elettricità, il che facilitò la diffusione dell'illuminazione elettrica. La prima applicazione pratica della lampada ad arco fu nell'illuminazione di scene teatrali. I tempi d'oro della lampada ad arco di carbone furono alla fine del XIX secolo dopo di che venne superata dalla lampada elettrica ad incandescenza.

Nel 1951, con l'arrivo della lampada allo xeno ad arco corto, la lampada ad arco di carbone cessò di essere utilizzata.



↑ Lampada ad arco di carbone

ILLUMINAZIONE PUBBLICA

L'inizio dell'illuminazione pubblica si può considerare dopo la metà del 17° secolo, fino a quel momento per l'illuminare gli spazi esterni si ricorreva alle torce, bastoni ricoperti di tessuto immersi in resina, grasso o sebo. Queste erano portate da servi che seguivano le carrozze dei loro padroni per illuminare la strada. Il primo esempio di illuminazione stradale fissa fu, nel 1669, ad opera dell'olandese Jan van der Heyden che installò delle lanterne ad olio nel centro di Amsterdam.

Dal 1810 in poi, il basso costo del combustibile e della manutenzione permise lo sviluppo dell'illuminazione a gas. Usato ancora oggi in certe strade, ma per motivi puramente suggestivi ed estetici.

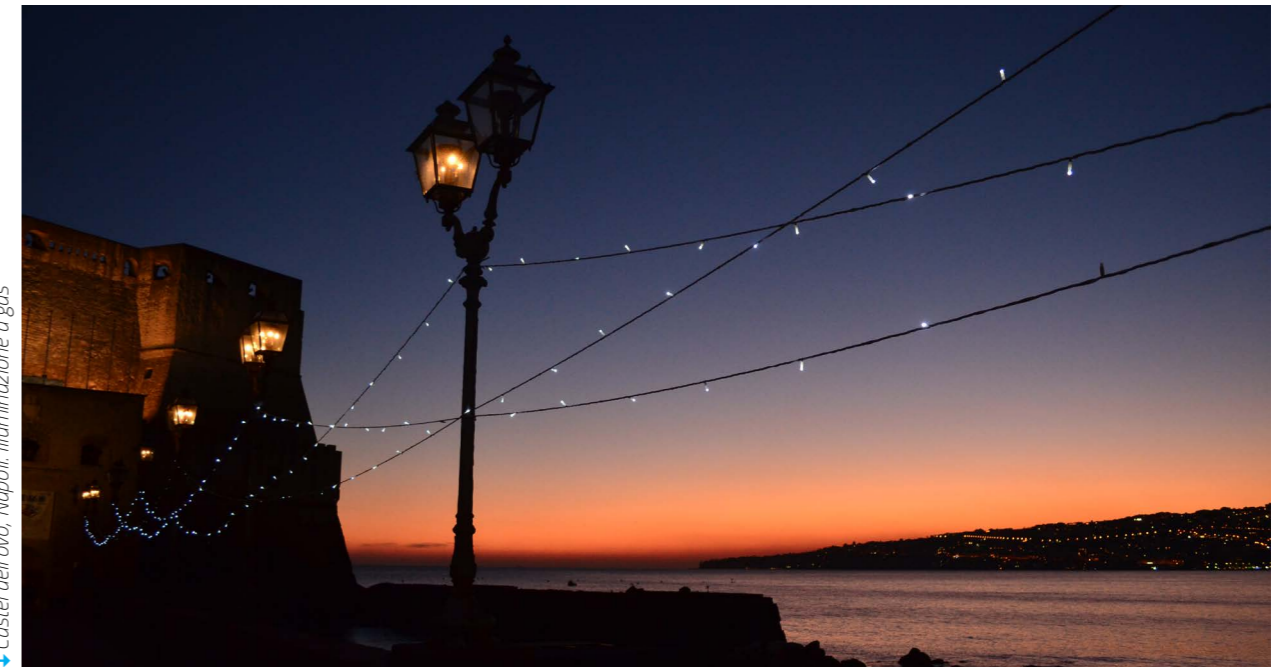
Nel 1844 vennero utilizzate le lampade ad arco di carbone per illuminare Place de la Concorde,

a Parigi. Dopo il 1878, tutte le piazze e strade principali della capitale francese furono illuminate con queste sorgenti di luce, al punto che la città da allora fu chiamata "Ville Lumière". Dopo pochi anni, seguirono altre importanti città di Europa dotandosi di illuminazione pubblica.

LA LAMPADA AD INCANDESCENZA

Lo sviluppo della lampada ad incandescenza iniziò nello stesso periodo della lampada ad arco di carbone. I risultati iniziali non furono incoraggianti, e furono preferite per lungo tempo le lampade ad arco elettrico di carbone.

Il primo a scoprire la proprietà di incandescenza di una barretta, o un filo metallico se attraversato da un flusso di elettroni fu, probabilmente, L. J. de Thenard nel 1801.



↓ Castel dell'ovo, Napoli. Illuminazione a gas

Sir Humphry Davy, nel 1808, scoprì che, il platino riusciva ad emettere, a differenza degli altri metalli, luce per un tempo considerevole. Ma nessuno riuscì a cogliere la potenzialità, anche perché a quel tempo le sorgenti di alimentazione elettrica non erano adeguate allo scopo e troppo costose.

A partire dal 1840 fino al 1854, numerosi ricercatori condussero esperimenti con la luce elettrica ad incandescenza. H. Goebel, un tedesco emigrato negli Stati Uniti, sigillò un filamento di bambù carbonizzato in una bottiglietta di profumo, ma non riuscì a sviluppare la sua invenzione per la mancanza di una sorgente di energia elettrica adeguata.

LA LAMPADA A FILAMENTO DI CARBONE

Alla fine del 1870, si conoscevano problemi per costruire con successo una lampada ad incandescenza, ma sconosciuti erano i metodi per risolverli.

Due erano che si conoscevano ed necessari per ottenere una lampada ad incandescenza:

- Un materiale con elevata temperatura di fusione ed evaporazione.
- Praticare un vuoto, per ottenere una durata accettabile del filamento.

Nel 1879, precisamente il 21 ottobre, Thomas Alva Edison usò un filamento di cotone carbonizzato, con il quale accese una lampada che funzionò per 40 ore. Altri scienziati lavorarono allo stesso problema. Joseph Wilson Swan di Newcastle-on-Tyne, Inghilterra, dopo trent'anni di esperimenti, presentò, nel febbraio del 1879, una lampada ad incandescenza alla Royal Society a Newcastle battendo così sul tempo Edison di 6 mesi. Però la lampada a filamento di carbone era ancora lontana dall'essere ideale.

L'efficienza era di circa 3 o 4 lm/W e la durata di un centinaio di ore (oggi, l'efficienza di una lampada ad incandescenza standard da 100W è di circa 15lm/W e la durata di 1000 ore).

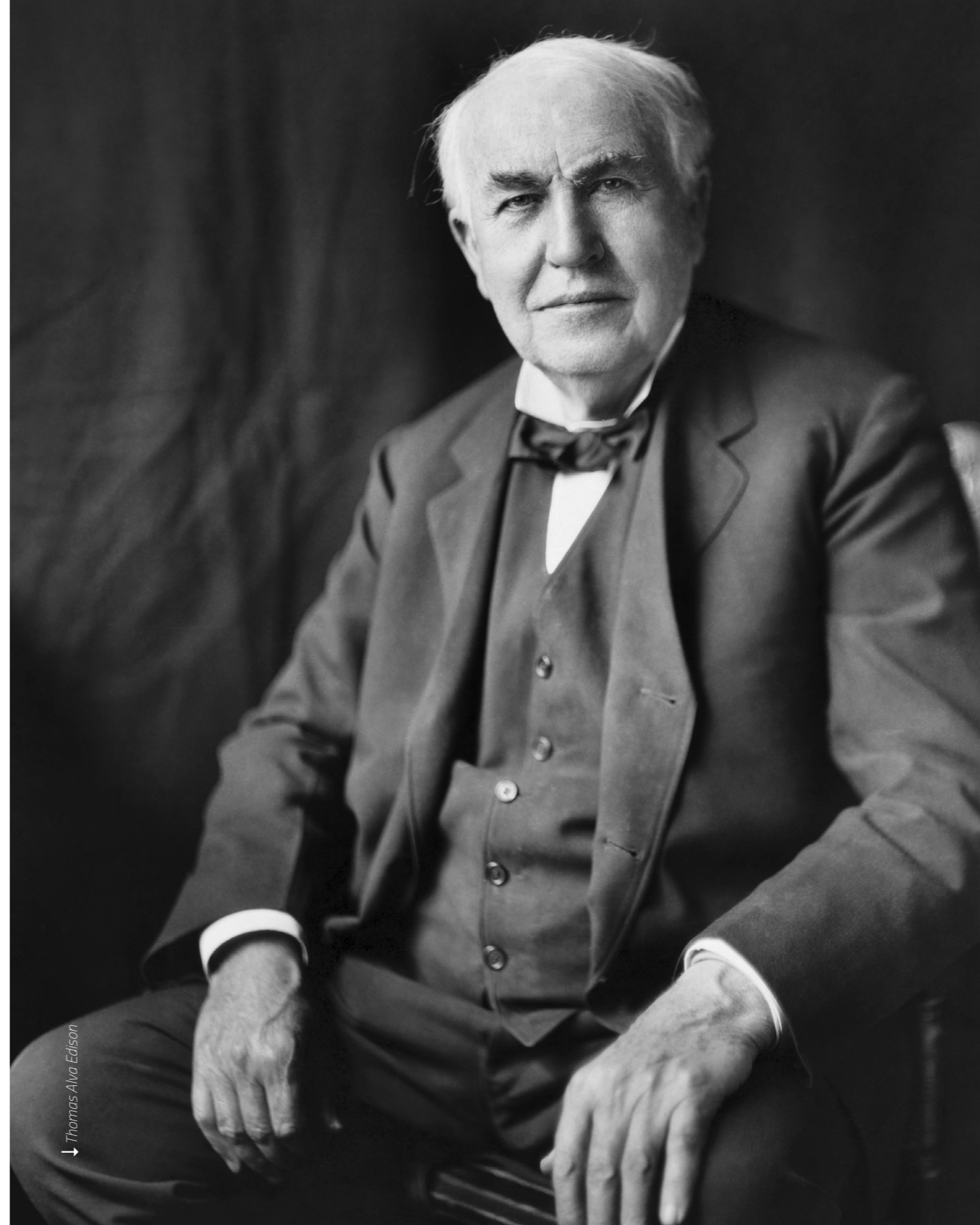
Nel 1891, Gerard Philips iniziò la produzione di lampade a filamento di carbone a Eindhoven, Olanda. Fu la nascita di quella che sarebbe diventata una delle maggiori società di produzione di lampade elettriche nel mondo.

LA LAMPADA A FILAMENTO DI TUNGSTENO

Dopo alcuni anni si scoprì un altro materiale che aveva proprietà più favorevoli del cotone carbonizzato, in termini di durata e efficienza, nascono le prime lampade a filamento di tungsteno. La produzione commerciale delle lampade a filamento di tungsteno iniziò nel 1907. La luce emessa per ogni watt di potenza assorbita era il doppio di quella del filamento di carbone, ma il problema più grave era ottenere dal metallo fili sottili di tungsteno, cosa che riuscì alla Siemens, e nel 1910 produsse le lampade chiamate Wotan.

Nel 1912, l'americano Irving Langmuir scoprì riempiendo il bulbo con un gas inerte si poteva diminuire l'evaporazione del filamento, e il conseguente annerimento del bulbo di vetro in cui era rinchiuso. Le nuove lampade furono commercializzate nel 1913 ed ebbero un successo così grande che tutte le altre lampade uscirono dal mercato.

Nel 1959, gli americani E.G. Zubler e F.A. Mosby aggiunsero al gas una piccola quantità di alogeni (bromo o iodio), ottenendo le lampade ad alogeni, che presentano un triplice vantaggio: una più lunga vita della lampada, una maggiore efficienza luminosa, che raggiunse il valore di circa 20lm/W, e un ridotto annerimento del bulbo.



↓ Thomas Alva Edison

LAMPADE A SCARICA IN GAS

LAMPADE FLUORESCENTI

Da 1924 in poi, in diverse parti del mondo, i produttori di lampade lavorarono per creare una lampada a scarica nei vapori di mercurio a bassa pressione. Nel 1935 apparve la prima lampada fluorescente tubolare. Con la seconda Guerra Mondiale, la produzione di lampade fluorescenti in Europa si interruppe e riprese nel 1945.

Le prime lampade fluorescenti avevano un'efficienza di 30lm/W e modeste qualità cromatiche, nel senso che il colore della luce emessa e il modo con cui questa "rendeva" i colori degli oggetti non erano soddisfacenti.

Nel 1946, furono realizzate lampade con efficienza doppia.

Nel 1973, l'efficienza aumentò del 50%, e anche le qualità cromatiche migliorarono. Uno sviluppo importante si ebbe nel 1980, con l'introduzione delle lampade fluorescenti compatte, dette anche a risparmio energetico.

LAMPADE A VAPORI DI MERCURIO AD ALTA PRESSIONE

La prima lampada a vapori di mercurio ad alta pressione apparve nel 1906, ma tali lampade non hanno mai avuto grande successo a causa della loro modesta efficienza luminosa e delle scarse qualità cromatiche. Nel 1961, fu inventata la lampada a vapori di mercurio ad alta pressione con l'aggiunta di alogeni, dando luogo alle lampade a vapori di alogenuri, commercializzate nel 1964, caratterizzate da elevata efficienza e buone qualità cromatiche.



↑ Lampada a vapori di Mercurio, Split Rock Lighthouse, Minnesota

LAMPADE A VAPORI DI SODIO

Le prime lampade a vapori di sodio, apparvero nel 1931, furono del tipo a bassa pressione. Ma la loro resa del colore era (ed è) praticamente nulla. Perciò, nel 1964, apparvero lampade al sodio ad alta pressione, caratterizzate da una discreta resa del colore, ma da una minore efficienza luminosa, oggi fino a 150lm/W. L'efficienza di tali sorgenti è aumentata dagli iniziali 50lm/W nel 1931 ai 200lm/W di oggi. Di recente, sono state introdotti sul mercato nuovi tipi di sorgenti luminose. Tra questi, le fibre ottiche,). Ancora più recentemente, sono apparse sul mercato lampade a LED (Light Emitting Diodes) sia come vere e proprie lampade per illuminazione generale, ma di questi parlerò nel capitolo 5.

CONCLUSIONE

Con l'introduzione dell'illuminazione elettrica, la dipendenza dell'uomo da quest'ultima è andata via via aumentando. Oggi, non vi è praticamente alcuna attività umana diurna che non sia stata estesa alle ore notturne. Ciò pone problemi di sicurezza e salute che richiedono attenzione alla qualità della luce in relazione al tipo di attività, anche perché recenti ricerche hanno mostrato che la luce ha anche importanti e numerosi effetti biologici, fra i quali quelli sulla secrezione di ormoni, sul sistema immunitario, sullo stato d'animo, sull'osteoporosi ed altri ancora. Sin dall'antichità, l'umanità è stata dipendente dall'illuminazione artificiale, ma solo negli ultimi 100 anni l'ingegneria illuminotecnica si è sviluppata tumultuosamente, fino ad evolversi in quella che è oggi: una scienza multidisciplinare, a servizio del benessere, dell'efficienza e della sicurezza dell'uomo. La sfida è di farlo a costi economici energetici e ambientali i minori possibili.

04

ILLUMINAZIONE & SICUREZZA

CARATTERISTICHE SORGENTI LUMINOSE

LA LUCE

La luce è un fenomeno fisico quando sia indagata nella sua natura di energia radiante, e fisicamente corrisponde ad uno spazio dello spettro elettromagnetico compreso entro i limiti di 380 e 780 nm.

La luce è un fenomeno visivo allorché si riconosca, che l'energia in essa contenuta vale per l'uomo in quanto origine e fonte della visione. La percezione dei colori, infatti, è determinata dall'illuminazione presente nell'ambiente.

La luce è un fenomeno di ordine biologico. Oltre la visione, la luce agisce nell'ambito naturale come fattore di conservazione e crescita per la maggioranza delle forme viventi.

LE GRANDEZZE FOTOMETRICHE

Le grandezze fotometriche sono definite partendo dalle grandezze radiometriche ma tenendo conto della curva di risposta dell'occhio umano, che agisce come un fattore di peso.

Le grandezze fondamentali utilizzate nell'illuminotecnica sono le seguenti:

- Il flusso luminoso (lm);
- L'intensità luminosa (cd);
- I fattori di assorbimento, di riflessione e di trasmissione;
- La luminanza (cd/m^2);
- L'illuminamento (lx)

FLUSSO LUMINOSO

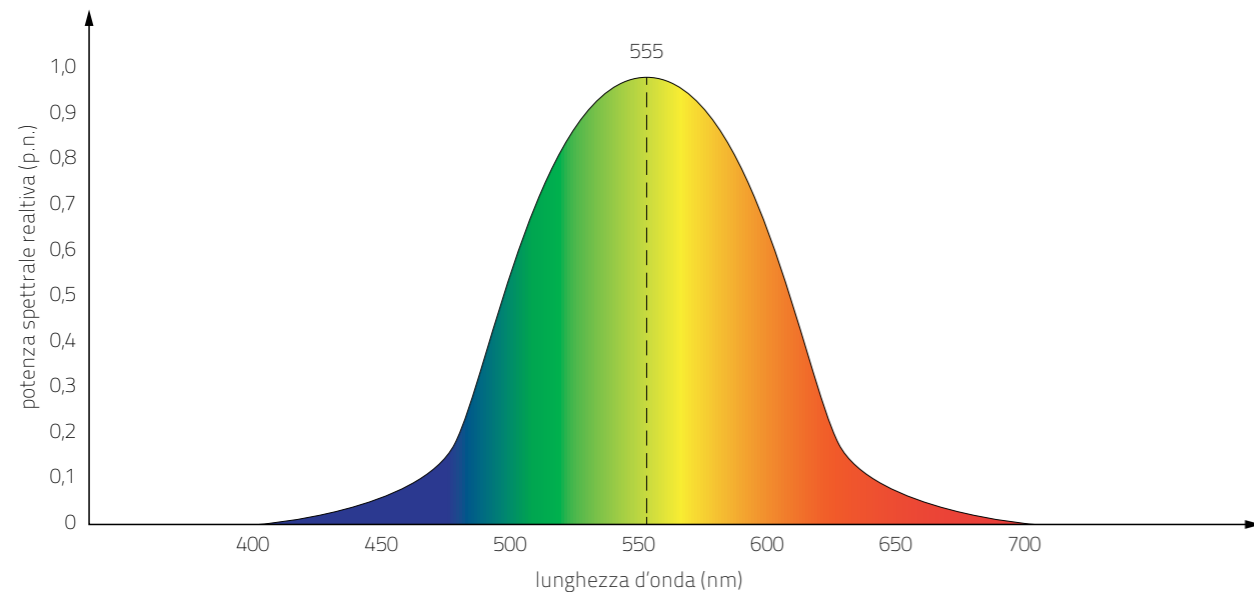
Il flusso luminoso definisce la quantità di energia luminosa emessa nello spazio da una sorgente nell'unità di tempo.

Per energia luminosa si intende, per convenzione, quella emessa nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 380 e 780 nm, oltre il quale cessa il fenomeno della visione.

Il flusso luminoso si identifica con il simbolo Φ , la sua unità di misura è il lumen (lm).

Il lumen viene definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 candela (cd) in tutte le direzioni.

Ad ogni radiazione di una determinata lunghezza d'onda corrisponde una sensazione visiva nell'occhio



↑ Figura 4.1 - Curva spettrale di visibilità dell'osservatore fotometrico focalizzato (CIE 1931)

che si manifesta con un colore (Figura 4.1):

- Violetto (da 380nm)
- Blu (435nm÷500nm)
- Verde (500nm÷565nm)
- Giallo (565nm÷600nm)
- Arancione (600nm÷630nm)
- Rosso (fino a 780nm)

Come si può notare dai valori del fattore di visibilità relativa in funzione delle lunghezze d'onda, la radiazione che dà luogo al valore massimo di sensibilità visiva è quella relativa ad una lunghezza d'onda di 555nm.

Sfruttando la relazione che lega frequenza e lunghezza d'onda si può ragionare nel campo delle frequenze.

Sapendo infatti che $v = c / \lambda$, con c pari a 299.792,458 km/s (tipicamente approssimato a 300.000 km/s), si possono determinare in funzione della frequenza le soglie precedentemente citate in funzione della lunghezza d'onda.

Si ottengono quindi:

- Rosso ($3.8 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $4.7 \cdot 10^{15}$ Hz),
- Arancione ($4.7 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $5 \cdot 10^{15}$ Hz),
- Giallo ($5 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $5.3 \cdot 10^{15}$ Hz),
- Verde ($5.3 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $6 \cdot 10^{15}$ Hz),
- Blu ($6 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $6.9 \cdot 10^{15}$ Hz),
- Violetto ($6.9 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $7.9 \cdot 10^{15}$ Hz).

La valutazione del flusso luminoso è data dall'integrale definito tra i due limiti del visibile ($\lambda = 380$ nm e $\lambda = 780$ nm) del prodotto tra la potenza della radiazione monocromatica emessa Φ_λ e il fattore di visibilità relativa $V(\lambda)$. Una costante K converte i watt in lumen (lm), unità di misura del flusso luminoso.

$$\Phi = 683 \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} 1V(\lambda) d\lambda = 220 \text{ lm}$$

- Φ flusso luminoso emesso dalla sorgente in esame (lm)
- K_m costante che converte i watt in lumen di potenza luminosa; il suo valore è di 683 come stabilito dalle convenzioni internazionali
- Φ_λ potenza della radiazione energetica emessa di data 1 (W);
- $V(\lambda)$ fattore di visibilità relativa.

INTENSITÀ LUMINOSA

L'intensità luminosa indica la quantità di flusso luminoso emessa da una sorgente all'interno dell'angolo solido unitario in una direzione data.

L'unità di misura dell'intensità luminosa è la candela (cd). L'intensità di una candela equivale all'intensità di una sorgente che emetta entro un angolo solido di uno steradiante la radiazione monocromatica di frequenza $v=540 \times 10^{12}$ Hz e di potenza $\Phi=1/683$ W.

L'intensità luminosa può essere definita come il rapporto fra il flusso elementare $d\Phi$, contenuto in un angolo solido avente per asse la direzione data $d\omega$, e lo stesso angolo solido:

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

Una sorgente luminosa puntiforme emette radiazioni della stessa intensità in tutte le direzioni, quindi il suo flusso luminoso si propaga uniformemente come generato dal centro di una sfera. Al contrario le sorgenti luminose artificiali non emettono luce in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio, quindi l'intensità può variare a seconda della direzione considerata.

FATTORI DI ASSORBIMENTO, DI RIFLESSIONE E DI TRASMISSIONE

Il flusso luminoso ϕ proiettato su un corpo è sempre soggetto a trasformazioni da parte delle superfici. L'energia trasportata dalle radiazioni luminose, se ricevuta da un materiale viene in parte trattenuta o, in altri termini, assorbita dal materiale e convertita in energia termica che, ne fa aumentare la temperatura superficiale.

Si definisce fattore di assorbimento il rapporto tra la quota di flusso assorbito ϕ_a e il flusso incidente ϕ_i , ed è caratteristico di ogni materiale.

$$\alpha = \frac{\phi_a}{\phi_i}$$

Analogamente si definisce fattore di riflessione ρ il rapporto tra flusso rinviato ϕ_r e flusso incidente ϕ_i ,

$$\rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

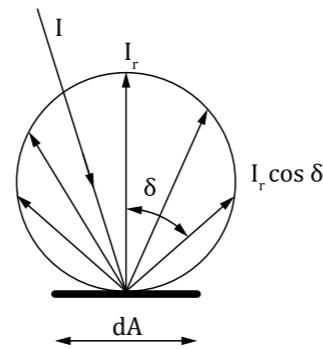
Nella tabella 4.1 sono elencati i fattori di riflessione e di trasmissione della luce per diversi tipi di materiali.

LUMINANZA

La luminanza è definita come "il rapporto tra l'intensità emessa da una sorgente luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie". È rappresentata dal simbolo L , l'unità è la candela su metro quadrato. La luminanza di un punto P di una superficie luminosa, osservata in una certa direzione, si riferisce all'intensità luminosa irradiata per unità di

superficie apparente, riferendoci alla figura, risulta:

$$L_\delta = \frac{I_\delta}{A_{app}} = \frac{I_r \cos \delta}{dA \cos \delta} = \frac{I_r}{dA}$$



La grandezza è indicativa dell'abbagliamento che può produrre una sorgente. Una lampadina di piccole dimensioni, per esempio con una superficie di emissione di un centimetro quadro con intensità di una candela, ha una luminanza di 10000 cd/m². Un'altra lampadina con pari intensità ma con superficie di cento centimetri quadrati ha una luminanza di 100 cd/m². Si può comprendere perché è meno fastidioso osservare direttamente un tubo fluorescente rispetto ad una lampada ad incandescenza.

Di seguito alcuni valori esemplificativi di luminanza:

- La superficie del sole: 1.650.000.000 cd/m²
- Il cielo in direzione sud: 16.000 cd/m²
- Il cielo in direzione nord: 8.000 cd/m²
- Un prato in un giorno assolato: 2.000 cd/m²
- Un foglio di carta bianco ben illuminato: 100 cd/m²
- Una lavagna illuminata artificialmente: 25 cd/m²
- Una strada ben illuminata artificialmente: 2 cd/m²

RIFLESSIONE DIFFUSA

Tipi di superficie	Fattore di riflessione ρ
Intonaco bianco	0,80-0,70
Laterizio	0,25-0,05
Calcestruzzo	0,40-0,15
Legname chiaro	0,30-0,20
Legname scuro	0,20-0,05
Piastrelle per pavimento	0,60-0,10

RIFLESSIONE MISTA

Tipi di superficie	Fattore di riflessione ρ
Vernice a smalto bianca	0,90-0,70
Alluminio lucidato e brillantato	0,95-0,85
Alluminio satinato	0,85-0,70
Alluminio spazzolato	0,60-0,55
Cromo satinato	0,55-0,50
Rame lucidato	0,45-0,40
Carta lucida bianca	0,80-0,70

RIFLESSIONE DIFFUSA

Tonalità di colore	Fattore di riflessione ρ	Tonalità di colore	Fattore di riflessione ρ
Bianco	0,90-0,75	Blu scuro	0,10-0,05
Avorio	0,85-0,80	Verde	0,10-0,05
Crema	0,80-0,70	Marrone	0,15-0,05
Rosa	0,60-0,45	Rosso scuro	0,10-0,05
Arancio	0,60-0,40	Grigio chiaro	0,40-0,15
Giallo chiaro	0,70-0,60	Grigio scuro	0,15-0,05
Verde chiaro	0,50-0,40	Nero	0,04-0,01
Azzurro chiaro	0,45-0,40		

TRASMISSIONE REGOLARE E DIFFUSA

Materiale	Fattore trasmissione τ
Vetro trasparente	0,90-0,80
Vetro acidato	0,85-0,70
Vetro opalino	0,60-0,20
Metacrilato trasparente	0,90-0,80
Metacrilato opalino	0,60-0,20
Alabastro (lastra sottile)	0,50-0,20
Marmo (lastra sottile)	0,30-0,05

↑ Tabella 4.1 - Fattori di riflessione e di trasmissione della luce per diversi tipi di materiali.

ILLUMINAMENTO

L'illuminamento rappresenta la quantità di luce emessa da una sorgente presente su una superficie. Si misura in lux (1x lux=lumen/metro quadrato) e viene indicato con il simbolo E.

In generale, l'illuminamento prodotto da un fascio luminoso su una superficie di area si definisce come il rapporto tra il flusso luminoso ϕ che viene intercettato dalla sezione e la sua area:

$$E = \frac{\phi}{A_R}$$

TEMPERATURA DI COLORE

Si definisce temperatura di colore l'aspetto cromatico di una sorgente.

La temperatura di colore indica quindi l'apparenza cromatica di un corpo nero radiante a quella temperatura e si esprime in gradi Kelvin. Una lampada a incandescenza con luce bianca calda ha, ad esempio, una temperatura di colore di 2700 K, mentre una lampada fluorescente con luce simile a quella naturale in pieno giorno ha una temperatura di colore di 6000 K.

TONALITÀ DELLA LUCE

La tonalità della luce viene descritta molto bene tramite la temperatura di colore.

Si possono distinguere i seguenti toni principali: tono

caldo (temperatura di colore < 3300 K), tono neutro (temperatura di colore > 3300 K e < 5300 K) e tono freddo (temperatura di colore > 5300 K). Nonostante abbiano la stessa tonalità di luce, in funzione della composizione spettrale della loro emissione, le lampade possono avere caratteristiche di resa del colore molto diverse.

Per bassi livelli di illuminamento si dovranno scegliere colorazioni di lampade calde, per alti livelli di illuminamento colorazione di lampade relativamente fredde.

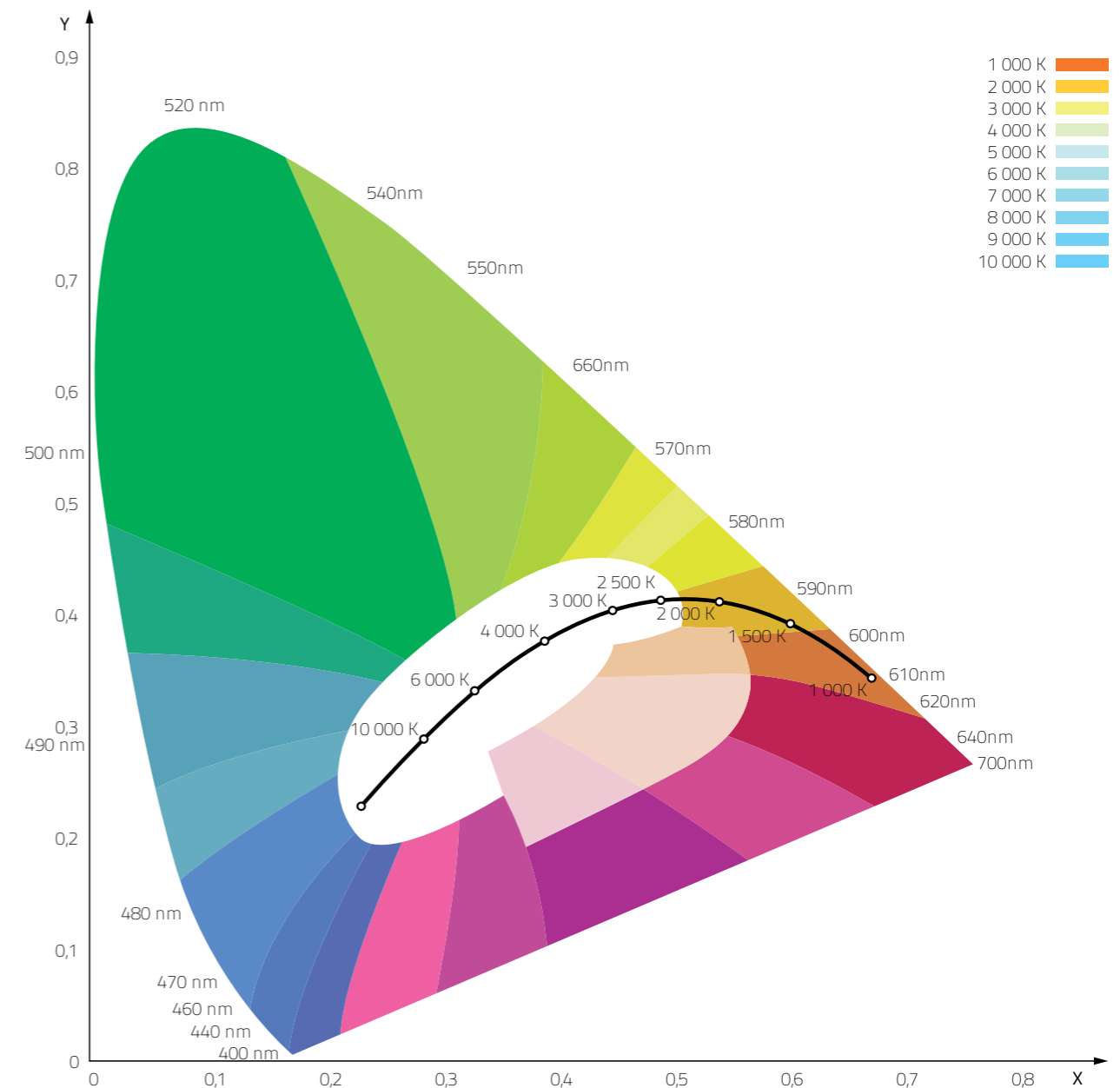
RESA CROMATICA

La resa cromatica di una sorgente luminosa esprime l'aspetto cromatico con cui un oggetto appare alla luce della sorgente stessa. Il tipo di luce emessa infatti influenza il modo in cui il colore di oggetti e superfici viene percepito.

Nell'ambito dell'illuminotecnica è usato il sistema colorimetro internazionale CIE, elaborato nel 1931 e successivamente perfezionato. Tale sistema serve a codificare i colori sia della luce prodotta, sia della luce riflessa o trasmessa da una superficie.

L'indice di resa cromatica (Ra) è compreso tra 0 e 100, dove 100 rappresenta la resa cromatica di una sorgente la cui luce non altera la percezione dei colori; è suddiviso in 6 categorie:

- Grado 1A : $90 \leq Ra \leq 100$ OTTIMO
- Grado 1B : $80 \leq Ra \leq 89$ MOLTO BUONO
- Grado 2A : $70 \leq Ra \leq 79$ BUONO
- Grado 2B : $60 \leq Ra \leq 69$ DISCRETO
- Grado 3 : $40 \leq Ra \leq 59$ SUFFICIENTE
- Grado 4 : $Ra \leq 40$ SCARSO 1



↑ Figura 4.2 - Regioni di colore, approssimazione diagramma CIE, il cui perimetro è luogo dei colori spettrali

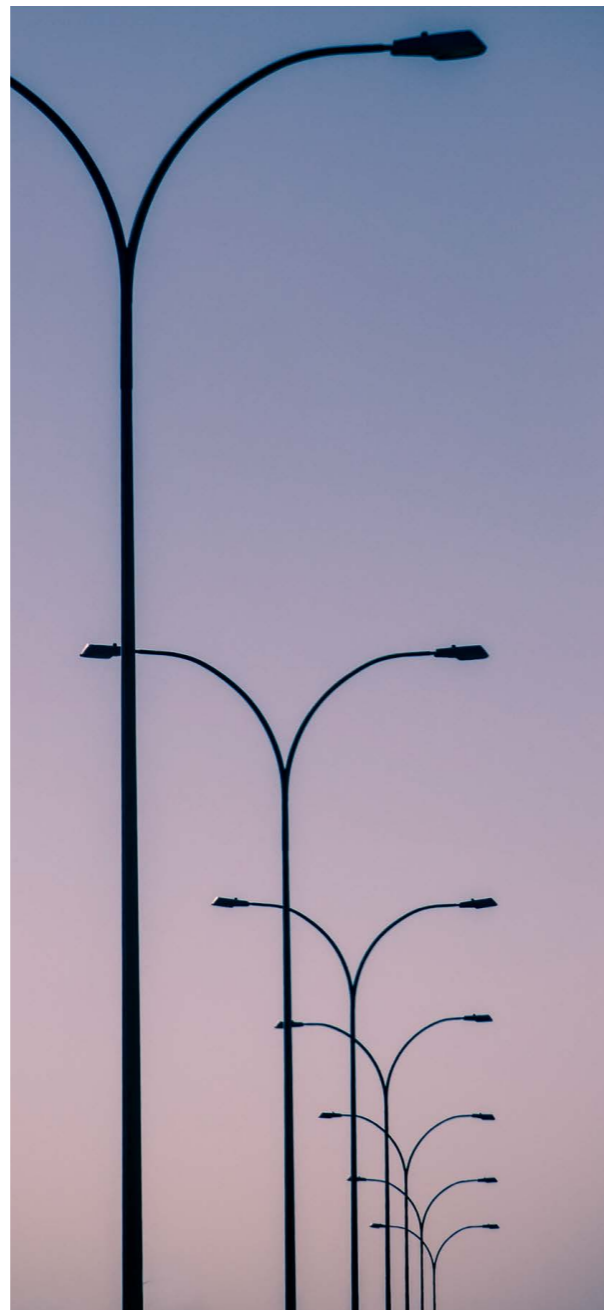
PRINCIPALI AMBITI D'INTERVENTO

La luce artificiale contribuisce a garantire la sicurezza pubblica e viene considerato come primo deterrente di azioni criminose o vandaliche, e quindi utilizzato come metodo di prevenzione. Accanto all'aspetto della sicurezza esiste anche quello visivo, permette la comunicazione e contribuisce a valorizzare l'ambiente esterno.

Sintetizzando, i principali ambiti di intervento dell'illuminazione sono i seguenti:

- Aree e spazi urbani con preclusione o limitazione del traffico di veicoli a motore;
- Aree e spazi adibiti a verde pubblico o privato;
- Monumenti, complessi monumentali, opere d'arte;
- Strutture e impianti per la pratica dello sport;
- Grosse aree in complessi industriali e infrastrutturali;
- Strade, autostrade, reti infrastrutturali, gallerie;

In ambito pubblico l'illuminazione urbana viene pianificata e realizzata in funzione del traffico veicolare, della sicurezza dei cittadini e della valorizzazione dei monumenti. E' evidente che dare luce al territorio urbano presuppone e implica uno specifico lavoro di pianificazione. Per risolvere questa esigenza è stato predisposto un nuovo strumento di pianificazione urbana, il cosiddetto Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC), un piano predisposto dal comune che deve integrarsi con i presenti piani regolatori.



↑ Esempio di illuminazione stradale

PIANO REGOLATORE DELL'ILLUMINAZIONE
COMUNALE

Il PRIC ha il compito di prevedere e disciplinare le modalità d'intervento nell'elaborazione dei progetti e nell'esecuzione degli impianti di illuminazione pubblica.

Le disposizioni elaborate da tale piano hanno applicazione su tutto il territorio comunale per gli impianti di futura realizzazione e per quelli già esistenti qualora sia obbligatorio per legge l'adeguamento.

In termini generali gli obiettivi che il piano regolatore dell'illuminazione intende perseguire sono i seguenti:

- Ridurre, sul territorio, l'inquinamento luminoso e i consumi energetici da esso derivanti;
- Aumentare la sicurezza stradale per la riduzione degli incidenti, evitando abbagliamenti e distrazioni che possano ingenerare pericoli per il traffico ed i pedoni (nel rispetto del Codice della Strada);
- Ridurre la criminalità e gli atti di vandalismo che, tendono ad aumentare là dove si illumina in modo disomogeneo creando zone di penombra nelle immediate vicinanze di aree sovrailluminate o situazioni di abbagliamento;
- Favorire le attività serali e ricreative per migliorare la qualità della vita;
- Accrescere un più razionale sfruttamento degli spazi urbani disponibili;
- Migliorare l'illuminazione delle opere architettoniche e della loro bellezza, con l'opportuna scelta cromatica delle intensità e del tipo di illuminazione, evitando inutili e dannose dispersioni della luce nelle aree circostanti e verso il cielo e senza creare contrasti stucchevoli con l'ambiente circostante (es. con

un'illuminazione troppo intensa);

- Integrare gli impianti di illuminazione con l'ambiente che li circonda, sia diurno che notturno;
- Realizzare impianti ad alta efficienza, favorendo il risparmio energetico;
- Ottimizzare gli oneri di gestione e relativi agli interventi di manutenzione;
- Tutelare, nelle aree di protezione degli osservatori astronomici, l'attività di ricerca scientifica e divulgativa;
- Conservare gli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette urbane ed extraurbane;
- Preservare la possibilità per la popolazione di godere del cielo stellato, patrimonio culturale primario.

Nella parte gestionale, infine, il PRIC traccia una valutazione economica-finanziaria, priorità in questa fase del lavoro è la ricerca di soluzioni progettuali e tecnologie idonee a ridurre al minimo l'incidenza dei consumi energetici pur perseguendo la qualità illuminotecnica.

Per accrescere i vantaggi economici, oltre ad un'azione condotta sulle apparecchiature per l'illuminazione è necessario prevedere una razionalizzazione e standardizzazione degli impianti di servizio (linee elettriche, palificate, etc..) e di un utilizzo di impianti ad elevata tecnologia con bassi costi di gestione e manutenzione.

LA CITTÀ DEL PEDONE

Per città del pedone si intendono tutte quelle aree in cui il traffico veicolare è limitato o non presente, alcune zone di esempio sono:

- Zone centrali dei centri abitati;
- Zone commerciali della città, caratterizzate dalla presenza di negozi;
- Centri storici;
- Parchi e giardini;
- Parcheggi;

Ovvero quelle zone dove l'illuminazione è al servizio del cittadino e dell'ambiente urbano, e non della rete dei trasporti, in queste aree la presenza della luce artificiale permette di assolvere a più compiti.

RICONOSCIMENTO DELLA ZONA

Il pedone deve trarre una sensazione di sicurezza dal riconoscimento della zona in cui si muove, e dalla possibilità di distinguere gli ostacoli che giacciono sul piano da percorrere.

I parametri principali da tenere in analisi sono l'illuminamento medio (la quantità di luce alla quota della pavimentazione) e il contrasto delle luminanze C che si crea tra ostacolo e il suo sfondo. Una buona percezione di un ostacolo si ha quando la sua sagoma risulta in positivo o in negativo su uno sfondo.

$$C = \frac{|L_o - L_a|}{L_a}$$

- L_o luminanza dello sfondo
- L_a luminanza dell'oggetto

La soglia minima di contrasto Cs è dettata da La luminanza dello sfondo, nelle aree pedonali siamo in presenza di valori modesti di La. Riferendoci quindi al diagramma (CIE n.19, An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance, 1981) il valore di Cs è compreso indicativamente tra 0,3 e 3.

La luminanza di una superficie dipende anche dal fattore di riflessione (r).

Non potendo predeterminare r, conviene scegliere per lo sfondo fattori di riflessione piuttosto alti, ossia superfici di tonalità chiara.

L'altro parametro che determina le luminanze è l'illuminamento. Per avere dei contrasti elevati di luminanze tra i piani orizzontali e verticali di uno stesso materiale è necessario che l'illuminamento medio sui piani orizzontali (E_h) prevalga su quello dei piani verticali (E_v). Come valore minimo di illuminamento sono consigliati i 2 Lx, quantità di luce che le norme (CEI 64-10) ritengono sufficiente per l'evacuazione di persone in condizioni di emergenza. La Norma EN 13201 identifica le aree pedonali, insieme a quelle verdi, nei raggruppamenti E1 ed E2, per casi in cui la destinazione della zona è prevalentemente pedonale, però non escludendo totalmente il traffico dei veicoli lenti e dei ciclisti. (Vedi tabella 4.2 pagina 53)

Successivamente si ricerca la classe che soddisfa le condizioni definite dalle variabili:

- Rischi di vandalismi e di azioni criminose;
- Necessità di riconoscimento dei volti delle persone;
- Entità del flusso di persone;
- Entità della luminanza media dell'ambiente circostante;

Velocità tipica degli utilizzatori principali (km/h)	Tipo di utilizzatore			Sigle dei raggruppamenti	
	Utilizzatore principale	Altri utilizzatori	Utilizzatori esclusivi		
>60	Traffico motorizzato		Veicoli lenti Ciclisti Pedoni	A1	
			Veicoli lenti	Ciclisti Pedoni	A2
			Veicoli lenti Ciclisti Pedoni		A3
>30 e ≤60	Traffico motorizzato Veicoli lenti		Ciclisti Pedoni	B1	
			Pedoni	B2	
		Ciclisti	Pedoni	Traffico motorizzato	C1
>5 e ≤30	Traffico motorizzato Pedoni		Veicoli lenti Ciclisti	D1	
			Veicoli lenti Ciclisti	D2	
		Traffico motorizzato Ciclisti	Veicoli lenti Pedoni	D3	
		Traffico motorizzato Veicoli lenti		D4	
		Ciclisti Pedoni			
Velocità	Pedoni		Traffico motorizzato Veicoli lenti Ciclisti	E1	
			Traffico motorizzato Veicoli lenti Ciclisti	E2	

↑ Tabella 4.2 - Classificazione delle vie e strade a seconda delle condizioni ambientali

Nella seguente tabella sono contenuti i dati dell'illuminamento orizzontale minimo e medio.

Classe	Illuminazione orizzontale	
	E in lx ^a [minimo mantenuto]	E _{min} in lx [medio]
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 garantire uniformità, il valore effettivo dell'illuminazione E media fornita non deve superare di 1,5 volte il valore minimo E indicato per la classe.

↑ Tabella 4.3 - Classi relative ai raggruppamenti E1 e E2 Tabella 4.2

In condizioni normali si selezionano le classi S3 e S4, mentre per prestazioni superiori si scende a S1 e S2.

L'espressione "medio mantenuto" e "minimo mantenuto" riportate in tabella hanno il seguente significato:

- "Medio" è la media dei valori rilevati nei vari punti della zona;
- "Minimo" è il valore più basso rilevato;
- "Mantenuto" è il valore che assume l'illuminamento nelle condizioni peggiori di invecchiamento.

RICONOSCIMENTO DELLE PERSONE

Il senso di sicurezza e protezione che si avverte in un ambiente esterno appartiene alla sfera della psicologia umana, uno dei fattori che influenza fortemente le persone in questo ambito è il dominio visivo dello spazio circostante.

Ai fini della sicurezza assume un ruolo importante la capacità di identificare le persone, o almeno di compiere un sommario riconoscimento delle loro fattezze, dell'abbigliamento, del comportamento. Vedere ed essere visti sono gli elementi primari del controllo interpersonale. Queste operazioni devono avvenire in tempi brevi e in spazi utili.

La disciplina antropologica che considera lo spazio che si interpone tra gli individui è la prossemica, e distingue quattro domini, o zone, in funzione della distanza a cui si trovano soggetti:

- Zona intima;
- Zona personale;
- Zona di interazione sociale;
- Zona pubblica;

L'ultimo è il dominio che interessa la sicurezza, e si divide in "vicinanza", lo spazio compreso tra un minimo di 3 metri ai 10 metri, e di non vicinanza, oltre i 10 metri.

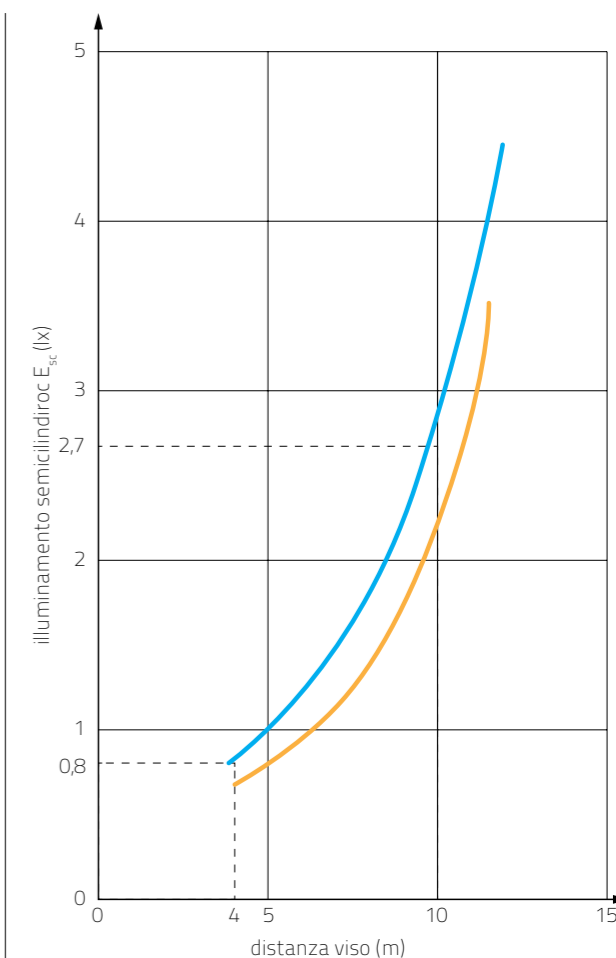
La distanza minima che consente a un soggetto normalmente vigile di intraprendere una qualsiasi azione evasiva, oppure difensiva, di fronte ad un segnale di minaccia, è pari a circa 4m. Sulla base di questo dato si è passati alla ricerca delle condizioni di illuminazione che permettono il migliore riconoscimento a 4 metri di distanza. Tali condizioni

sono rappresentate da un illuminamento semi-cilindrico E_{sc} . Non sono adatti né l'illuminamento orizzontale né quello verticale, poiché la figura umana non può essere ridotta ad un piano, certamente più realistico il dato dell'illuminamento semi-cilindrico che tiene conto delle tre dimensioni, cioè dei rilievi volumetrici delle fattezze umane.

E_{sc} è la media dell'illuminamento del semicilindro avente diametro infinitesimale e come asse longitudinale coincidente con la persona, è come altezza di misurazione 1,5 metri dal suolo. Il miglior riconoscimento del viso alla distanza di 4m avviene quando E_{sc} è uguale o superiore a 0,8 lux in accordo con la norma EN 13201.

Si può notare dal grafico che in presenza di abbagliamento (curva arancione), si registra una crescita del valore di E_{sc} .

Per quanto riguarda la necessità di rendere l'effetto di modellato del viso e della figura umana, in altri termini i rilievi di plasticità, si consiglia di tenere come parametro di riferimento, il rapporto tra illuminamento verticale E_v e quello semi-cilindrico. Come range di valori accettabili si assumono 0.8 e 1.3, sempre misurato all'altezza di 1.5 m.



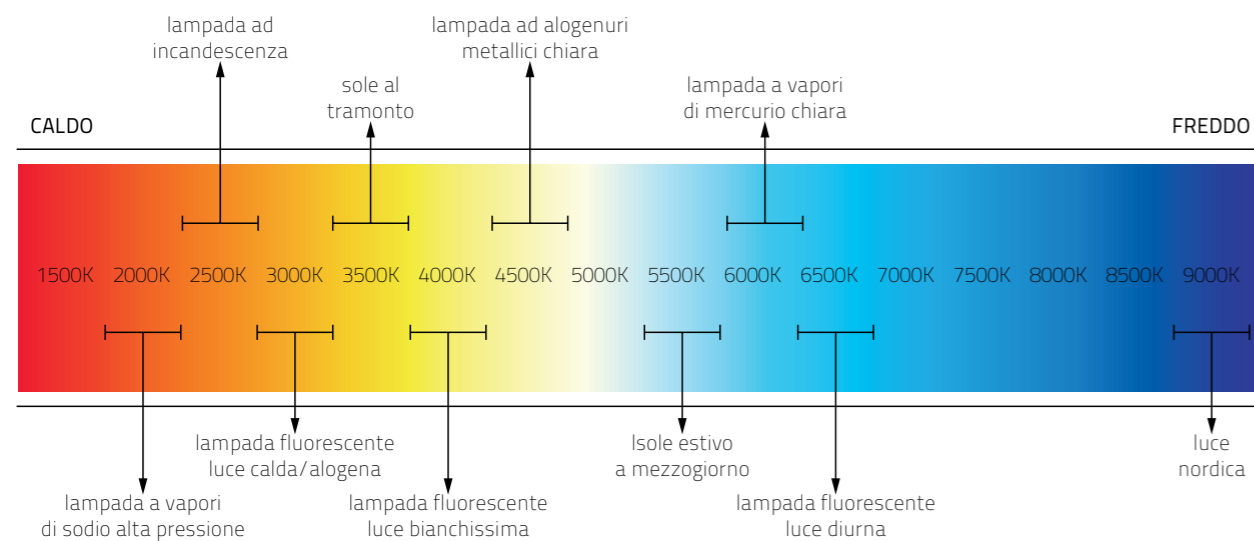
↑ Figura 4.3 - Valori dell'illuminamento semi-cilindrico in funzione della distanza di riconoscimento dei connotati del viso di una persona, per un'altezza convenzionale del viso di 1,5 m

COMFORT VISIVO

Il comfort visivo deriva da un giudizio di generale soddisfacimento in una media significativa di osservatori. I punti fondamentali per mantenere un ottimo comfort visivo sono molteplici. Il carattere di domesticità che si vuole dare alle aree pedonali suggerisce di adottare una luce di tonalità calda, con temperatura di colore correlata inferiore ai 4200 K e superiore ai 2500 K, in modo da non avere forti alterazioni cromatiche rispetto all'illuminazione solitamente usata per gli interni. (Vedi figura 4.4) Si abbia una luce con buona resa del colore; Si consiglia l'impiego di lampade con indice Ra di resa del colore non inferiore a 80 per le strade dove maggiormente si svolge il traffico pedonale. Si attui un'attenta limitazione del flusso luminoso diretto verso l'emisfero superiore; tale flusso deve

essere indirizzato soltanto verso le superfici che costituiscono l'ambiente senza inutili e dannose dispersioni verso la volta celeste, e nella misura effettivamente necessaria per creare illuminazione d'ambiente allo scopo di rendere confortevole e riconoscibile il posto. La luce dispersa verso l'alto costituisce spreco d'energia e può contribuire ad offuscare la volta celeste.

Oltre ai punti appena enucleati è necessario salvaguardare l'aspetto diurno dell'ambiente e l'area presa in considerazione. L'inserimento dei corpi illuminati non deve impattare sull'ambiente o alterare la fisionomia architettonica, ove possibile è raccomandabile installare i punti luminosi sulle facciate degli edifici, quindi in posizione più defilata possibile alla vista. Ne deriva un aspetto più pulito della città.



↑ Figura 4.4 - Temperatura di colore delle varie sorgenti luminose

ABBAGLIAMENTO

E' necessaria un'opportuna limitazione dell'abbagliamento, non soltanto per non compromettere le condizioni di visibilità, ma anche per assicurare una buona condizione di comfort per chi transita per la strada.

Gli esperimenti effettuati hanno consentito di elaborare il parametro D dato dal prodotto (Norma EN 13201):

$$D = I_{max}A^{-0,5}$$

- **I_{max}** è il valore di intensità massima dell'apparecchio che forma un angolo di 85° con l'asse verticale
- **A** è l'estensione dell'area luminosa appartenente all'apparecchio su un piano perpendicolare alla direzione dell'intensità I_{max} .

Classi di abbagliamento	Valori massimi dell'indice D
D0	-
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

↑ Tabella 4.4 - Valori massimi dell'indice D

La tabella 6.10 raccoglie i limiti critici posti dalla norma EN 13201. Le classi D sono da adottare nel seguente modo:

- D1 $h > 6m$, in sentieri e percorsi secondari;
- D2 $h > 6m$ in percorsi principali e in aree di sosta;
- D3 $6m > h > 4,5 m$
- D4 $h < 4,5$

INQUINAMENTO LUMINOSO

Tra le molte forme di inquinamento legato al progresso civile e ai consumi di massa, bisogna elencare quello luminoso, creato indirettamente dalle luci artificiali utilizzate negli esterni, il cui effetto più visibile consiste in una luminanza velata nella volta celeste a causa della quota delle radiazioni luminose, IR e UV, disperse verso l'emisfero superiore.

E' possibile limitare o contenere questa forma di inquinamento indiretto, i principi da seguire per questa azione di contenimento si riassumono nella limitazione del flusso luminoso orientato verso l'emisfero superiore.

Dedicata al controllo e alla limitazione dell'inquinamento luminoso, la norma UNI 10819 (Impianti di illuminazione esterna. Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso. Marzo 1999) consente di affrontare le problematiche nel modo più corretto. La norma tratta degli impianti di illuminazione esterna, definendone i requisiti ai fini della limitazione delle quote di flusso ritenute inquinanti.

Introduce dei parametri che devono essere rispettati, il più importante è il rapporto medio di emissione superiore, R_n .

$$R_n = 100 S \frac{F_s}{F_t}$$

- F_s tutti i flussi luminosi superiori
- F_t flussi totali

Ipotizzando di intersecare un piano orizzontale la fonte luminosa, i flussi luminosi superiori sono tutti i vettori che hanno una direzione verso l'emisfero superiore.

Per ritenere un impianto conforme alla norma il valore massimo di R_n deve essere minore di quello specificato nella tabella 4.5, uniti ai dati dell'illuminamento orizzontale minimo e medio.

La tabella si divide in tipologia di impianti:

- Tipo A Impianti dove la sicurezza è carattere prioritario (es. illuminazione pubblica di strade, verde

pubblico, aree a rischio, gradi aeree)

- Tipo B Impianti sportivi, impianti di centri commerciali, impianti di giardini e parchi privati
- Tipo C Impianti di interesse ambientale e monumentale.
- Tipo D Impianti pubblicitari realizzati con impianti d'illuminazione.
- Tipo E Impianti a carattere temporaneo o ornamentale (es. luci natalizie)

e in zone territoriali:

- Zona 1 Zona altamente protetta a illuminazione limitata (es. osservatori astronomici o astrofisici di rilevanza internazionale). Raggio dal centro di osservazione $r=5\text{Km}$.
- Zona 2 Zona protetta intorno alla Zona 1. Raggio dal centro di osservazione $r=5\text{Km}$, 10Km , 15Km o 25Km , in base all'importanza del centro.
- Zona 3 Territorio nazionale non classificato nella Zona 1 e Zona 2.

Tipo di impianto	Rn max %		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A, B, C, D	1	5	10
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti a orario regolamentato	Ammessi

Tipo di impianto	Intensità massima nell'emisfero superiore (cd/klm)		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A	5	15	30
B	5	30	80
C	5	100	200
D	5	100	200
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti a orario regolamentato	Ammessi

↑ Tabella 4.5 - Valori massimi di R_n in % e valori d'intensità massima nell'emisfero superiore, secondo la Norma UNI 10819.



↓ Particolare manufatto in acciaio

MATERIALI

La progettazione e la costruzione degli apparecchi d'illuminazione deve essere fatta con un'accurata scelta dei materiali, in base agli usi e alle funzioni cui sono destinati, e delle tecnologie di lavorazione, industriali, semi-industriali o artigianali.

I materiali che solitamente si preferiscono per la costruzione degli impianti, in ordine di importanza, sono i seguenti:

- Metalli;
- Polimeri (termoplastici, termoindurenti, elastomeri);
- Ceramici (vetri).

METALLI

L'alluminio è il materiale più utilizzato nel settore illuminotecnico, questo è dovuto alle sue caratteristiche fisiche come bassa massa volumica, buona trasmissione termica, alto fattore di riflessione della luce.

Ogni materiale ha il suo specifico utilizzo:

- Alluminio, si produce il corpo strutturale dell'apparecchio in fusione o in pressofusione, oppure con estrusione di profili, tranciatura, piegatura, calandratura, tornitura, imbutitura di lamiera.
- Alluminio anodizzato, impiegato nella fabbricazione delle componenti ottiche, come riflettori e diffusori. Ferro e acciaio dolce, si producono corpi strutturali e parti di apparecchi prevalentemente con funzione di sostegno e protezione.
- Acciaio inossidabile, si costruiscono minuterie, pali, staffe, sostegni e strutture, in particolare apparecchi da esterni per le sue ottime capacità di resistere alla corrosione.

POLIMERI

I materiali plastici per impieghi in esterni devono essere scelti in base alla loro capacità di mantenere le proprie caratteristiche nel tempo, esempio i metacrilati e i policarbonati trattati anti-UV.

Come per i materiali metallici, i polimeri si suddividono in base al loro utilizzo:

- Termoplastici, si fabbricano corpi strutturali di apparecchi, componenti ottiche (riflettori, diffusori, rifrattori, schermi trasparenti).
- Termoidurenti, si ricavano componenti tecniche per l'alimentazione elettrica e delle sorgenti.
- Elastomeri, si fabbricano guarnizioni, passacavi, elementi vari di tenuta.

CERAMICI

Con il vetro si costruiscono solitamente le parti decorative e ottiche degli elementi come diffusori, rifrattori, riflettori.



↑ Particolare lampada in PMMA

PROTEZIONE MECCANICA

Sono necessari numerosi requisiti di carattere meccanico ed elettrico ad un apparecchio di illuminazione, essi sono dettagliatamente elencati nelle Norme CEI EN 60598-1 "Apparecchi di illuminazione - prescrizioni generali e prove" e nelle Norme CEI EN 60598-2-3 "Apparecchi d'illuminazione - Prescrizioni particolari - Apparecchi per l'illuminazione stradale".

Fra i numerosi requisiti richiesti l'apparecchio deve provvedere a proteggere la sorgente da eventuali danneggiamenti dovuti alla collisione con corpi estranei e sollecitazioni meccaniche di vario genere. Occorre anche impedire che l'interno dell'apparecchio sia invaso da liquidi, quindi bisogna garantire un'impermeabilità all'ingresso dell'acqua.

Per esprimere il grado di protezione si usa la sigla IP (International Protection) seguita da due cifre, la prima indica la protezione rispetto alla penetrazione dei corpi solidi, la seconda nei riguardi delle sostanze liquide. I codici IP sono riportati in tabella 4.6.

Con un codice diverso - il codice IK - la Norma Europea EN 50102 invece definisce i gradi di protezione contro urti e impatti. Sono ammesse delle deformazioni del corpo ma senza intaccare il funzionamento delle componenti interne.

PROTEZIONE CONTRO IL CONTATTO DI CORPI SOLIDI ESTERNI		PROTEZIONE CONTRO LA PENETRAZIONE DEI LIQUIDI	
1ª cifra	Descrizione	2ª cifra	Descrizione
0	Non protetto	0	Non protetto
1	Protetto contro i corpi solidi di dimensione superiori a 50 mm	1	Protetto contro la caduta verticale di gocce d'acqua
2	Protetto contro i corpi solidi di dimensione superiori a 12 mm	2	Protetto contro la caduta di gocce d'acqua con inclinazione massima di 15°
3	Protetto contro i corpi solidi di dimensione superiori a 2,5 mm	3	Protetto contro la pioggia
4	Protetto contro i corpi solidi di dimensione superiori a 1 mm	4	Protetto contro gli spruzzi d'acqua
5	Protetto contro la polvere	5	Protetto contro i getti d'acqua
6	Totalmente contro la polvere	6	Protetto contro le ondate
		7	Protetto contro gli effetti dell'immersione
		8	Protetto contro gli effetti della sommersione

↑ Tabella 4.6 - Gradi di protezione IP contro la penetrazione dei corpi solidi e liquidi

PROTEZIONE TERMICA

Una parte delle radiazioni emesse dalla lampada rimangono all'interno dell'apparecchio, unita al calore prodotto dall'elettronica e dalla sorgente stessa, contribuiscono ad instaurare un regime termico particolare in ogni apparecchio. Occorre quindi dissipare nel migliore dei modi questa energia creata sotto forma di calore per evitare e proteggere gli utilizzatori da ustioni o comunque dai disagi provocati dal contatto di parti del corpo.

L'apparecchio deve essere anch'esso resistente alle sollecitazioni di carattere termico provenienti dall'esterno, la Norma CEI EN 60598-1 prescrive una serie di valutazioni volte ad accertare che il prodotto sia resistente al calore e al fuoco, stabilisce anche il mantenimento della distanza minima di 30 mm tra le parti costruite con materiale infiammabile e tutti gli elementi che possono subire surriscaldamento.

PROTEZIONE ELETTRICA

Per evitare contatti con gli elementi elettrici l'apparecchio deve essere isolato elettricamente. Gli isolamenti si distinguono in:

- Isolamento funzionale, isolamento delle parti di alimentazione della sorgente;
- Isolamento principale, isolamento che se l'utilizzatore contro i contatti diretti e indiretti;
- Isolamento supplementare, isolamento che serve a garantire la protezione in caso di messa fuori servizio dell'isolamento principale.
- Isolamento doppio, comprende i due tipi descritti;
- Isolamento rinforzato, un solo involucro che garantisce un isolamento paragonabile a quello doppio.

Il grado di protezione degli apparecchi elettrici viene codificato in quattro classi dalla Norma EN 60598-1. Negli esterni la classe utilizzata di solito è la seconda, ovvero: "Apparecchio in cui protezione contro la scossa elettrica non si basa unicamente sull'isolamento principale, ma anche sulla misura supplementare di sicurezza costituita dal doppio isolamento rinforzato; queste misure non comportano dispositivi per la messa a terra e non dipendono dalle condizioni di installazione."

Per rendere sicure le operazioni di manutenzione è preferibile, dove possibile, posizionare i poli dei cavi nelle aperture di controllo, in modo che l'apparecchio possa essere messo fuori tensione dalla linea di alimentazione.

Facilità d'installazione e manutenzione

Massima importanza ha la facilità di manutenzione di un apparecchio, a tal fine occorre che:

- Il cambio della lampadina e l'accesso agli ausiliari elettrici non richiedano l'uso di utensili particolari;
- L'accesso agli ausiliari elettrici possa avvenire soltanto dopo che la linea sia stata staccata.
- Molti apparecchi sono costruiti in modo da selezionare i poli per staccare la tensione mediante l'apertura di uno sportello posizionato nella parte bassa dello stesso.
- Un eventuale danno all'apparecchio non deve creare condizioni di pericolo per il personale addetto alla manutenzione, né ai terzi vengono a contatto con parti connesse.

ECONOMICITÀ DI GESTIONE

Occorre individuare, per ogni area urbana, fra le varie possibili soluzioni che consentono il rispetto di tutti i requisiti sopra esposti, che da luogo ai costi energetici e di gestione inferiori.

05

SORGENTI LUMINOSE

TECNOLOGIE PRESENTI E OBSOLETE

Fra i vari mezzi di cui ci sia avvale per la costruzione di un apparecchio d'illuminazione, bisogna fare particolare attenzione alle sorgente luminosa. Sono definibili come il luogo in cui avviene la trasformazione dell'energia elettrica in energia luminosa, quindi nucleo funzionale dell'apparecchio.

Le tipologie di fonti luminose presenti negli esterni sono principalmente quelle a basso consumo e lunga durata, e quelle più usate risultano essere appartenenti alla famiglia delle sorgenti a scarica. Le diverse tipologie di lampade in commercio si dividono secondo lo schema (Figura 5.1) riportato nella pagina seguente.

Esamineremo ora le sorgenti a incandescenza, a scarica e quelle a induzione, mentre i LED saranno trattati più nel dettaglio nel prossimo capitolo.

INCANDESCENZA

Le lampade ad incandescenza sono state le più utilizzate nell'illuminazione pubblica, i primi modelli sono stati costruiti nell'ottocento e ampiamente perfezionati nel secolo successivo, ma con il passare del tempo sono state gradualmente sostituite.

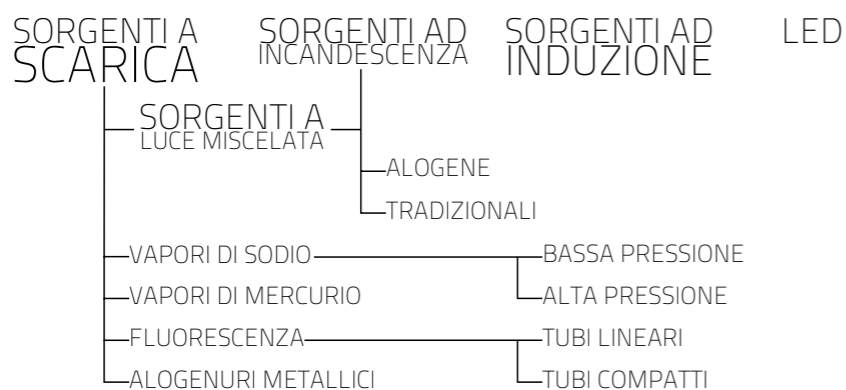
Esse utilizzano l'effetto fisico secondo cui un corpo riscaldato, solitamente un filamento di tungsteno, e portato all'incandescenza mediante il passaggio della corrente elettrica, irraggia onde elettromagnetiche appartenenti anche allo spettro del visibile.

Il fenomeno avviene all'interno di un bulbo in vetro in cui si è fatto il vuoto. Fino a quando il filamento non supera la temperatura di 1000°C, non si ha emissione di onde entro lo spettro del visibile, arrivati a 2000°C

solo il 3% dell'energia fornita si trasforma in energia luminosa, il massimo risultato di intensità luminosa si raggiungerebbe alla temperatura di 5000K, più precisamente 5221K, circa 5000°C, ma poiché il tungsteno ha una temperatura di fusione di 3422°C non si può raggiungere tale risultato.

Mentre nelle lampade di minor potenza (fino a 15W è praticato il vuoto spinto), in quelle di maggior potenza vengono impiegati dei gas inerti come argon e azoto, allo scopo di ridurre l'evaporazione del tungsteno; per applicazioni speciali, dove le prestazioni sono dominanti rispetto ai costi, possono venir usati gas rari come il cripton e lo xenon.

Le lampade ad incandescenza sono caratterizzate da una bassa efficienza luminosa (circa 12lm/W), poiché la maggior parte dell'energia è dissipata sotto forma



↑ Figura 5.1 - Schema generale delle diverse tipologie di lampade di usale produzione.

di calore e in radiazione infrarossa, l'83% in radiazione infrarossa e dal 12% in calore, mentre il solo restante 5% viene utilizzato come radiazione luminosa utile. Ha una buona resa cromatica e ma una durata di vita breve se rapportata alle attuali lampade in uso.

C'è stata poi una evoluzione dell'incandescenza mediante l'impiego, oltre ai gas di riempimento (argon), di gas alogeni (iodio, bromo) i quali creano una rigenerazione del filamento di tungsteno che ha permesso di aumentare l'efficienza luminosa del 15% e la durata del 100% unito ad un aumento della qualità dell'indice di resa cromatica.

Le lampade ad incandescenza sono molto sensibili alla tensione di alimentazione, flusso luminoso e durata di vita variano più che proporzionalmente al voltaggio, una tensione del 10% maggiore rispetto a quella richiesta provoca un flusso luminoso maggiore del 40% ma riduce di un quarto la vita della lampada, analogamente con una inferiore del 10%, il flusso diminuisce statisticamente del 33% e la durata di vita quadruplica.



VANTAGGI:

- Basso costo di acquisto
- Ottima resa cromatica
- Semplicità di installazione e ridotto ingombro
- Tempo di accensione e riaccensione nullo
- Fattore di potenza unitario



SVANTAGGI:

- Bassa efficienza luminosa
- Breve durata di vita con riduzione del flusso luminoso
- Elevata emissione di calore
- Grande sensibilità ad oscillazioni di tensione e corrente
- Elevati costi di esercizio e manutenzione



VALORI MEDI:

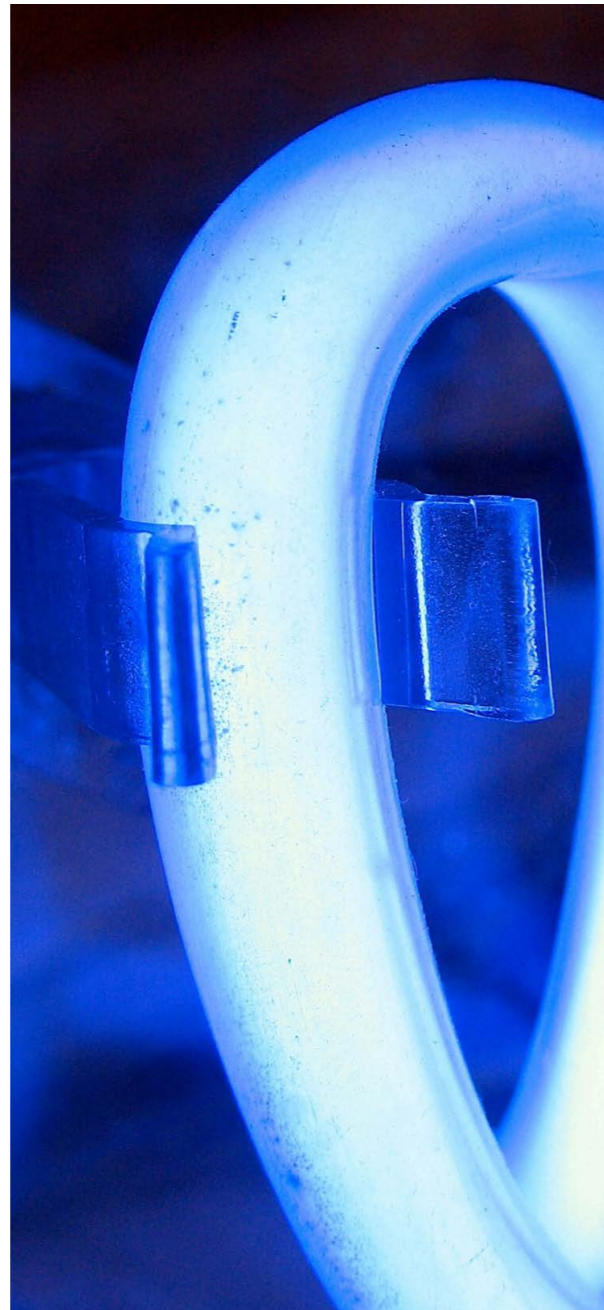
- Efficienza luminosa = 16 ÷ 18 lm/W
- Temperatura di colore = 2.700 ÷ 3.000 K
- Indice di resa cromatica = 100
- Durata di vita = 1.000 ÷ 2.000 ore

LA SCARICA A GAS

La lampada a scarica è composta da un tubo di varia conformazione e dimensione, di materiali ceramici come vetro o quarzo capaci di resistere ad alte temperature e grazie alla loro trasparenza di far passare la luce, ai capi sono posti due elettrodi a cui fanno capo i conduttori elettrici. Nel tubo sono presenti uno o più gas rari e una piccola quantità di elementi metallici. Quando ai due elettrodi viene applicata una differenza di potenziale ha luogo la circolazione degli ioni e degli elettroni attraverso gli elementi chimici. Il flusso di elettroni, percorrendo il tubo bombarda gli atomi del vapore metallico presente nel tubo; in determinate condizioni, l'urto fra l'elettrone migrante e l'elettrone periferico di un atomo del metallo provoca il cambiamento di orbita di quest'ultimo, con il passaggio da un livello energetico ad un altro immediatamente superiore; nel ritorno dall'orbita di livello energetico superiore, alla sua orbita abituale, si ha emissione di una radiazione.

A differenza di una lampada ad incandescenza, una lampada a scarica non può essere inserita direttamente nella rete d'alimentazione ma va innanzitutto "innescata" e successivamente "stabilizzata", ha bisogno di componentistica come il reattore, l'accenditore e il condensatore di rifasamento.

Le lampade a scarica si dividono in scarica di bassa intensità, le cosiddette "fluorescenti" suddivise a loro volta per la geometria del contenitore di gas, e ad alta intensità, le più impiegate in questi anni per l'illuminazione pubblica, suddivise in lampade a vapori di mercurio ad alta pressione, lampade ai vapori di sodio a bassa e alta pressione e lampade ad alogenuri metallici



↑ Particolare di una lampada a scarica di gas (Argon [Ar] + Mercury [Hg])

FLUORESCENZA

Il passaggio di una corrente di scarica attraverso un tubo di vetro, solitamente lineare ma esiste anche circolare e variamente sagomato, contenente del vapore o dei gas con una piccola quantità di mercurio provoca l'emissione di radiazioni, che vengono trasformate in radiazioni visibili dalle polveri fluorescenti di cui è rivestito interamente il tubo.

La scarica avviene fra due elettrodi. Gli elettroni in movimento tra i due elettrodi eccitano gli atomi di mercurio che sono a loro volta sollecitati ad emettere radiazione ultravioletta. Quest'ultima investe il fosforo di cui è ricoperto il tubo ed emette luce visibile che a seconda della composizione produce una luce più calda oppure più fredda, giocando tra resa cromatica ed efficienza luminosa.

Si può arrivare a valori di resa cromatica di circa 90 e oltre, a scapito però di una riduzione dell'efficienza luminosa di circa il 30%.

+ VANTAGGI:

- Elevata efficienza luminosa
- Consumi molto contenuti
- Semplicità di intercambiabilità con l'incandescenza per le compatte
- Buona durata di vita media
- Ridotti ingombri per le compatte

- SVANTAGGI:

- Costi elevati all'acquisto
- Necessità di dispositivi come reattore, starter e condensatore
- Dimensioni notevoli per i tubi lineari
- Notevole riduzione del flusso luminoso a basse temperature
- Difficoltà del controllo del flusso luminoso

§ VALORI MEDI:

- Efficienza luminosa = 50 ÷ 90 lm/W
- Temperatura di colore = 2.700 ÷ 5.400 K
- Indice di resa cromatica = 75 ÷ 90
- Durata di vita = fino a 10.000 ore

VAPORI DI MERCURIO AD ALTA PRESSIONE

Il principio di funzionamento è analogo a quello delle lampade fluorescenti, la differenza sta nella pressione molto più alta del gas.

Sono costituite da un tubo di scarica in quarzo internamente rivestito da polveri fluorescenti, entro il quale è contenuto il mercurio. Il rivestimento funziona da convertitore di frequenza e trasforma le radiazioni, in gran parte ultraviolette, in radiazioni visibili.

Le lampade al mercurio necessitano dell'alimentatore e del condensatore di rifasamento, il flusso luminoso nominale è raggiunto dopo qualche minuto e in caso di spegnimento è necessario un periodo di raffreddamento prima di una nuova accensione. Ha una discreta durata, ma per la limitata efficienza, questa lampada può attualmente considerarsi obsoleta, viene utilizzata soltanto per la manutenzione degli impianti esistenti.



VANTAGGI:

- Buona efficienza luminosa
- Consumi molto contenuti
- Elevata affidabilità
- Elevata durata di vita media
- Costi di acquisto contenuti



SVANTAGGI:

- Scarsa qualità della luce emessa
- Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
- Tempi di accensione prolungati
- Mercurio tossico ed inquinante
- Sovracorrenti di accensione del 50%



VALORI MEDI:

- Efficienza luminosa = 40 ÷ 60 lm/W
- Temperatura di colore = 3.000 ÷ 4.200 K
- Indice di resa cromatica = 40 ÷ 50
- Durata di vita = oltre 10.000 ore

SODIO AD ALTA PRESSIONE

L'arco elettrico innescato tra gli elettrodi posti all'estremità di un tubo di allumina sinterizzata, provoca l'emissione di radiazioni luminose la cui distribuzione spettrale dipende dalla pressione del sodio all'interno del tubo. La lampada è costituita da un tubetto di speciale ceramica trasparente racchiuso in un bulbo di vetro duro; proprietà fondamentale di questa speciale ceramica a base di ossido di alluminio è la resistenza alle elevate temperature della scarica e all'aggressività chimica del vapore di sodio.

La lampada al sodio necessita dell'alimentatore e l'accenditore, i cui schemi d'intersezione variano a seconda della casa costruttrice. Le lampade al sodio ad alta pressione si dividono in tre grandi categorie a seconda della pressione di funzionamento: standard, a resa migliorata e a luce bianca.

Quelle standard hanno una pressione di circa 10 kPa e sono caratterizzate da una efficienza da 65 lm/W fino a 125 lm/W, da una resa del colore di circa 25 Ra e da una temperatura di colore di 2.000 K.

Le lampade a resa migliorata hanno una pressione di circa 40 kPa dove la resa viene migliorata fino a circa 60, mentre l'efficienza è circa il 66% di quella della lampada standard e la temperatura di colore si assesta sui 2.150 K.

L'ultima categoria è quella a luce bianca, con pressione di 95 kPa, efficienza luminosa tra i 30 ÷ 40 lm/W, una temperatura di colore intorno ai 2.500 K e con una resa cromatica maggiore rispetto alle altre due categorie di circa 80.

Le caratteristiche descritte l'hanno resa la lampada più utilizzata nel panorama nazionale dell'illuminazione pubblica con oltre il 60% di utilizzo.



VANTAGGI:

- Elevata efficienza luminosa ottenibile
- Consumi molto contenuti per la versione standard
- Accettabile resa dei colori
- Elevata durata di vita media
- Regolazione del flusso luminoso



SVANTAGGI:

- Luce gialla accentuata
- Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
- Tempo di messa a regime relativamente lungo (circa 5 minuti)
- Decadimento luminoso fino al 30%
- Tempi di riaccensione oltre il minuto



VALORI MEDI:

- Efficienza luminosa = 100 ÷ 120 lm/W
- Temperatura di colore = 2.000 ÷ 2.500 K
- Indice di resa cromatica = 25 ÷ 80
- Durata di vita = fino a 12.000 ore

SODIO A BASSA PRESSIONE

Il funzionamento di queste lampade è analogo a quello delle lampade al sodio ad alta pressione. La pressione di funzionamento è di soli 0,5 Pa e la scarica avviene in un tubo di vetro ripiegato a U e isolato termicamente da un tubo di vetro rivestito internamente da ossido di indio, tali accorgimenti sono per mantenere la temperatura ai 260°C in corrispondenza della quale risulta esserci la condizione di massima efficienza luminosa.

Anche queste lampade necessitano di un apparecchiatura ausiliaria, costituita da una reattanza induttiva e da un accenditore elettronico.

Queste lampade sono utilizzate per impianti stradali, industriali e di sicurezza. Nel loro caso non si può parlare di resa cromatica in quanto la percezione dei colori è praticamente nulla ($R_a = 0$). La ricerca si è quindi concentrata sul miglioramento dell'efficienza luminosa tralasciando la resa cromatica ottenendo miglioramenti del 15%, diminuendo la dispersione del calore e l'assorbimento di energia, diventando la lampada più efficiente in assoluto.

**VANTAGGI:**

Elevata efficienza luminosa (fino a 200 lm/W)
Buona resistenza alle variazioni di temperatura ambiente
Maggiore acuità visiva
Elevata durata di vita media
Rapidità nella riaccensione a caldo

**SVANTAGGI:**

Luce gialla accentuata, inutilizzabile nei centri urbani
Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
Lungo periodo di messa a regime (8-12 min)
Decadimento luminoso fino al 30%
Costo elevato

**VALORI MEDI:**

Efficienza luminosa = 130 ÷ 200 lm/W
Temperatura di colore = 2.000 K
Indice di resa cromatica = 0
Durata di vita = fino a 12.000 ore

ALOGENURI METALLICI

Sono lampade a vapore di mercurio nelle quali sono stati introdotti ioduri metallici come cadmio, indio, tallio, che permettono di ottenere un notevole miglioramento della resa cromatica emettendo radiazioni distribuite lungo la banda della radiazioni visibili in modo da riempire le lacune dello spettro del mercurio.

Si evita così di ricorrere al rivestimento dell'ampolla con polvere fluorescente, che comunque viene ancora fatta per qualche applicazione per ridurre la luminanza.

Oltre all'alimentatore, necessario per la stabilizzazione della scarica, queste lampade generalmente richiedono l'accenditore, che invia impulsi di tensione dell'ordine di 4 - 5 kV.

Questa lampada trova il suo impiego maggiore nell'illuminazione artistica, impianti sportivi, piazze e strade dove si renda necessaria una buona resa cromatica.

Affinché la temperatura di colore della luce emessa sia costante e la durata di vita sia ottimale, la temperatura di funzionamento di queste lampade non deve superare i limiti imposti dalle case costruttrici. Inoltre dovranno essere evitati riflettori verso lampada della luce a causa dell'effetto termico che potrebbe produrre un annerimento precoce della lampada ed una diminuzione della durata di vita.

**VANTAGGI:**

Buona efficienza luminosa
Buona resa cromatica
Elevata durata di vita
Esaltazione di statue e monumenti
Buona illuminazione di grandi aree

**SVANTAGGI:**

Costo elevato
Necessità di dispositivi appositi ausili elettrici
Tempi di accensione prolungati superiori agli 8 minuti
Emissione di raggi ultravioletti
Decadimento del flusso più rapido

**VALORI MEDI:**

Efficienza luminosa = 62 ÷ 117 lm/W
Temperatura di colore = 3.000 ÷ 6.000 K
Indice di resa cromatica = 75 ÷ 95
Durata di vita = fino a 10.000 ore

INDUZIONE

Il principio di funzionamento è basato sulla presenza, in una ampolla di vetro rivestita da uno strato di sostanze fluorescenti, di un gas inerte a bassa pressione e di una modesta quantità di mercurio; al centro dell'ampolla vi è una bobina avvolta attorno ad un nucleo di ferrite alimentata da un generatore ad alta frequenza (a circa 2,65 MHz), dando luogo ad un campo magnetico.

Da qui in poi il principio di funzionamento può essere paragonato alle lampade a vapori di mercurio. Le correnti indotte, nell'impatto con gli atomi di mercurio, danno luogo all'emissione delle radiazioni ultraviolette. La spolveratura fluorescente è poi la responsabile della radiazione nel campo del visibile con composizione spettrale in funzione delle proporzioni delle polveri impiegate.

La lampada ad induzione viene prodotta anche con un altro tipo di schema e con attacco standard E27, utilizzando un anello tubolare fluorescente, entro cui la scarica è indotta da due magneti toroidali alimentati ad alta frequenza (a circa 250 KHz) da un alimentatore elettronico esterno alla lampada che favorisce la scarica dando luogo a radiazioni rese visibili per lo stesso motivo sopra esposto.

In entrambe le soluzioni, vi è assenza di parti deteriorabili come i catodi delle tradizionali lampade a scarica e l'estrazione di materiale ad ogni accensione, che rendono questo tipo di lampada particolarmente durevole nel tempo.



VANTAGGI:

- Ottima durata di vita media
- Buona resa cromatica
- Accensione immediata
- Assenza di sfarfallamento della luce
- Indipendenza alle oscillazioni di tensione



SVANTAGGI:

- Alimentatore esterno
- Costo elevato
- Intervallo di temperatura di colore ridotto
- Efficienza luminosa inferiore alla concorrenza
- Necessita di attacco speciale



VALORI MEDI:

- Efficienza luminosa = 47 ÷ 70 lm/W
- Temperatura di colore = 2.700 ÷ 4.000 K
- Indice di resa cromatica = 80
- Durata di vita = fino a 60.000 ore

LUCE MISCELATA

Si tratta di lampade al mercurio ad alta pressione in cui il reattore di alimentazione è sostituito da un filamento, che funge da limitatore di corrente, collocato assieme alla lampada in un tubo secondario. Durante il funzionamento, il filamento diventa incandescente ed emette luce come in una lampada incandescente, che miscelata con quella prodotta dal mercurio offre una tonalità più naturale.

Le caratteristiche della "miscela" sono influenzate fortemente dal filamento come la durata e la sensibilità alla variazione di tensione.



VANTAGGI:

- Sostituzione diretta di lampade incandescenza
- Buona resa cromatica
- Non necessita di un alimentatore



SVANTAGGI:

- Bassa efficienza luminosa
- Bassa durata di vita
- Posizione di funzionamento solo verticale



VALORI MEDI:

- Efficienza luminosa = 18 ÷ 25 lm/W
- Temperatura di colore = 3.100 ÷ 4.200 K
- Indice di resa cromatica = 40 ÷ 60
- Durata di vita = fino a 5.000 ore

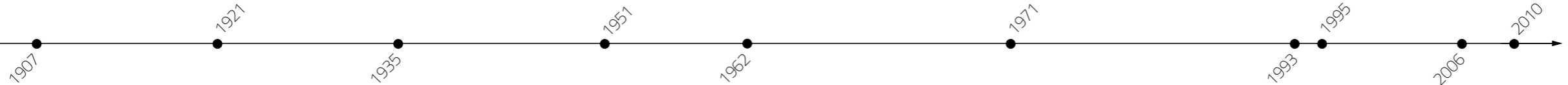
1921
Il fisico russo Oleg Lossev osserva nuovamente l'“effetto circolare” dell'emissione luminosa. Negli anni successivi, dal 1927 al 1942, esamina e descrive questo fenomeno con maggiore dettaglio.

1951
Lo sviluppo di un transistor segna un progresso scientifico nella fisica dei semiconduttori. Ora è possibile spiegare l'emissione luminosa.

1971
Grazie allo sviluppo di nuovi materiali semiconduttori, i LED vengono prodotti in nuovi colori: verde, arancione e giallo. Le prestazioni e l'efficacia dei LED continuano a migliorare.

1995
Viene presentato il primo LED a luce bianca derivata dalla conversione della luminescenza, che viene lanciato sul mercato due anni dopo.

2010
In condizioni di laboratorio vengono già sviluppati LED di un determinato colore con una gigantesca efficienza luminosa di 250 lumen per Watt. Il progresso continua. Oggi, l'ulteriore sviluppo verso l'OLED viene visto come la tecnologia del futuro.



1907
L'inglese Henry Joseph Round scopre che i materiali inorganici possono illuminarsi quando vi si applica una corrente elettrica. Nello stesso anno pubblica la scoperta nella rivista "Electrical World". Poiché però stava lavorando ad un nuovo sistema radiogoniometrico, la scoperta viene accantonata.

1935
Il fisico francese Georges Destriau scopre l'emissione luminosa nel solfuro di zinco. In onore del fisico russo, chiama l'effetto "luce di Lossev". Oggi si attribuisce a Georges Destriau la scoperta dell'elettroluminescenza.

1962
Viene immesso sul mercato il primo diodo a luminescenza rossa (di tipo GaAsP), sviluppato dall'americano Nick Holonyak. Il primo LED nella gamma di lunghezza d'onda visibile segna la nascita del LED prodotto industrialmente.

1993
Il giapponese Shuji Nakamura sviluppa il primo LED blu brillante e un LED molto efficiente nello spettro del verde (diodo InGaN). Poco tempo dopo progetta anche un LED bianco.

2006
Vengono prodotti i primi diodi fotoemittenti da 100 lumen per Watt. Questa efficienza può essere superata solo dalle lampade a scarica di gas.

LA GIUNZIONE P-N

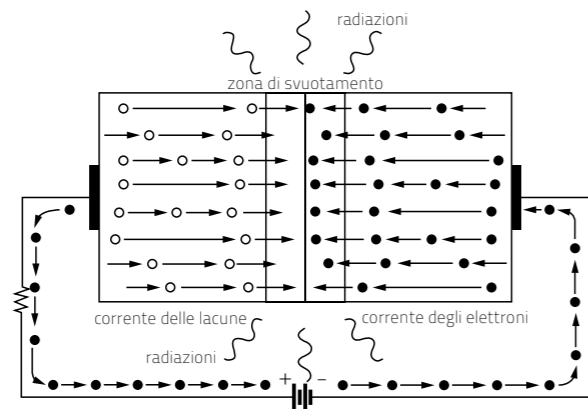
Con i trattamenti di drogaggio si possono ottenere materiali semiconduttori di tipo N, per aumentare il numero di elettroni nella banda di conduzione, o di tipo P, per aumentare il numero di lacune. Quando questi due tipi di drogaggio si presentano in uno stesso materiale si può parlare di giunzione PN, ovvero una sotto-zona di confine. Gli elettroni in eccesso nella zona N sono dotati di una loro mobilità ed approssimandosi alla giunzione vanno ad occupare le lacune della zona P prossime al confine. L'occupazione di una lacuna crea uno ione negativo nella regione N. A causa di questi trasferimenti si crea un ulteriore sotto-zona, tra le due regioni, chiamata zona di svuotamento nella quale si fronteggiano gli ioni positivi con quelli negativi. Agli estremi di questa barriera si genera una barriera di potenziale. Arrivati a questa condizione, di svuotamento completato, la zona di giunzione si comporta come un ostacolo per il transito degli elettroni. Per superare questa

barriera occorre applicare una differenza di potenziale maggiore di quella che si è creata.

IL FUNZIONAMENTO DEL LED

I LED (Light Emitting Diode) sono particolari tipi di diodi che, se posti in conduzione diretta, emettono luce.

Durante la conduzione diretta in una giunzione P-N gli elettroni si spostano dalla zona N alla zona P dove avviene la ricombinazione: per spostare gli elettroni si fornisce loro energia, ma quando avviene la ricombinazione gli elettroni si spostano dalla banda di conduzione a quella di valenza, cedendo quindi l'energia corrispondente alla banda interdotta. Durante la conduzione in polarizzazione diretta avviene pertanto una emissione di energia radiante. Nei normali diodi questa energia si manifesta sotto forma di calore mentre nei LED, grazie a particolari materiali semiconduttori usati, si ottiene una radiazione luminosa.



↑ Figura 5.2 - Transito di elettroni (●) e di lacune (○) con emissione radiazioni

TIPOLOGIA DI PRODOTTO

Nella storia delle lampade ad incandescenza e a scarica, come esito di ricerche e invenzioni, è nata un'ampia gamma di prodotti per adattarsi alle varie esigenze. Anche nel mondo del LED esiste una notevole diversificazione che pare ulteriormente estendersi.

LED THT

Il LED THT è forse il modello più conosciuto, o per lo meno quello che si identifica in testa quando si sta parlando di LED. Si è affermato a partire dagli anni 60', e si basa sulla tecnologia Through Hole Technology. Si caratterizza per la forma tondeggiante della piccola capsula che ingloba il chip e gli elettrodi, distinguibili tra catodo e anodo in base alla lunghezza dei piedini metallici (il catodo è di lunghezza maggiore); nella maggior parte dei casi, gli elettrodi vengono saldati in un circuito stampato.

Le dimensioni più comuni della capsula di questa tipologia di LED sono del diametro di 5 mm, all'interno della quale si può trovare il chip circondato da un piccolo riflettore metallico, per riflettere le radiazioni verso le pareti. La luce - emessa, riflessa e rifratta - attraversa la capsula che, sotto il profilo ottico, lavora come una lente. Il solido fotometrico che ne deriva ha una forma che dipende dalle configurazioni della lente, dal riflettore, dal chip, e dai loro rapporti spaziali.

LED SMT a base piatta

I LED di tipo THT sono pensati per le basi di silicio che presentano fori per l'inserimento dei componenti elettrici, e le saldature avvengono nella parte inferiore. Nei casi in cui si voglia usare le connessioni elettriche sono nella parte superiore, si opta per i



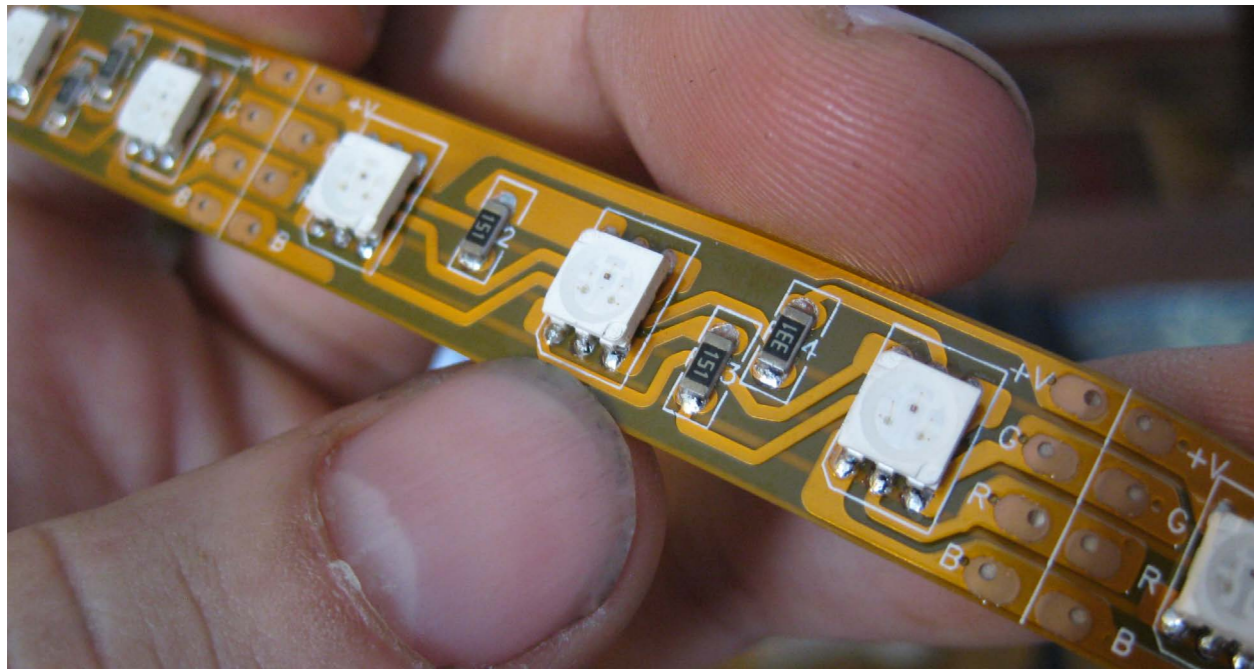
LED di tipo SMT (Surface Mounted Technology), che si contraddistinguono per la forma piatta e gli elettrodi che escono dai lati e non sporgono verso il basso. Il LED SMT si presenta come un piccolo box con una faccia dalla quale viene emessa la luce.

GUIDE DI LUCE

Il LED SMT, avendo una zona di emissione della luce piatta, si presta bene per l'accoppiamento con elementi ottici del tipo a guida di luce. Si tratta di piccoli condotti in materiale plastico trasparente che permettono di guidare il flusso luminoso fino al punto in cui si vuole che la luce sia visibile. Grazie alla conduzione del flusso in guide ottiche si riescono a risolvere problemi di tipo dimensionali, offrendo al lavoro del designer maggiori gradi di libertà.

OLED

Sono diodi luminosi costituiti da un sottile pacchetto di film o pellicole di minimo spessore, in materiale semiconduttore di natura organica. Due strati di materiale organico svolgono le funzioni di anodo e catodo, tra essi sono presenti due layer, uno che conduce corrente elettrica e uno che emette luce, a completare la composizione è posto uno strato riflettente di base. Il pacchetto è molto leggero e flessibile, paragonabile ad un foglio di carta. Il principale utilizzo degli OLED (Organic Light Emitting Diode) attualmente riguarda il campo dei display, ogni pixel si comporta come un piccolo LED, potendo emettere luce di diversi colori. Le prime applicazioni degli OLED nel campo dell'illuminazione hanno avuto solo valenza prevalentemente estetica.



LED tipo SMT su moduli a striscia

POWER LED

I Power LED o LED di potenza sono diodi in grado di trasformare l'energia elettrica con potenza uguale o superiore a 1W in luce e calore, quindi impiegabili nell'illuminazione di ambienti interni ed esterni per l'illuminazione. I flussi luminosi sono compresi tra i 50 e i 300 lumen, in funzione della potenza assorbita. Nella maggior parte dei casi questi dispositivi vengono alimentati a bassa tensione e a corrente continua, tuttavia è stato creato un modello che contiene al suo interno un piccolo trasformatore che permette l'utilizzo con la rete elettrica (220V 50,60 Hz). I bassi flussi luminosi erogati hanno creato l'esigenza di unire componenti optoelettronici, per far crescere il numero di lumen.

Attualmente si distinguono due tipologie di Power LED:

LED singolo chip, a luce monocromatica fornito di lente o con semplice rivestimento protettivo;
LED multi-chip, a luce monocromatica o a luce bianca ottenuta da sintesi additiva RGB, RGBW (Red, Green, Blue, White), AWB (Amber, White, Blue).

MODULI LED

Sia i LED SMT che Power LED sono proposti come moduli per l'aggregazione, al fine di aumentare il flusso luminoso complessivo. Sono disponibili in forme circolari, rettangolari, quadrate e a strisce. Alcuni produttori propongono i LED e i moduli con dissipatore di calore integrato, per garantire meglio il funzionamento, o con dispositivi ottici, allo scopo di orientare le radiazioni.



Dettaglio POWER LED

CORPO DEL LED

La differenza principale, rispetto alle lampade trattate precedentemente, è che i led non hanno bisogno di componenti di connessione elettro-meccanico da ancorare al corpo dell'apparecchio, infatti, si saldano direttamente i conduttori. Il LED è destinato ad essere appoggiato ad un piano anche per migliorare la sua dissipazione del calore.

SOLIDI FOTOMETRICI

Il LED, rispetto alle lampade ad incandescenza che generano un solido fotometrico paragonabile ad una sfera con origine della rotazione il bulbo, propaga la luce solamente nell'emisfero superiore della sfera. Semplificando, si può associare al solido fotometrico della lampadina ad incandescenza alla forma sferica, mentre al diodo luminoso, la forma di una semisfera, riuscendo così ad evitare una notevole perdita. Nel LED la protezione del chip di funzionamento è assicurata dalla minuscola cupola semisferica; l'assenza del vetro, conferisce una buona resistenza a queste fonti luminose.

TEMPERATURE IN GIOCO

Tutto ciò che si trova attorno alla fonte si luce subisce un riscaldamento, per irraggiamento, conduzione e convezione, questo costringe a mantenere delle distanze e limiti dimensionali, inoltre tutte le componenti circostanti la fonte devono resistere a determinate temperature. Nel LED il calore generato è circoscritto alla base, e quasi nullo per irraggiamento, questo rende più semplice il controllo del flusso termico perché localizzato, e maggiormente governabile posizionando opportuni dissipatori di calore.

LA MODULARITÀ

La modularità dei LED, la possibilità di unire più moduli, permette di creare e di gestire la forma della fonte luminosa. Per incrementare il flusso luminoso di un ambiente, si può, per esempio, aggregare più chip, tutto questo senza cambiare fonte di alimentazione. La modularità offre ai progettisti di impianti e i designer notevoli margini di libertà.

SOSTENIBILITÀ

Parlando di sostenibilità assumono un valore importante i materiali utilizzati e in che modo vengono dismessi. Nelle lampade tradizionali sono presenti molti materiali uniti, come leghe metalliche, vetro, materiali isolanti e collanti che devono essere recuperati con una serie di interventi di selezione. Nel caso dei LED, semiconduttori e polimeri vari, continuano ad avere una determinata complessità di assemblaggio, ma la disgregazione è facilitata dalla semplicità dei collegamenti e dalle minime dimensioni. Sempre parlando di materiali, a differenza di alcune lampade tradizionali, che contengono materiali tossici come mercurio, il LED non presentano alcuna sostanza tossica e nociva, contribuiscono quindi alla conservazione dell'ambiente. Le dimensioni ridotte del LED, esse comportano notevoli conseguenze per la produzione automatizzata. La produzione innanzitutto e il conseguente ricovero nei magazzini, si effettuano con macchinari e locali di modeste dimensioni. Le agevolazioni poi si ripercuotono sulla distribuzione e il trasporto, considerando il fatto della robustezza del prodotto con buone resistenze meccaniche e agli agenti atmosferici (polvere, umidità, temperature), potrà subire meno accortezze e quindi rendere maggiormente semplici tutte le operazioni inerenti.

IL COLORE

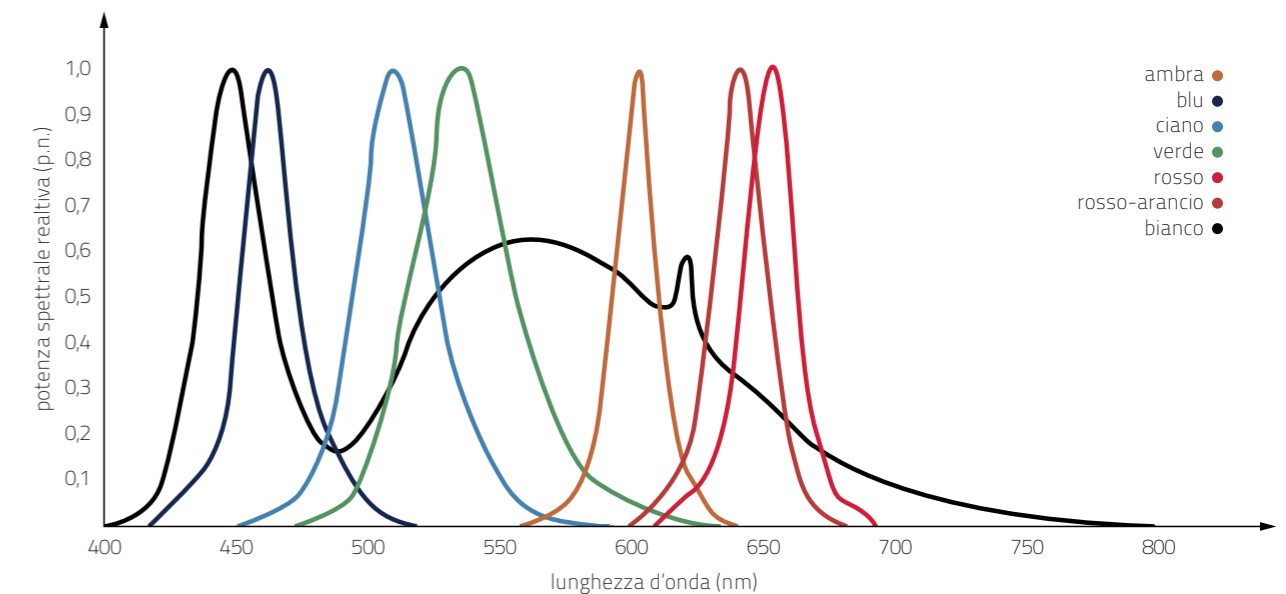
Caratteristica sicuramente innovativa rispetto alle tradizionali sorgenti luminose è la possibilità praticamente infinita di creare tonalità di colore di qualsiasi tipo.

Con i LED le curve di emissione cambiano completamente, la forma a campana comprende un valore di picco e, tra i valori minimi, lo scarto di lunghezza d'onda oscilla tra i 50 e gli 80nm (vedi figura 5.3).

La luce emessa è generalmente monocromatica, di colore dipendente dal materiale e dalle impurità utilizzate; I composti chimici utilizzati più frequentemente sono l'Arseniuro di Gallio (GaAs), il Fosforo di Gallio (GaP), il Fosforo Arseniuro di Gallio (GaAsP), il Carburo di Silicio (SiC) e il Nitrato di Gallio e Indio (GaInN).

Con i quali si possono ottenere i seguenti colori:

Composto chimico	Formula	Colore luce
Arseniuro di alluminiogallio	AlGaAs	Rosso e infrarosso
Fosforo di alluminiogallio	AlGaP	Verde
GaAsP	GaAsP	Rosso, arancione, giallo
GaN	GaN	Verde e blu
Fosforo di gallio	GaP	Rosso, giallo e verde
ZnSe	ZnSe	Blu
Nitrato di gallio-indio	InGaN	Blu-verde e blu
InGaAlP	InGaAlP	Rosso, giallo e verde
Carburo di silicio	SiC	Blu
Diamante	C	Ultravioletto
Silicio	Si	Blu



↑ Figura 5.3 - Diagramma energetico di LED a differenti emissioni spettrali

L'EFFICIENZA DELLE SORGENTI LUMINOSE

Come è noto l'efficienza luminosa rappresenta il rapporto di quantificazione tra il flusso luminoso prodotto e la potenza elettrica assorbita da una sorgente luminosa. L'efficienza è un parametro quantitativo che confronta due tipi diversi di fenomeni: uno percettivo, la luce, e uno fisico, l'elettricità. Nel campo del calcolo delle valutazioni quantitative di ordine fisico, si usa la stessa grandezza e la relativa unità di misura. Se due radiazioni di differente lunghezza d'onda hanno lo stesso contenuto energetico sono considerate dallo strumento di misura radiometrica identiche, invece per il sistema occhio-cervello la differenza di frequenza è determinata in termini di diversa stimolazione. Per quantificare lo stimolo ci viene in aiuto la teoria codificata a livello internazionale (per iniziativa della CIE, Commission Internationale de l'Eclairage) della sensibilità dell'occhio medio internazionale, da cui il coefficiente di sensibilità relativa.

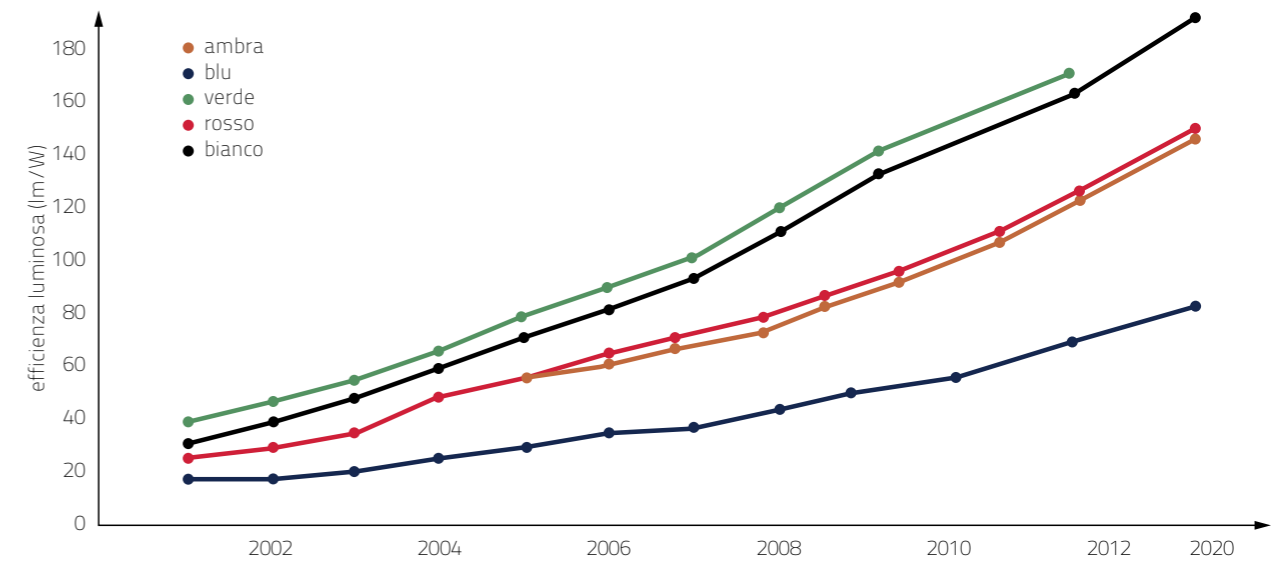
La teoria prevede un valore massimo del coefficiente intorno al valore di lunghezza d'onda pari a 555nm, percepita come luce di colore giallo-verde, quindi una lampada che sia in grado di convertire tutta la potenza elettrica in radiazione a 555nm, avrebbe la maggior efficienza luminosa possibile, ma non sarebbe in grado di riprodurre altro colore al di fuori del giallo-verde. La limitazione di tale teoria sta nel non tener conto né del colore né del contesto, si basa in sostanza sul criterio di valutazione della sensibilità visiva nata da ricerche, con le limitazioni tipiche di una convenzione basata su medie metrologiche. Efficienza e resa dei colori rimangono incompatibili fra loro, una buona efficienza sarà indice di una insufficiente resa e viceversa, nonostante questa criticità, il dato dell'efficienza luminosa resta

sicuramente il più utilizzato nelle norme e leggi per quantificare la bontà di una sorgente luminosa. Per l'incremento della resa è necessario estendere il più possibile l'intervallo di lunghezze d'onda che si almeno al di sopra di un coefficiente di sensibilità relativa di 0,75 che comunque difficilmente va oltre un quarto su i quasi 400nm a disposizione delle luce visibile.

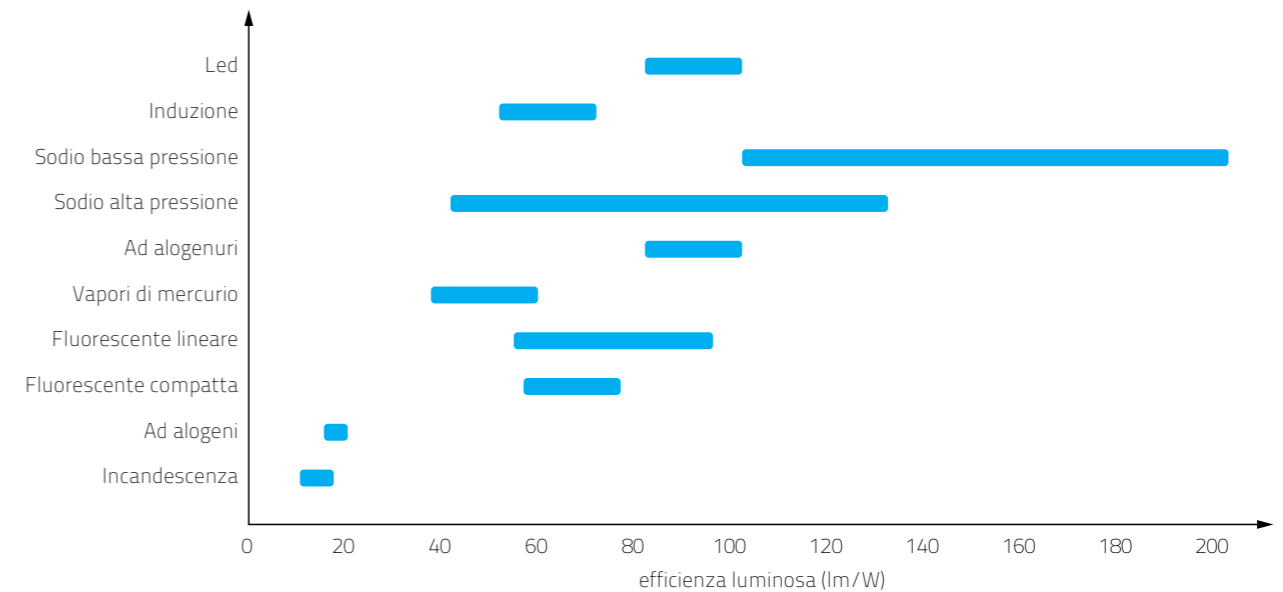
Dopo questa piccola descrizione dell'efficienza luminosa, ritornando a parlare di LED, il dato ha subito negli ultimi anni incrementi molto significativi. Attorno agli anni 90 era sui 20- 40 lm/W, mentre attualmente sembra abbia oltrepassato la soglia dei 100 lm/W e le prospettive sono di arrivare agli oltre 150 lm/W nei prossimi anni e competere quindi con il sodio a bassa pressione che attualmente è la sorgente con la miglior efficienza luminosa (figura 5.04). Già ora i Power LED si propongono come sorgenti tra le più efficienti sul mercato.

Anche nella valutazione dell'efficienza i LED si differenziano dalle lampade tradizionali. Prendendo come esempio le lampade ad incandescenza, l'efficienza ammonta a 10lm/W per una da 60W generando un flusso di 600lm, e a 13.5lm passando al modello da 100W, si può notare che l'aumento della potenza elettrica assorbita influenza positivamente il dato dell'efficienza. Nel LED, invece, l'efficienza tende a diminuire con l'incremento della potenza assorbita.

Confrontano l'efficienza dei LED con le varie tipologia di lampada (figura 5.5) si può vedere che il sodio a bassa pressione, risulta essere la miglior sorgente sul mercato dal punto di vista dell'efficienza luminosa, arrivando in particolari condizioni ottimali a quasi 200 lm/W, al di sopra nettamente a tutte le altre sorgenti



↑ Figura 5.4 - Andamento storico e previsto del valore dell'efficienza luminosa dei Power LED (documentazione Seoul Semiconductor)



↑ Figura 5.5 - Intervalli tipici di efficienze luminose per vari di tipi di sorgenti luminose

luminose impiegate nell'illuminazione pubblica, presenta però due grossi handicap come le notevoli dimensioni e soprattutto la sua monocromaticità, priva di un minimo di resa cromatica.

Un dato più significativo sulla situazione del Led in prospettiva illuminazione pubblica, ce la può dare il termine dell'efficienza globale.

Efficienza globale che tiene conto di tutti i dispositivi di gestione della fonte luminosa, ed è calcolato seguendo questa formula, dove risulta che il Led migliori ancora leggermente nei confronti delle altre fonti luminose diventando il più "efficiente":

$$\eta_g = \frac{(\eta P_a \rho_o)}{P_a + P_c}$$

- η efficienza luminosa ($\eta = \Phi / P_a$)
- Φ flusso luminoso prodotto (lm)
- ρ_o rendimento luminoso dell'ottica in valore decimale
- P_a potenza elettrica assorbita dalla lampada (W)
- P_c potenza assorbita dal sistema di alimentazione, gestione, controllo, regolazione (W)

Tipi di sorgenti luminose	Potenze assorbite dalle sorgenti luminose P_a (W)	Potenze assorbite dai sistemi di alimentazione P_c (W)	Efficienze luminose η_g (lm/W)	Flusso emesso Φ (lm)	Rendimenti luminosi ρ_o (%)	Efficienze globali η_g (lm/W)
A incandescenza	100	-	13,5	1350	90%	12,1
A cicli di alogeni (bassa tensione)	50	8	17,6	880	70%	10,6
Fluorescente compatta	26	2	70	1820	50%	32,5
A vapori di alogenuri metallici	70	10	94,2	6600	60%	49,5
A vapori di sodio ad alta pressione	150	20	100	15000	60%	52,9
Modulo con 10 Power LED	30	6	90	2700	85%	63,7

↑ Tabella 5.1 - Dati energetici per tipi di lampade, sistemi di alimentazione e sistemi ottici a differente rendimento luminoso.

LA DURATA DI VITA, LA MANUTENZIONE E IL DECADIMENTO LUMINOSO

A differenza delle lampade tradizionali, il LED non è fabbricato con materiali fragili come filamenti incandescenti, involucri di vetro, oppure utilizzano sostanze volatili. Resistenza meccanica significa lunga durata di vita, strettamente legata con la manutenzione, i suoi costi sono legati agli interventi per la sostituzione delle lampade a causa del loro spegnimento, più lunga sarà la durata di vita media della sorgente, e più saranno ridotti i numeri degli interventi per la loro sostituzione.

Con i LED, le lunghe durate di vita, le 12.000 ore, di una lampada ad incandescenza, sono ampiamente oltrepassati. I LED non risentono dell'effetto di cicli frequenti di on / off e le durate arrivano a 50000-60000 ore. In questi casi ci si aspetta molto più frequentemente un guasto al sistema di alimentazione piuttosto che nelle fonti luminose, infatti, dovendo trasformare la corrente alternata in continua, l'alimentatore presenta al suo interno dei condensatori elettrolitici che hanno un ciclo di vita di circa 10000 ore.

Anche per la durata della vita il parametro determinante è la temperatura di giunzione. Come si evidenzia dal diagramma (figura 5.6 pagina 87) ad alte temperature corrispondono brevi durate.

Avrebbe uno scarso valore una lunga durata di vita se ad essa corrispondesse una forte diminuzione della quantità di luce erogata. Oltre un certo limite, solitamente il 30% del valore iniziale, le condizioni di illuminazione degli ambienti non sono più accettabili. Nei diagramma (figura 5.7 pagina 87) si può notare il decadimento il funzione del tempo di funzionamento, legato anche alla temperatura di giunzione.

GESTIONE DELLA LUCE

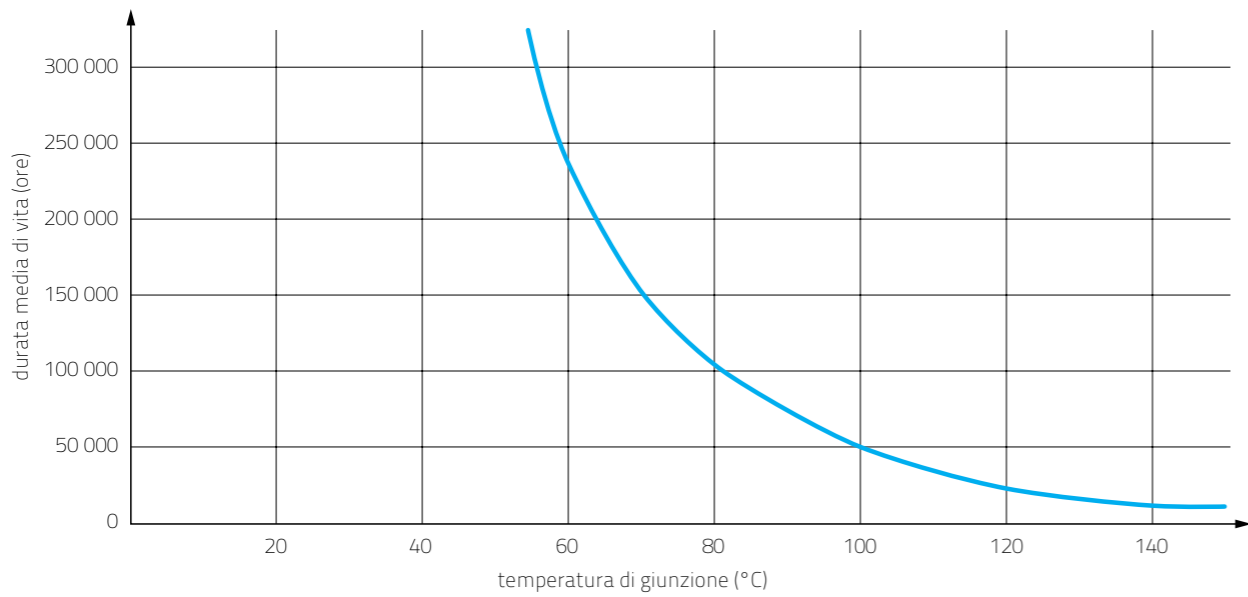
Le lampade classiche di solito hanno due stati, acceso o spento, con i LED è semplice regolare il flusso luminoso, da zero fino al 100%, fornendo un segnale di alimentazione variabile. In questo modo è possibile regolare l'illuminazione in base alle necessità. La pur elementare gestione on/off di gruppi di fonti luminose comporta, nell'impiantistica tradizionale basata sui normali dispositivi di comando installati sulle linee di alimentazione, un certo grado di complessità a causa del passaggio dei conduttori elettrici dai comandi fino ai singoli alimentatori dei led. Sono più razionali e meno dispendiosi i sistemi basati sull'invio di segnali a dispositivi che attuano il comando ricevuto. Sono in corso di sperimentazione le tecnologie wireless integrate nei moduli LED. Inoltre le basse tensioni di alimentazione dei dispositivi LED, permettono un facile inserimento di schede di controllo e di sensori, per la gestione dei parametri di illuminazione.

RISPARMIO ENERGETICO

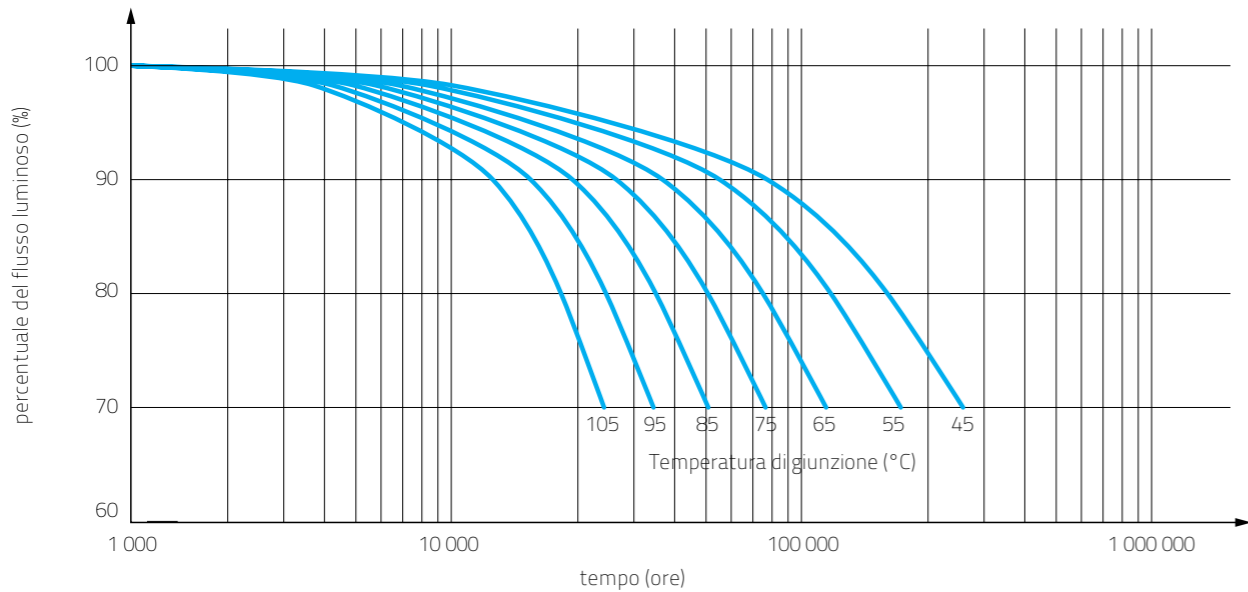
Confrontato con fonti di illuminazione tradizionali il risparmio ottenuto utilizzando l'illuminazione a LED è di circa:

93% rispetto alle lampade ad Incandescenza
90% rispetto alle lampada Alogene
70% rispetto alle lampade a Ioduri metallici
66% rispetto alle lampade Fluorescenti.

Il peggior confronto possibile si ha con le lampade (solitamente usate per le illuminazioni pubbliche e negli impianti sportivi), il rapporto è di circa 1/3. A fronte di un consumo ipotetico di 30W, a parità di illuminazione, il led consumerà solo 10W. Confrontato



↑ Figura 5.6 - Il Power LED esaminato funziona con corrente di pilotaggio pari a 350 mA (documentazione Seoul Semiconductor)



↑ Figura 5.7 - Variazione della durata media di vita in funzione del decadimento di flusso (documentazione CREE)

con le lampade a filamento il rapporto sale a 1/10, ossia a fronte di un consumo ipotetico di 100W il led consumerà solo 10W.

Il vantaggio è immenso specialmente dove non è permesso uno spegnimento dell'illuminazione (es. gallerie, ospedali, sottopassi, ecc...), con notevole riduzione dei costi di esercizio e gestione, come spiegato nel capitolo precedente.

Sebbene ora il costo d'acquisto dei LED sia elevato e non paragonabile con le altre fonti luminose, il notevole risparmio dovuto al consumo minore di energia, permette di recuperare il costo d'acquisto.

Ogni famiglia di lampade ha un campo nel quale è privilegiata, principalmente per motivi tecnici e prestazionali. Per esempio, le lampade ad incandescenza difficilmente verranno usate per gli esterni o gli ambienti di lavoro, la loro scarsa efficienza e breve durata non lo permette. Le sorgenti a vapore di sodio prevalgono negli esterni, questo dovuto anche ai loro lunghi tempi di accensione, non sarebbero utili negli interni che necessitano di un'accensione quasi istantanea.

I LED hanno caratteristiche da renderli adatti a molteplici funzioni, attualmente l'unico limite sembra essere costituito dalla quantità di luce erogata. Si può dire che riguardano numeri ambiti escludendo quelli in cui sono richieste grandi quantità di illuminamento, esempio palestre o grandi strutture.

Nel futuro dei LED, l'ambito applicativo di maggiore portata, sarà probabilmente quello urbano. Assume una nuova articolazione la tipologia dell'illuminazione: luce non solo per il sistema infrastrutturale e stradale, ma anche per le zone riservate ai pedoni e alle piste ciclabili, per le aree verdi, per le zone di svago intrattenimento serale e notturno.

Alcuni esempi di illuminazione urbana e per esterni che usano come fonte luminosa i LED:





↑ Ledtronics - Slim-Line Shoebox



↑ Asdlighting - Highway LED Streetlight



↑ Ledtronics - Shoebox



↑ Carmanah - SE 30



SVILUPPO

SCELTE E MOTIVAZIONI

Arrivati a questo punto della ricerca abbiamo tutti gli elementi per poter definire quali sono i punti fondamentali del progetto e le basi per la realizzazione dello stesso, uniti a qualche piccolo accorgimento e ad un sistema di controllo che andrò a spiegare nello specifico nel prossimo capitolo.

RICONOSCIMENTO DELLE PERSONE e LIMITAZIONE DEL FLUSSO LUMINOSO

L'illuminazione migliore per il riconoscimento dei tratti del viso è quella semicilindrica, ho quindi pensato di unire alla classica illuminazione verticale dei lampioni una orizzontale presente sullo stelo dell'apparecchio. L'unione di queste due fonti luminose ha come obiettivo cercare di ottenere un'illuminazione semicilindrica.

La conformazione del prodotto dovrà avere quindi una forma più simile possibile ad un semicirconfenza.

Indirizzare la luce in questo modo permette anche di limitare il flusso verso la volta celeste e quindi diminuire l'inquinamento luminoso.

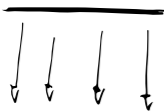
COMFORT VISIVO e RISPARMIO ENERGETICO

Per ottenere una buona qualità della luce, unita ad un risparmio energetico e consigliata l'illuminazione con i LED.

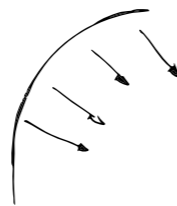
I vantaggi principali dell'utilizzo di una fonte luminosa LED sono sintetizzati in questi punti:

- Non contengono mercurio, piombo o vetro.
- Offrono un significativo risparmio energetico.
- Durano fino a 50,000 ore.
- Sono resistenti allo shock e alle vibrazioni.
- Hanno ottime temperature di funzionamento.
- Hanno un'intensità luminosa regolabile.
- Si accendono e spengono istantaneamente

LIMITAZIONE del FLUSSO
VERSO L'EMISFERA SUPERIORE



ILLUMINAZIONE SEMICILINDRICA
PER RICONOSCIMENTO PERSONE



SALVAGUARDARE L'ASPETTO DIURNO e LIMITAZIONE DEL FLUSSO LUMINOSO

Sono arrivato alla soluzione che il corpo che conterrà le fonti luminose deve essere il più possibile inserito nel contesto e quindi specifico per ogni situazione, limitando in oltre l'energia dispersa. Conoscendo le tipiche conformazioni degli edifici, e verificato nella piazzetta di via Gorizia, si vengono quasi sempre a creare spazi vuoti all'interno degli edifici composti da angoli di 90° o multipli di essi.

Da qui l'idea di creare un modulo che avesse come porzione di flusso luminoso un angolo retto, e che l'unione di più moduli generasse la somma dei flussi luminosi, così da poter creare un'area luminosa in base alla porzione utile da illuminare senza perdere energia.

Creare un sistema modulare che permetta la limitazione del flusso utile di 90°, così da utilizzare l'unione di moduli in base alle porzioni di aree da illuminare confluente una riduzione dell'inquinamento luminoso unito al risparmio energetico.

Prendendo come esempio la "sfera" luminosa (tipologia di lampione) come fonte di illuminazione, se posizionata vicino ad un edificio la porzione fonte luminosa affacciata alla parete consiste in energia ed illuminazione persa.

La possibilità di avere moduli di angoli di 90° permette di gestire nel migliore dei modi la luce.

L'unione di prodotti fa sì che la faccia posteriore abbia un angolo esplementare ogni volta diverso, creando la possibilità di adattarlo all'edificio. Ne deriva un aspetto più pulito della città.

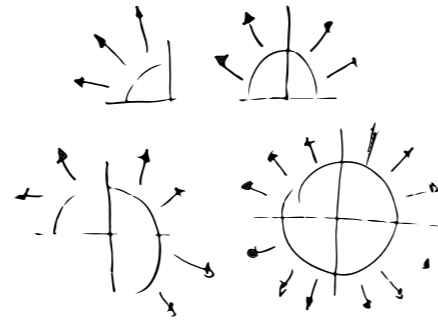
1 Modulo 90°
 Angolo esplementare 270°
 Applicazione: convergenza di pareti

2 Moduli 180°
 Angolo esplementare 180°
 Applicazione: parete degli edifici

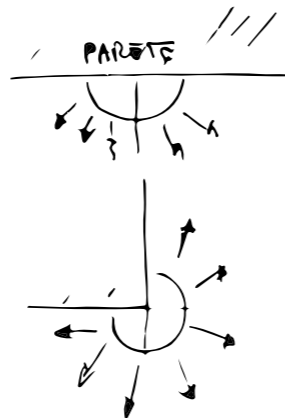
3 Moduli 270°
 Angolo esplementare 90°
 Applicazione: Spigoli edifici

4 Moduli 360°
 Applicazione: Qualora le fonti luminose attaccate a parete non fossero sufficienti per avere un illuminamento minimo, esiste la possibilità di unire i 4 moduli e ottenendo un prodotto da posizionare in qualsiasi luogo.

ILLUMINARE SOLO DOVE
 SERVE MODULO ILLUMINAZIONE 90°



ELEMENTI TECNICI ESSENZIALI
 POSIZIONE LA PIU' POSSIBILE
 DEFILATA DAL VISITA EVITARE
 ELEMENTI SOSPESI, NO FUNGHI



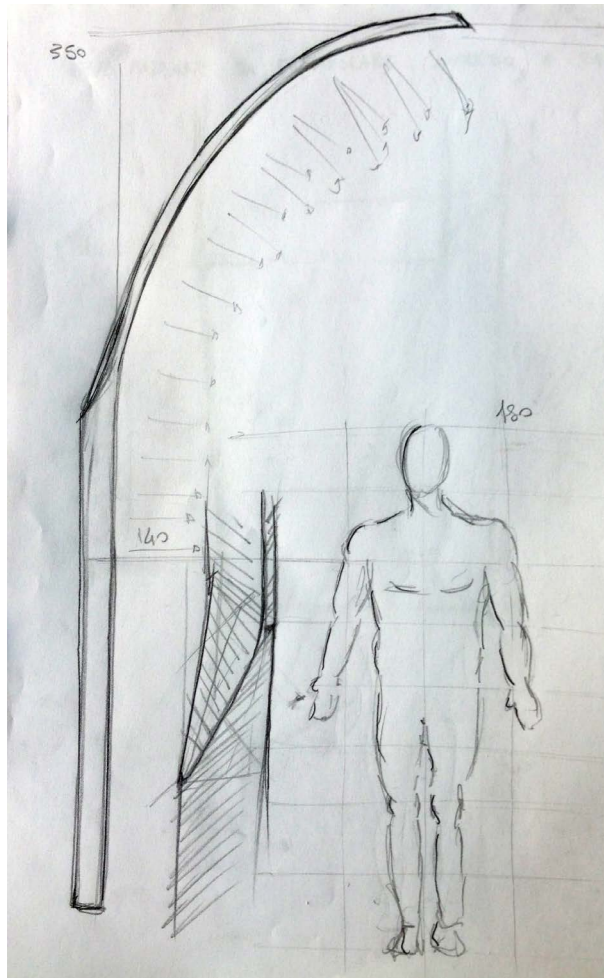
RISPARMIO ENERGETICO e RICONOSCIMENTO DELLA PIAZZA

Il risparmio energetico è generato dalla precedenti idee unite ad un sistema tecnologico di controllo. Indico per punti le soluzioni che aumentano il risparmio d'energia rispetto un classico impianto d'illuminazione.

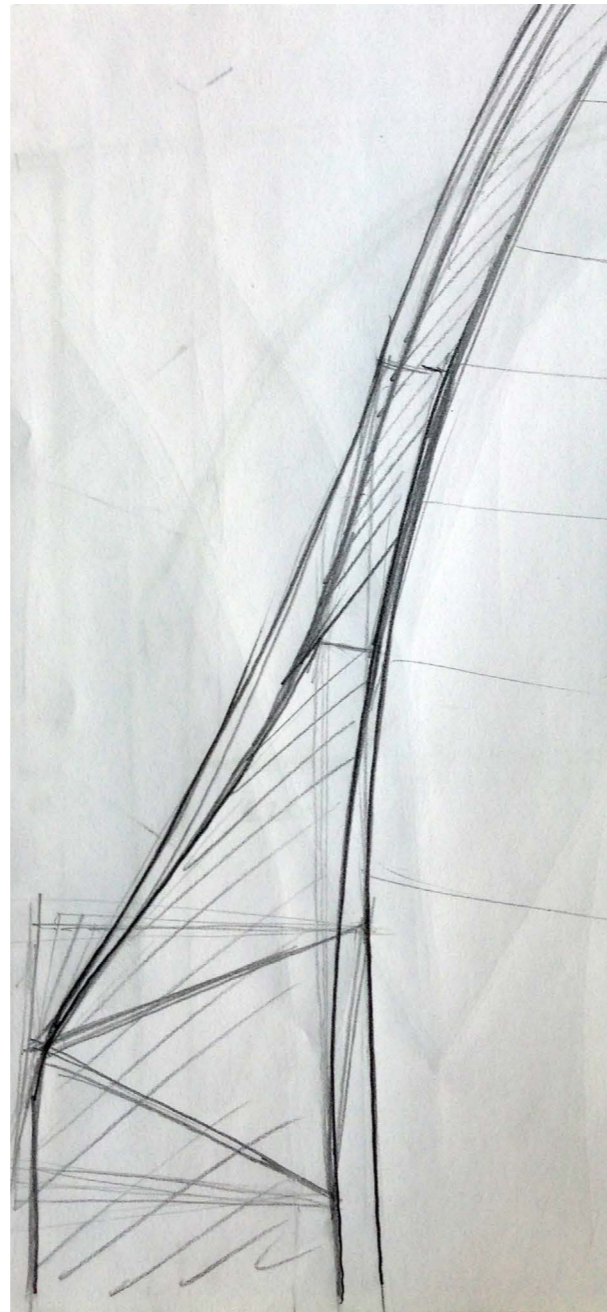
- Illuminazione LED, risparmio del 66% d'energia rispetto una lampada a filamento.
- Modularità del sistema, limitazione dell'illuminazione solo dove necessaria.
- Sensore luminosità, la fonte luminosa si accende solo quando il sensore che rileva la quantità di luce presente riceve un dato che è al di sotto dei lux minimi. La luce varia gradualmente in base alla quantità di luce solare presente.
- Sistema di riconoscimento presenza. Tutte le pareti frontali dei moduli prevedono l'installazione di un sensore che rileva la presenza o meno di persone all'interno di una circonferenza che ha come centro la fonte luminosa.

La conformazione della Piazza di Via Gorizia a SSG permette di capire, in base alla posizione d'ingresso dell'utente, il percorso che farà e quindi di accendere (aumentare di potenza) solamente le luci utili.

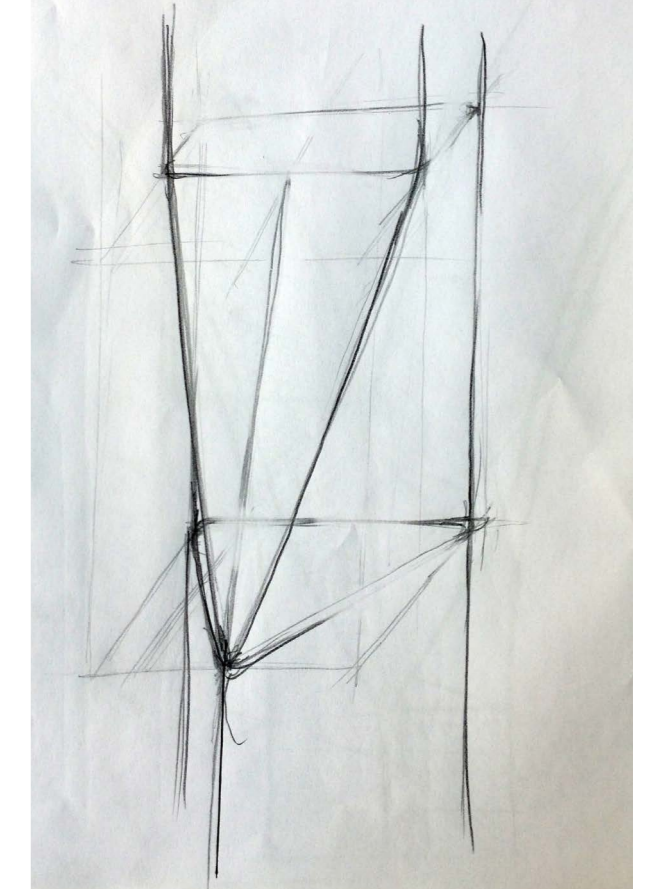
Tutti i sensori sono collegati ad una centralina di controllo che analizza le variabili (ovvero quando un pedone è presente nella zona di rilevazione del sensore) e invia i segnali di controllo per rispondere alla determinata combinazione. Un algoritmo di controllo dev'essere studiato per prevedere tutte le possibili variazioni di percorso possibili che l'utente può fare. Fondamentale è che la persona abbia sempre la possibilità di vedere bene, ad un minimo di 10 m di distanza.



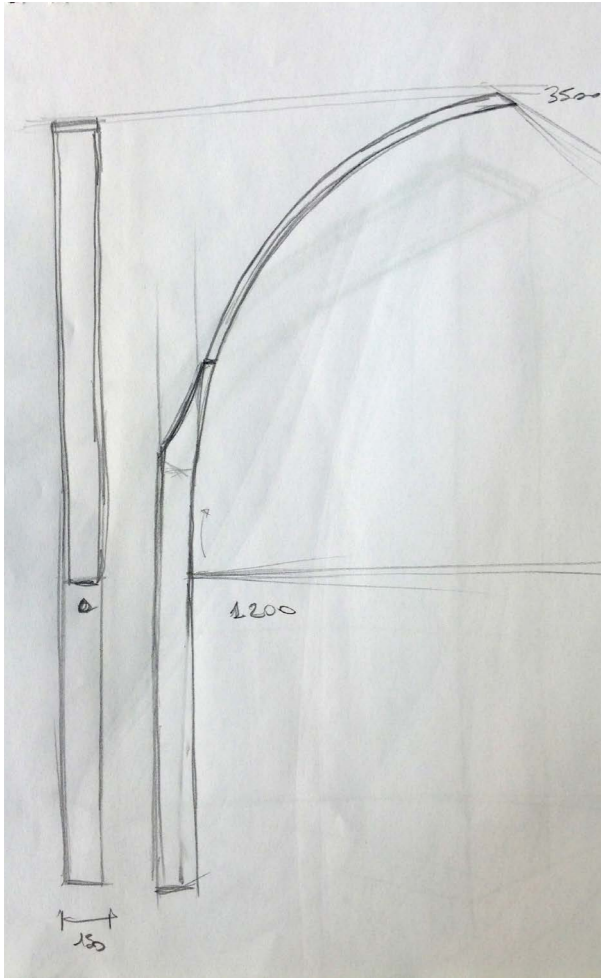
L'apparecchio deve riuscire ad illuminare completamente la persona, con l'unione dell'illuminazione orizzontale e quella verticale. La fonte orizzontale deve partire da un'altezza di 1300 mm, per comprendere all'interno delle altezze superiori la maggior parte degli utenti.



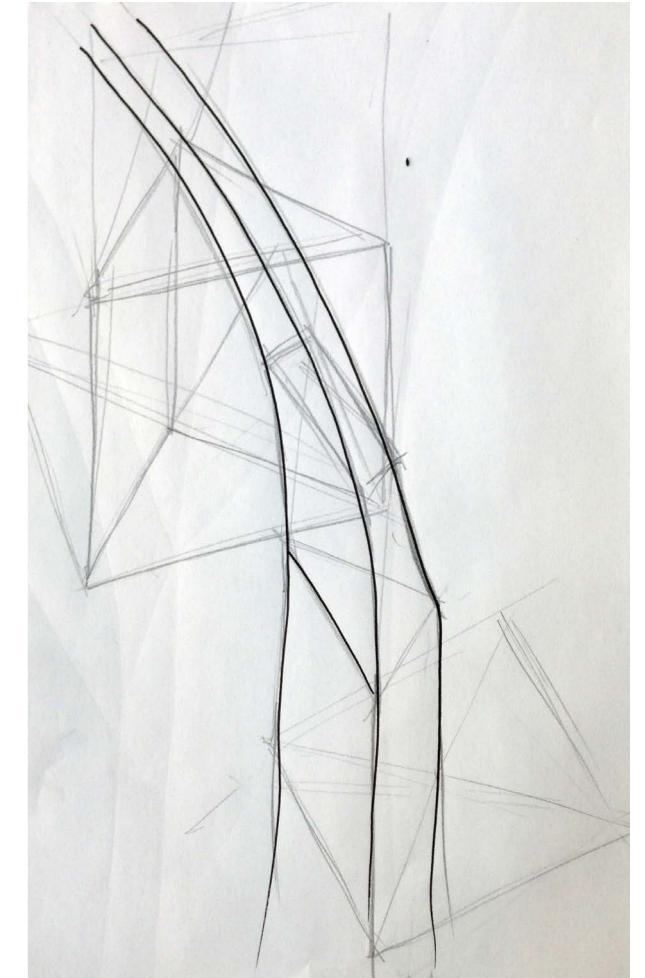
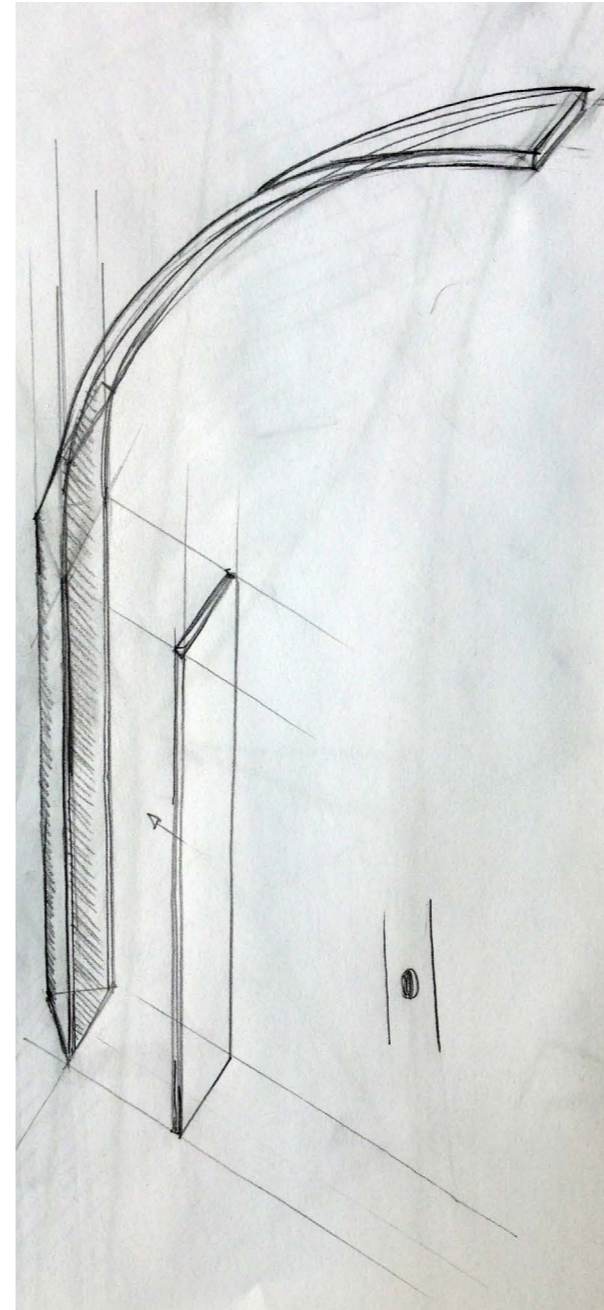
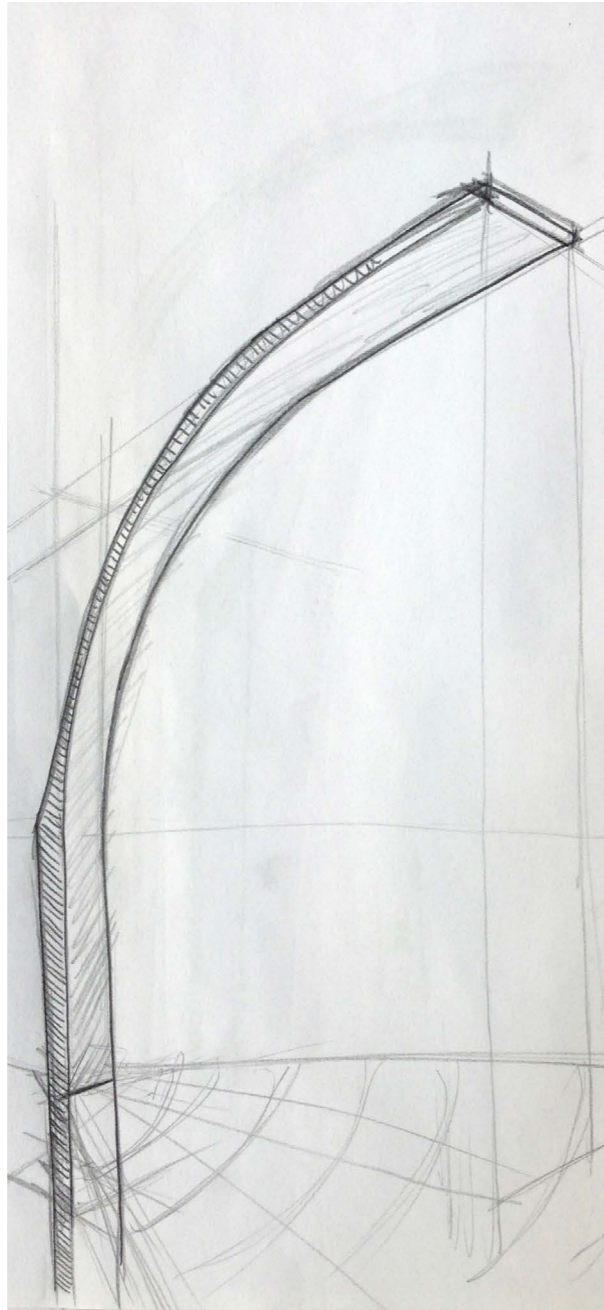
DEVE PASSARE DA TRIANGOLO (MODULO) A BARRA



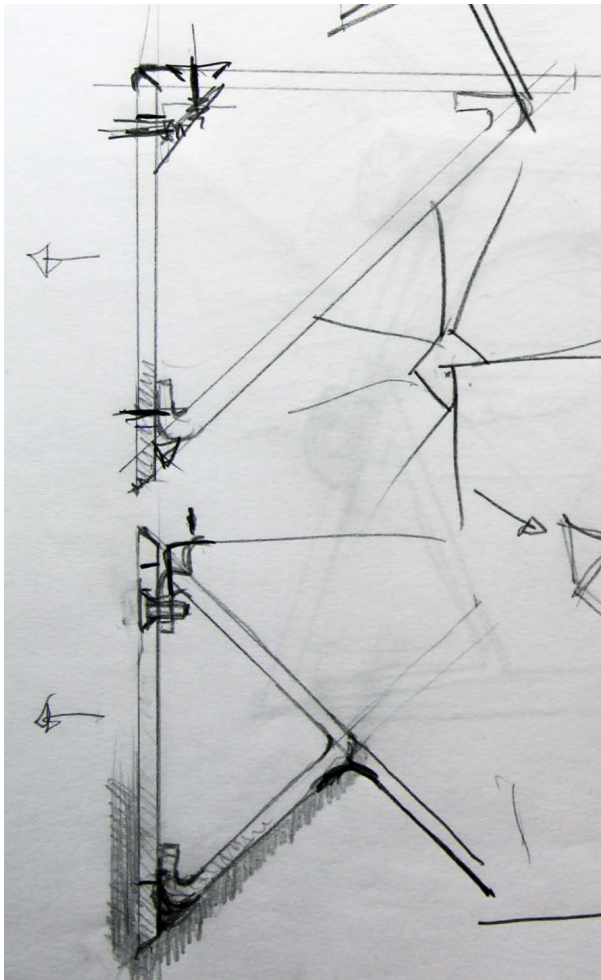
Per sfruttare la modularità precedentemente descritta, la base deve avere una sezione triangolare, così da creare gli angoli esplementari funzionali alla conformazione degli edifici.



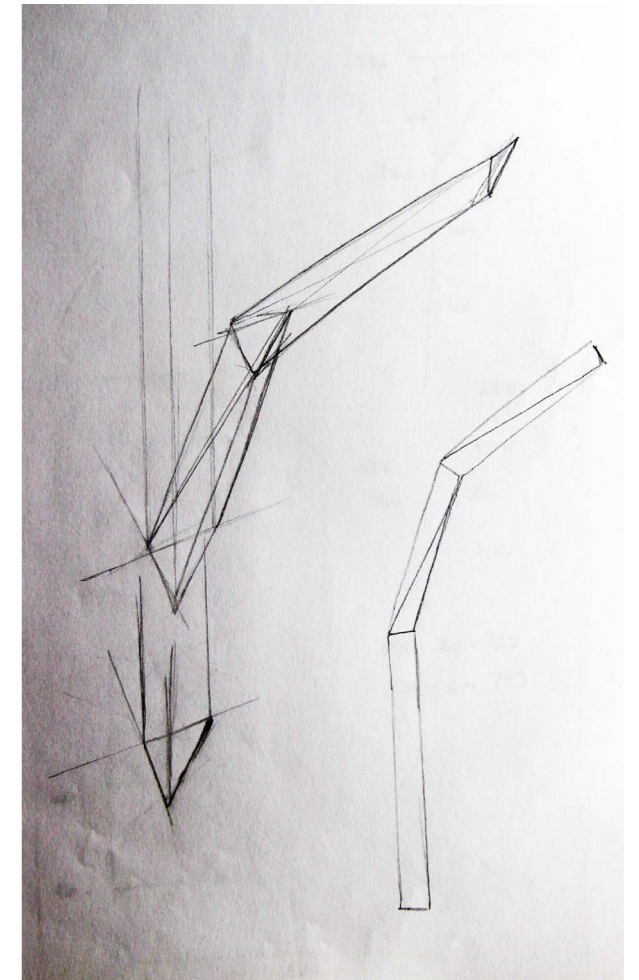
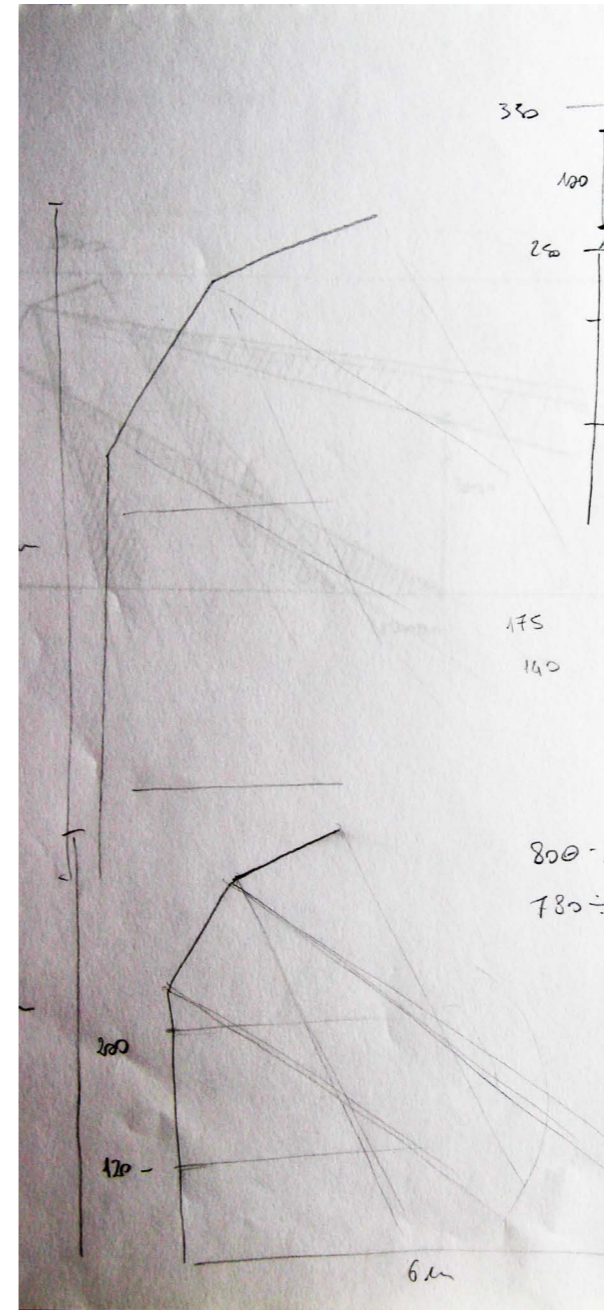
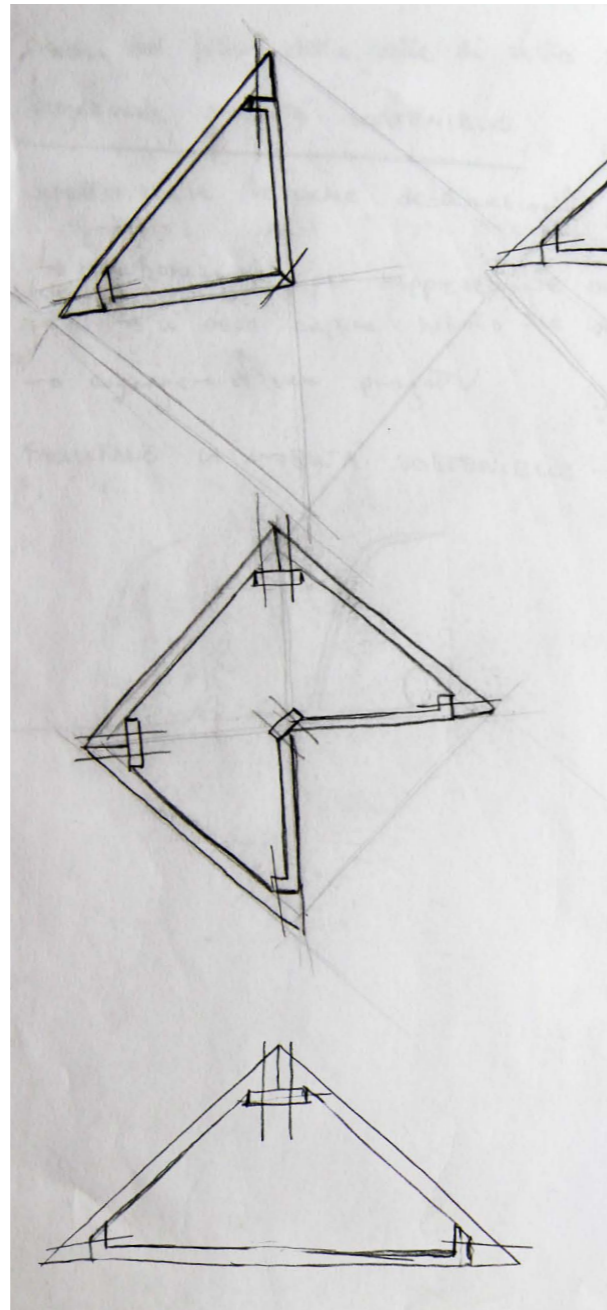
Deve presentare il sensore per la rilevazione della presenza o meno delle persone, la posizione migliore è quella al di sotto del diffusore orizzontale, poiché risultando all'altezza del busto, faciliterebbe il compito del sensore avendo una superficie maggiore di rilevazione.



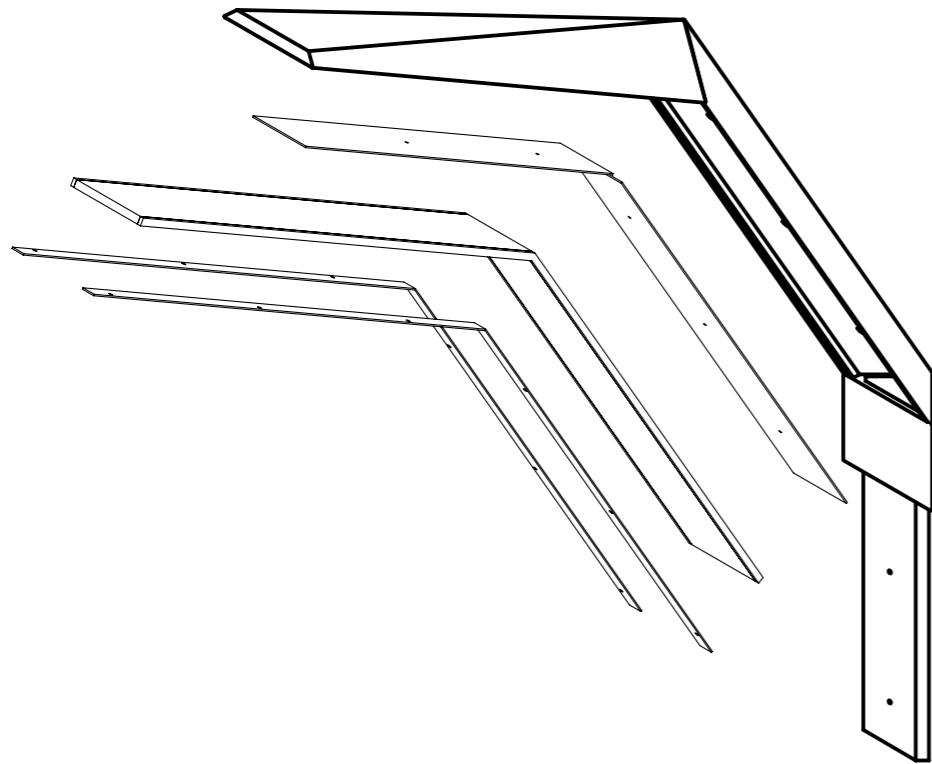
Una parte della struttura deve essere mobile per permettere la manutenzione dell'interno dell'apparecchio.



Ho cercato di rendere l'unione dei moduli, non come semplice somma degli stessi, cambiando solo la parte strutturale posteriore. Come vedremo successivamente questa idea è stata bocciata poiché strutturalmente era poco resistente, e la riduzione materica aumentava i costi di produzione poiché sarebbe stata necessaria la produzione di più pezzi diversi.

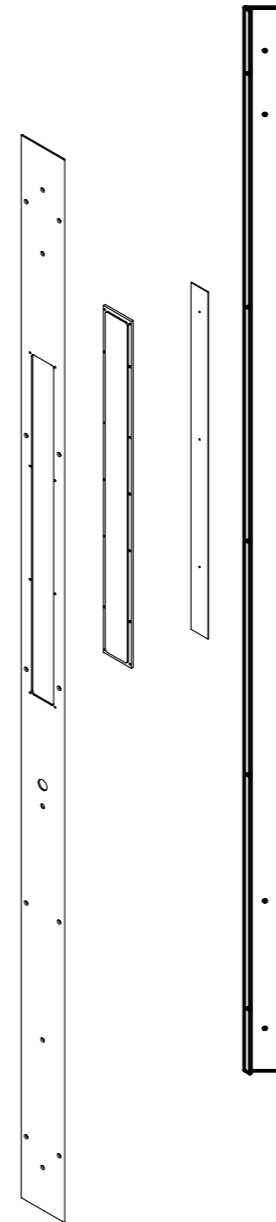


La parte del paralume era stata studiata per riprendere la forma triangolare della base, ma sempre per il motivo precedentemente descritto, la pressofusione di alluminio è stata scartata, la realizzazione risultava troppo difficile e costosa. Inserirò nelle prossime pagine alcuni dettagli di disegni tecnici della prima forma del concept.



Questo esploso rappresenta la prima idea di paralume. Era stata introdotta anche la tecnologia LSC (Luminescent Solar Concentrators), i concentratori solari luminescenti sono costituiti da lastre di materiale plastico o vetroso all'interno del quale sono dispersi coloranti fluorescenti. La radiazione emessa, sfruttando il fenomeno della riflessione totale interna, è condotta verso i bordi della lastra dove viene concentrata su celle solari di piccola superficie, che la trasformano in energia

elettrica. Il recupero di energia era troppo basso per rientrare nei costi, quindi anche questa idea è stata abbandonata, magari in un futuro, se gli studi su questa tecnologia continueranno, potrà essere utilizzata in questo modo. Come si può vedere dall'assonometria il supporto in pressofusione di alluminio, ha una forma di difficile realizzazione, anche per la presenza di sottosquadri, quindi avrebbe richiesto degli stampi particolari con costi elevati.



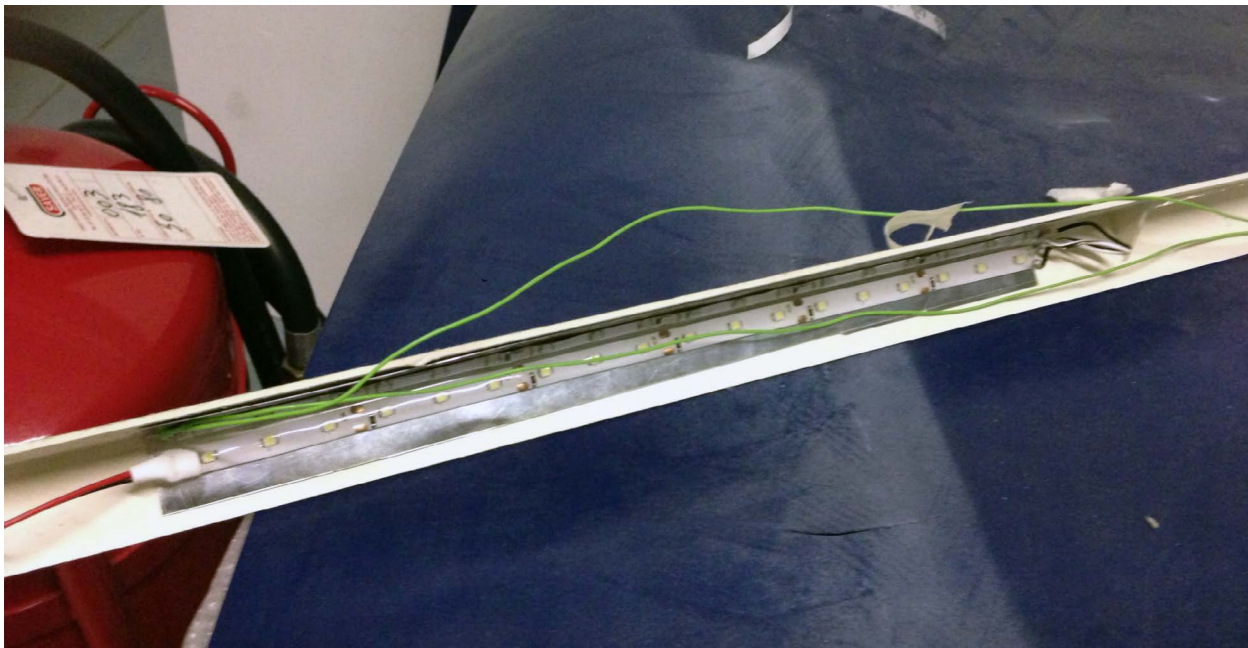
L'esploso assonometrico illustra com'era stato pensato lo stelo, il supporto verticale, del modulo di illuminazione.

Era formato da quattro blocchi distinti:

- Parete frontale
- Diffusore della luce
- Supporto per l'elettronica e i LED
- Struttura di chiusura

L'unione della parete frontale e della struttura di chiusura doveva contenere e proteggere all'interno tutta l'elettronica di controllo e le fonti luminose. Come precedentemente descritto negli sketch, questa conformazione, ovvero l'unione di più parti per la struttura portante causava una bassa resistenza meccanica, inoltre risultava difficile l'installazione della base e del paralume

Ho creato anche un modello in scala per capire come risultava l'illuminazione.





↑ 1 Modulo 90°



↓ 3 Moduli 270°



↑ 2 Moduli 180°



↓ 4 Moduli 360°

Dopo le prime idee sono quindi passato alla semplificazione del tutto e alla riduzione materica.

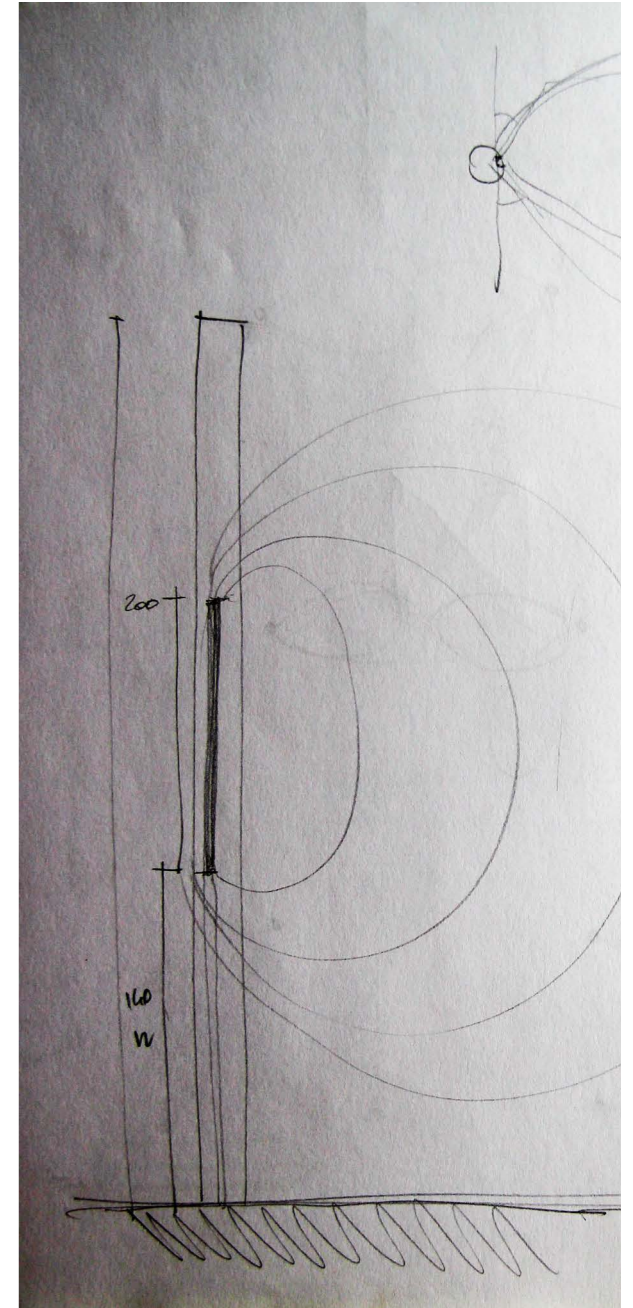
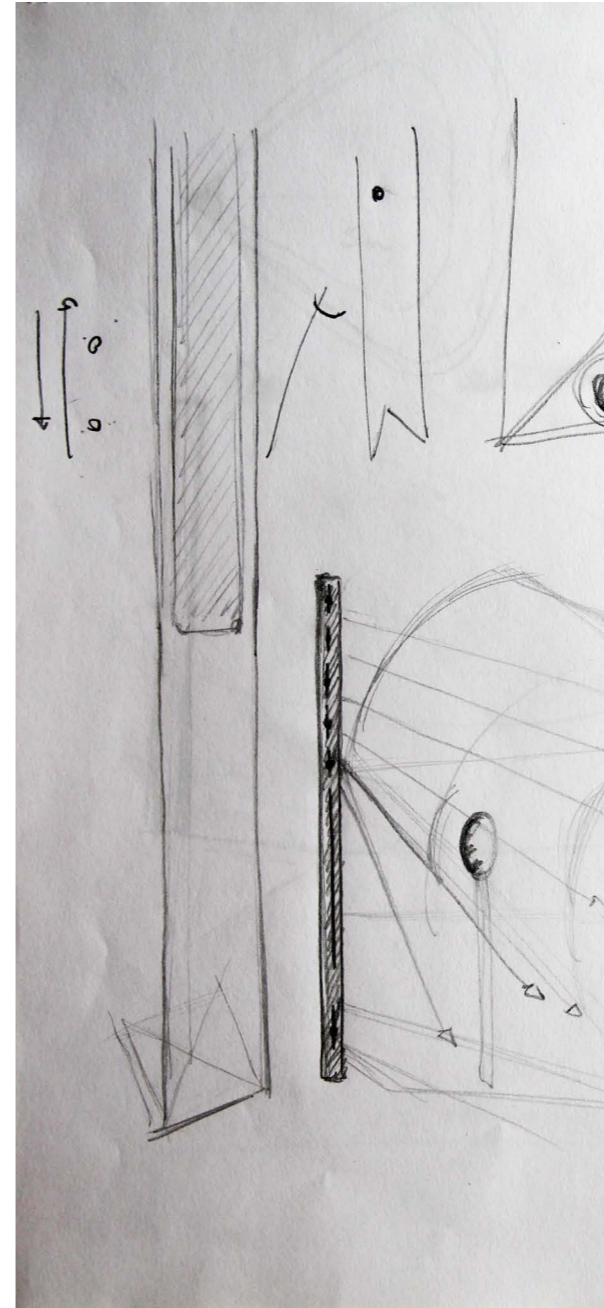
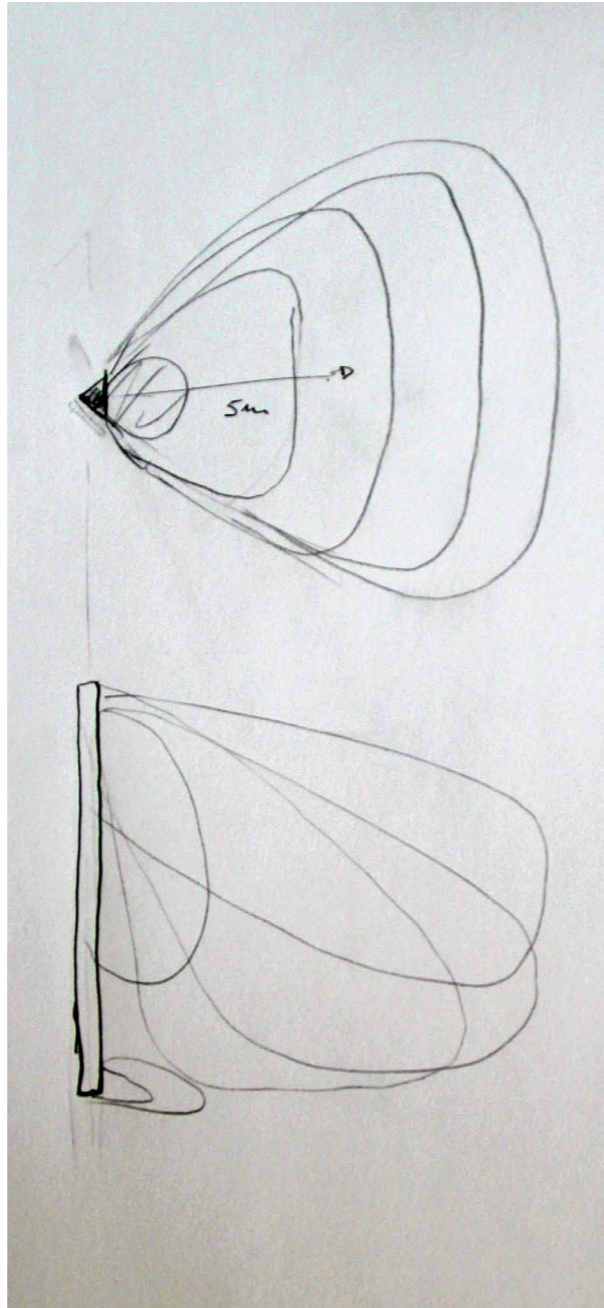
Mantenendo sempre i punti descritti precedentemente, mi sono concentrato principalmente nel comfort visivo, cercando di eliminare il più possibile l'elemento luminoso dalla vista e inserirlo nel contesto. Per fare questo ho eliminato la parte "paralume", quella struttura semicircolare che identifica i classici lampioni, con un notevole risparmio materico e di costi di produzione. Il prodotto deve inserirsi e dove possibile essere attaccato alle pareti degli edifici.

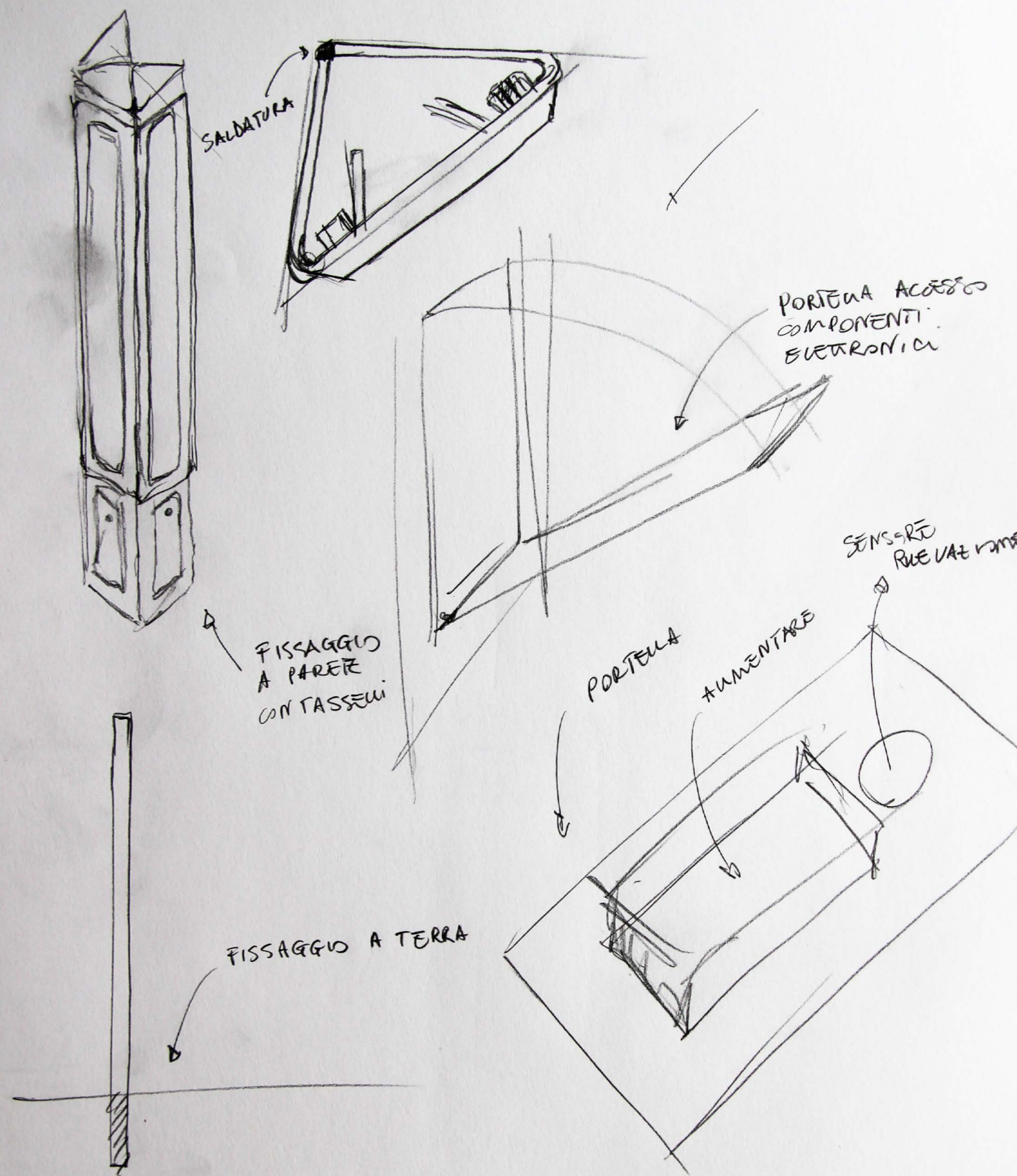
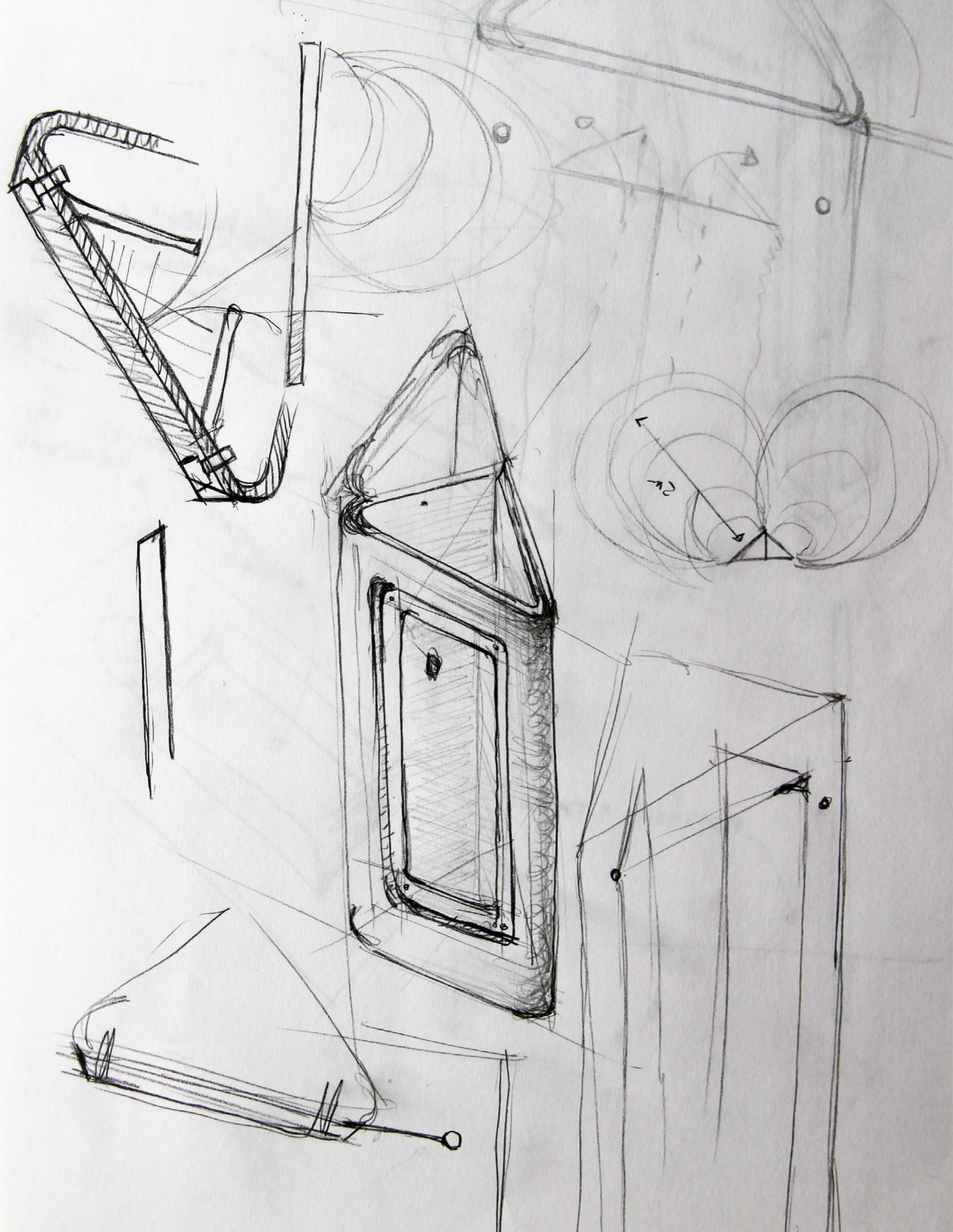
Quindi ho voluto creare due tipi di moduli, uno a parete e uno a terra, se non fosse presente una superficie verticale dove fissare il modulo.

La modularità è stata mantenuta e ottenuta tramite l'attacco dei vari supporti, senza cambiare parete posteriore.

L'illuminazione semicilindrica sarà ottenuta cambiando la direzione e l'inclinazione all'interno dello stelo.

Successivamente inserisco alcuni sketch dell'ultima idea, nel prossimo capitolo vi spiegherò nel dettaglio la struttura e il funzionamento del prodotto.





07

PRODOTTO

DESCRIZIONE

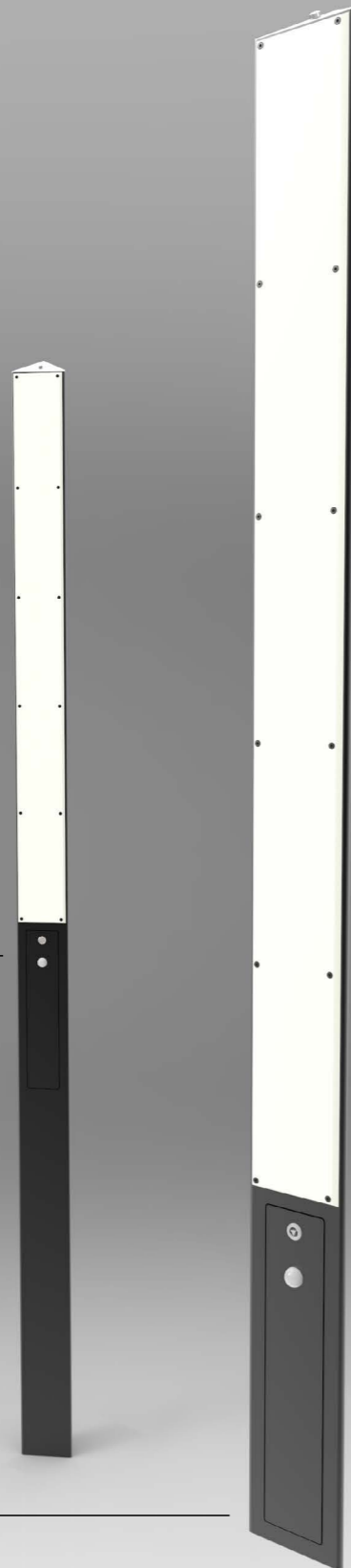
Il progetto è finalizzato alla valorizzazione degli spazi urbani scarsamente frequentati.

Il sistema modulare d'illuminazione è per quanto più possibile inserito nel contesto e quindi specifico per ogni situazione, la capacità di unire i vari moduli per creare delle porzioni di aree d'illuminazione diverse permette un notevole risparmio energetico e consente anche una diminuzione dell'inquinamento luminoso.

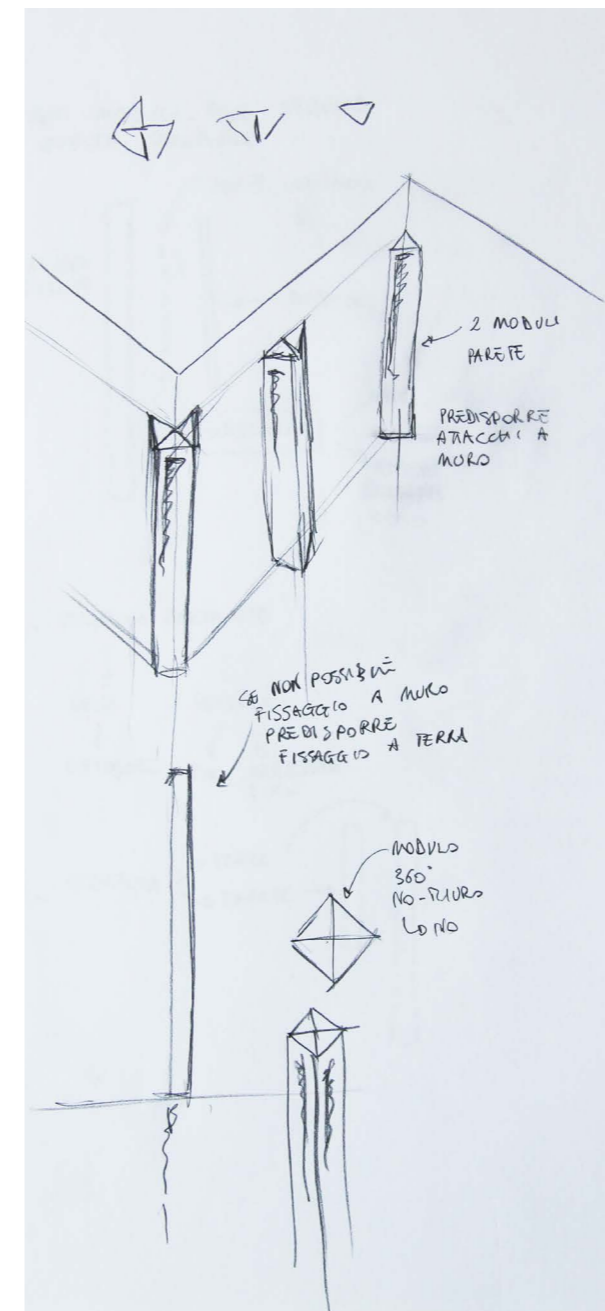
Il controllo integrato nel modulo permette la regolazione della potenza della luce in base all'illuminazione presente e alla presenza o meno di passanti.

Ora passo per passo illustrerò tutti i dettagli del prodotto.

TERRA



PARETE



Ho pensato di creare due moduli base differenti, per due tipologie di utilizzo:

- Modulo a parete
- Modulo a terra

I moduli si adattano alla presenza o meno di una parete per attaccare la fonte luminosa, qualora non fosse presente una base verticale per il fissaggio si passerà all'utilizzo di un modulo a terra.

La spiegazione specifica del prodotto con tutti i possibili dettagli verrà divisa nel seguente modo:

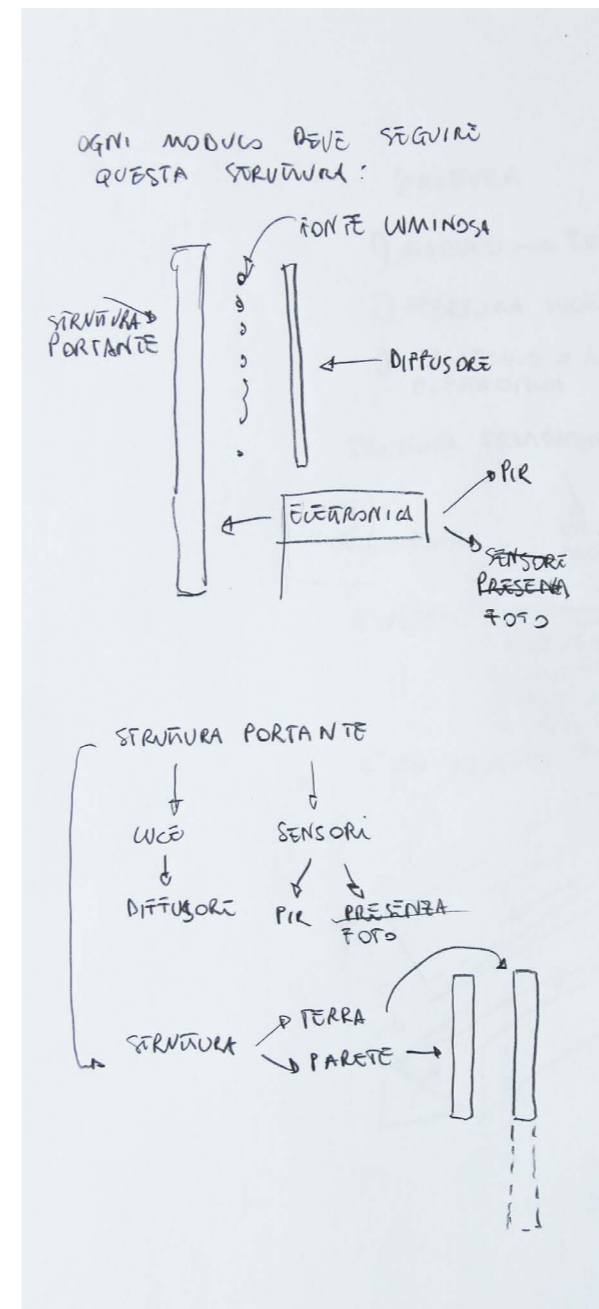
- Componenti principali
- Componenti elettronici
- Sistema di controllo e funzionamento
- Struttura, forma e dettagli
- Configurazioni

LED

DIFFUSORE

STRUTTURA

ELETTRONICA



I due moduli, fissaggio a terra e a parete, si differenziano solo per la parte inferiore allo sportello per la manutenzione e per il bloccaggio dei componenti elettronici.

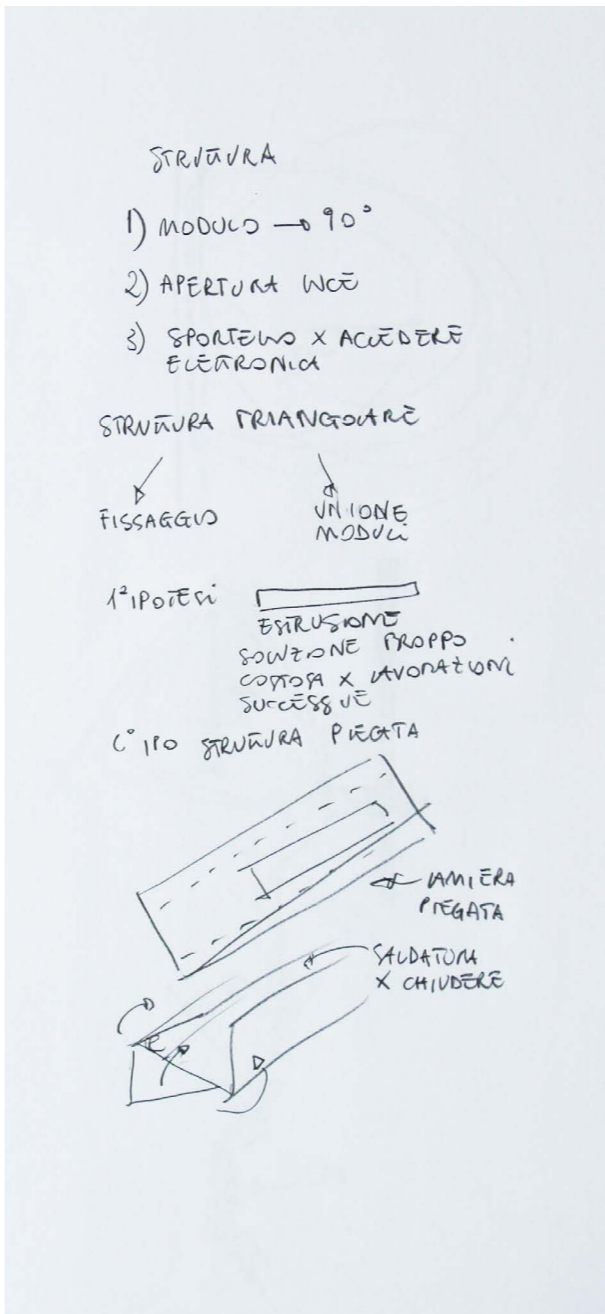
Il modulo a parete al di sotto dell'elettronica è chiuso mentre quello a terra continua, con la medesima sezione, per creare la struttura che permetterà l'inserimento nel terreno e sosterrà la fonte luminosa.

Spiegherò le parti fondamentali senza differenziare tra i due moduli, poiché sono uguali a differenza delle strutture portante, successivamente evidenzierò le diversità.

I componenti principali sono:

- Struttura
- Fonte luminosa (LED)
- Diffusore
- Elettronica di controllo

Nell'elettronica di controllo, sebbene sia relativamente distante, è presente anche la fotorisistenza posta nella parte superiore della struttura.



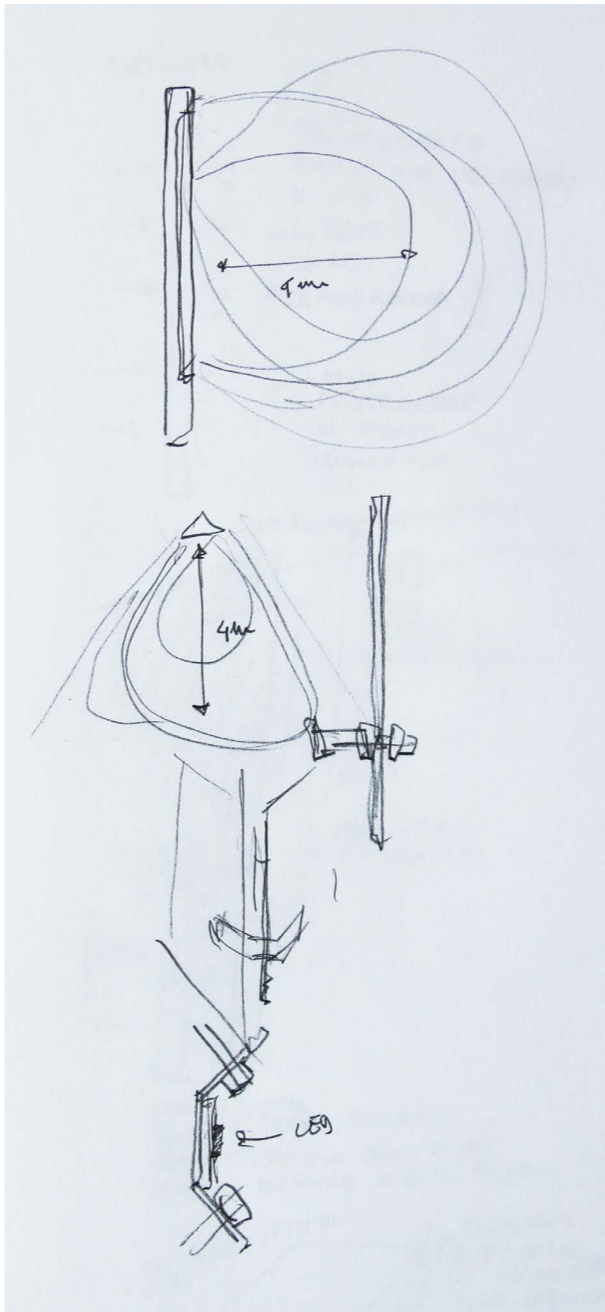
STRUTTURA

La struttura è ottenuta da una singola lamiera di acciaio, meno costoso rispetto un estrusione e successiva lavorazione.

Le lavorazioni per ottenere il prodotto finito sono le seguenti:

- Taglio laser del profilo esterno, dei profili interni e le linee necessarie per la successiva piegatura dei lembi.
- Posizionamento in CNC per i vari fori, filettature e esportazione dello spessore necessario per posizionare lo portello a filo.
- Piegatura dei due lembi centrali per il fissaggio dei moduli LED.
- Piegatura dei lembi esterni per chiudere la struttura.
- Saldatura profili per rendere la struttura resistente meccanicamente e per proteggere i componenti esterni dall'acqua.
- Arrotondamento degli spigoli vivi, limatura saldature per renderle invisibili.
- Verniciatura a tre strati (primer, anticorrosione, protezione esterna e colorazione) per proteggere l'acciaio dalla corrosione con l'acqua.
- Verniciatura lembi interni con pigmenti a base di alluminio leafing, molto fini ed estremamente brillanti, il grado di riflessione della luce è molto elevato e il rivestimento assomiglia a una superficie cromata.

La parte superiore è stata piegata con un inclinazione di 60° per evitare che si fermi dell'acqua, la parte inferiore per riprendere la forma.



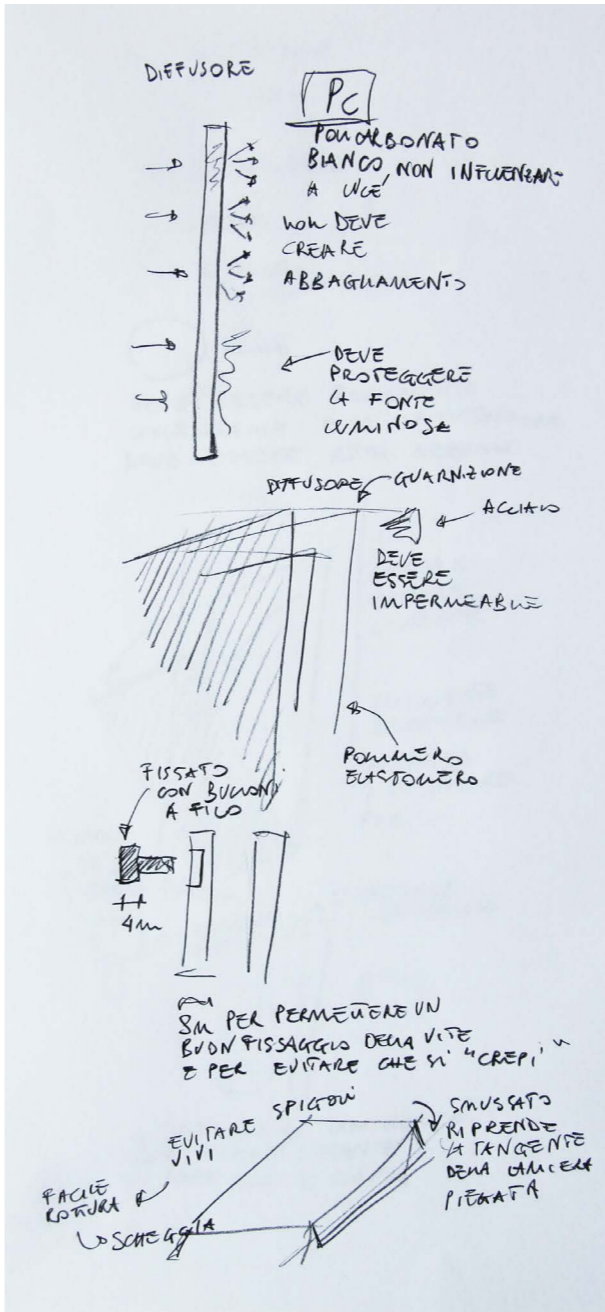
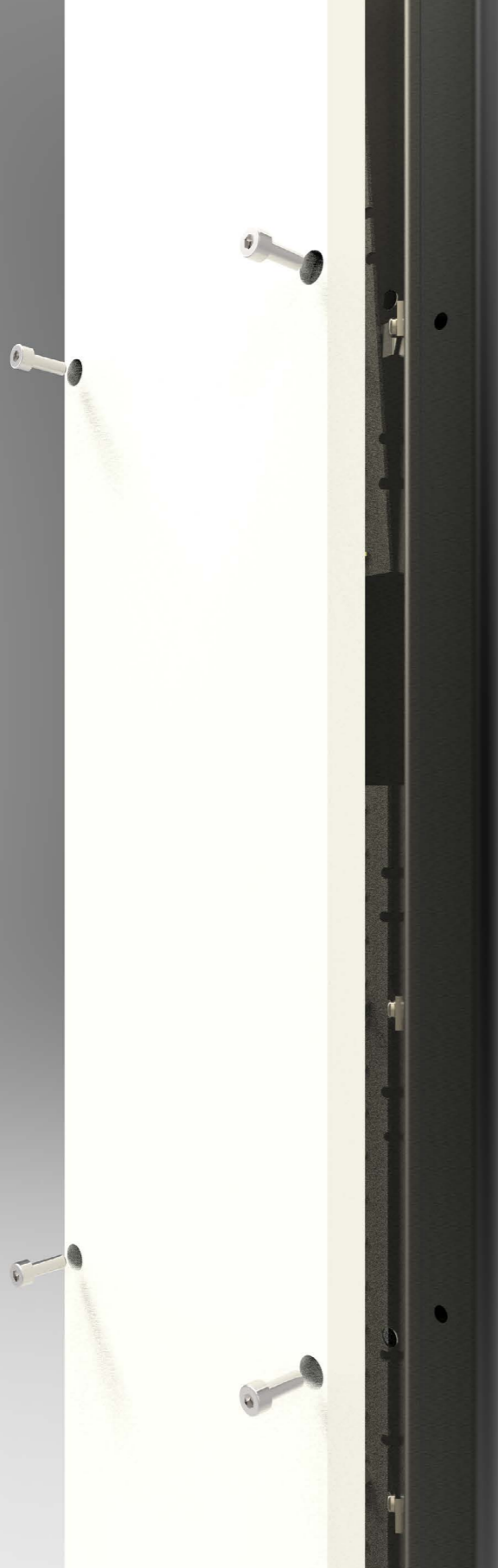
LED

I LED utilizzati sono quattro moduli LED rigidi della OSRAM precisamente LINEARlight POWER – LR21P, ho selezionato quelli rigidi per un fissaggio più facile rispetto a quelli flessibili. Per valutare se i requisiti fotometrici risultanti rispettano le caratteristiche richieste, spiegate precedentemente (capitolo 04), bisognerebbe fare dei test in laboratorio e verificare i risultati, se è necessario utilizzare dei moduli diversi.

Il fascio luminoso orizzontale ricopre l'altezza da 140 cm a 220 cm, l'ultimo modulo è inclinato leggermente per riprodurre l'illuminazione semicircolare, che come visto precedentemente, è la tecnica migliore per illuminare il volto delle persone.

Le caratteristiche principali dei LED scelti e i disegni tecnici sono riportati in allegato.

I moduli sono fissati alle pareti riflettenti con opportune staffe di acciaio e il flusso luminoso di 120° viene limitato a 90°



DIFFUSORE

Tra la fonte luminosa e l'utente è presente un diffusore della luce per ridurre l'intensità luminosa e rendere la luce più gradevole alla vista, diminuendo l'abbagliamento.

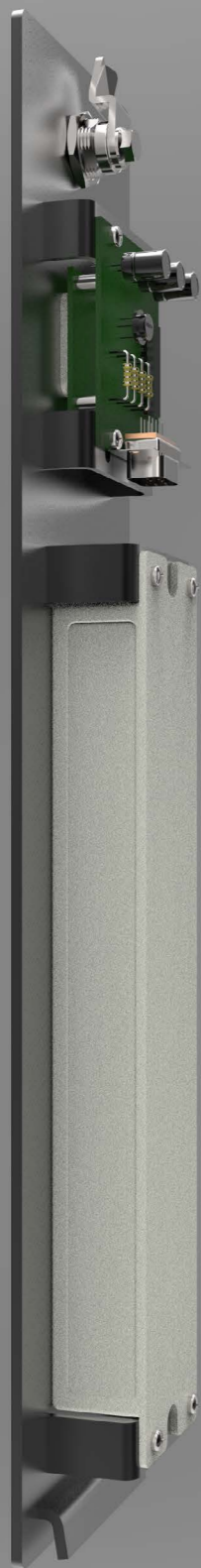
La lastra è di PMMA bianco opalino, che presenta ottima resistenza meccanica, agli urti e agli agenti atmosferici.

Oltre al fine di diffondere la luce il pannello di polimetilmetacrilato deve proteggere la fonte luminosa.

Per evitare la penetrazione d'acqua tra il diffusore e la struttura in acciaio, è posizionata una guarnizione in PTFE tagliata appositamente per permettere il passaggio delle viti.

La lastra è fissata con delle viti a brugola che si avvitano al filetto predisposto nella struttura. Le viti sono filo con il pannello, sono stati quindi predisposti degli scavi per permettere l'inserimento della testa della vite; per resistere agli sforzi la lastra ha lo spessore di 8 mm così da evitare infragilimenti dove sono posizionati i bulloni. Per la manutenzione e il cambio di moduli guasti basterà svitare le viti e rimuovere il diffusore.

Per evitare che il diffusore abbia spigoli vivi che comprometterebbero la resistenza agli urti, il profilo è stato smussato, con un angolo che riprende l'inclinazione del lembo di chiusura superiore della struttura in acciaio.



PARTE ELETTRONICA

Ogni modulo presenta al suo interno, per quanto riguarda la parte elettronica:

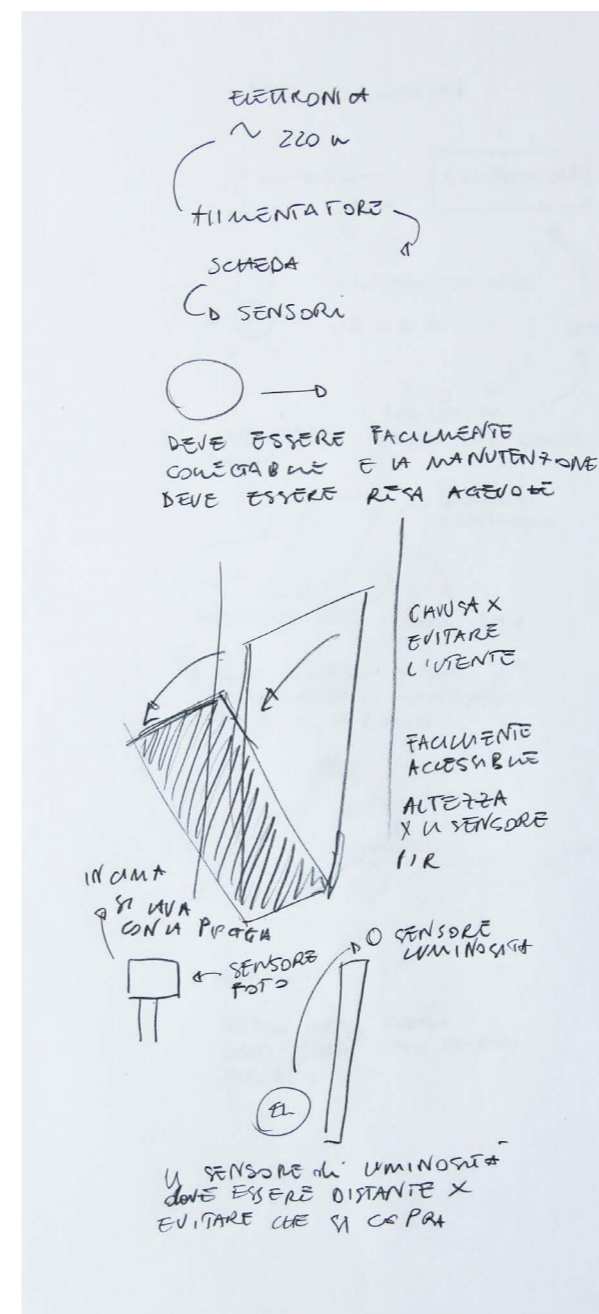
- Alimentatore
- Scheda di controllo e comunicazione
- Sensore PIR
- Sensore luminosità

Esterno al modulo è presente una centralina che analizza i dati che riceve dai vari moduli.

La parte elettronica fisicamente deve rispondere a questi requisiti:

- Collegabile alla rete
- Facilmente accessibile per la manutenzione
- Protetta
- Predisposta all'altezza necessario per la rilevazione dei dati

L'intera parte elettronica ad esclusione della fotoresistenza è accessibile tramite uno sportello posto frontalmente, chiuso con una chiave universale triangolare per riprendere la forma della struttura. Il rilevatore di luminosità posizionato appena sotto alla fonte luminosa per permettere al sensore PIR una buona rilevazione.



FOTORESISTENZA

PIR

SCHEDA DI CONTROLLO

ALIMENTATORE



COMPONENTI ELETTRONICI

133

Come precedentemente descritto ogni modulo ha al suo interno i seguenti componenti:

- Alimentatore
- Scheda di controllo e comunicazione
- Sensore PIR
- Sensore luminosità

Ed esternamente il sistema ha:

- Una centralina di controllo che analizza i dati di tutti i moduli e ne gestisce la luce.

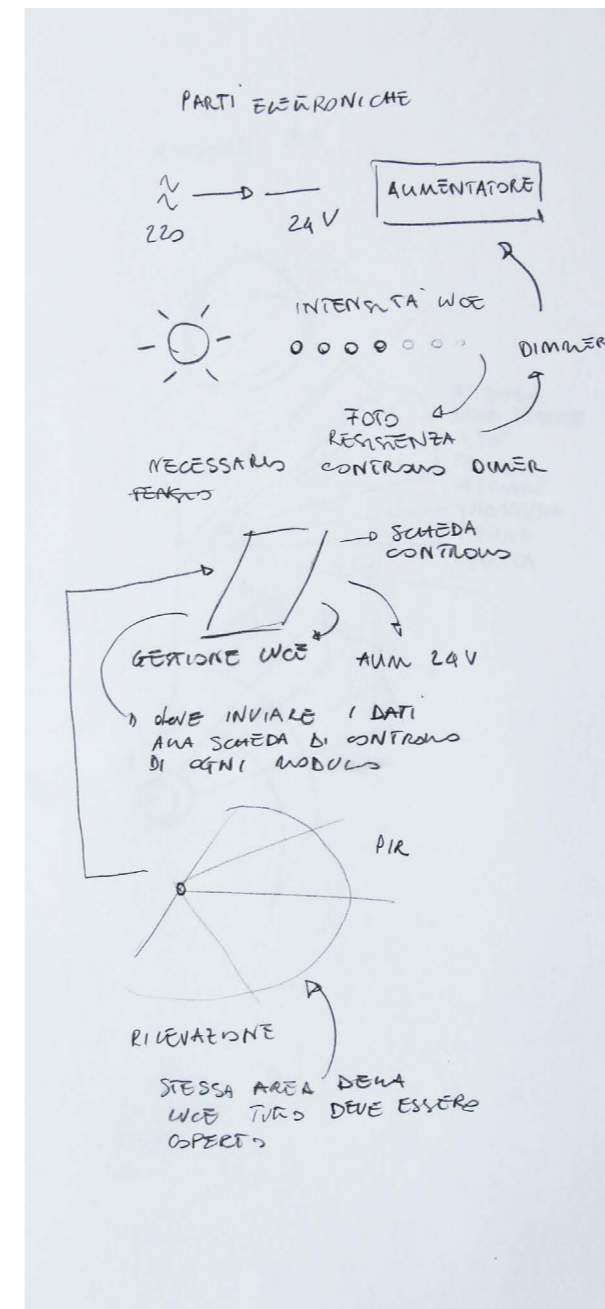
ALIMENTATORE

L'alimentatore è necessario poiché, sia elettronica di controllo che moduli LED funzionano a basso voltaggio. Lo scopo dell'alimentatore è abbassare la tensione della rete, 220 V alternata, a 24 V continua e fornire la corrente necessaria per il funzionamento dei moduli.

L'alimentatore presente all'interno del modulo è il OPTOTRONIC OT 75/220-240/24 E della OSRAM, è stato selezionato questo modello perché è adatto per applicazioni esterne e per le sue dimensioni, essendo lungo e stretto, è possibile inserirlo senza difficoltà all'interno della struttura.

Non è stata necessaria la specifica del dimmer per l'alimentatore perché la gestione della tensione ai LED è controllata dalla scheda di gestione.

Le "alette" presenti per il fissaggio sono state collegate a due U in acciaio saldate con viti e bulloni, il componente non è a diretto contatto con la parete dello sportello, per evitare che un surriscaldamento generi alte temperature.



SENSORE PIR

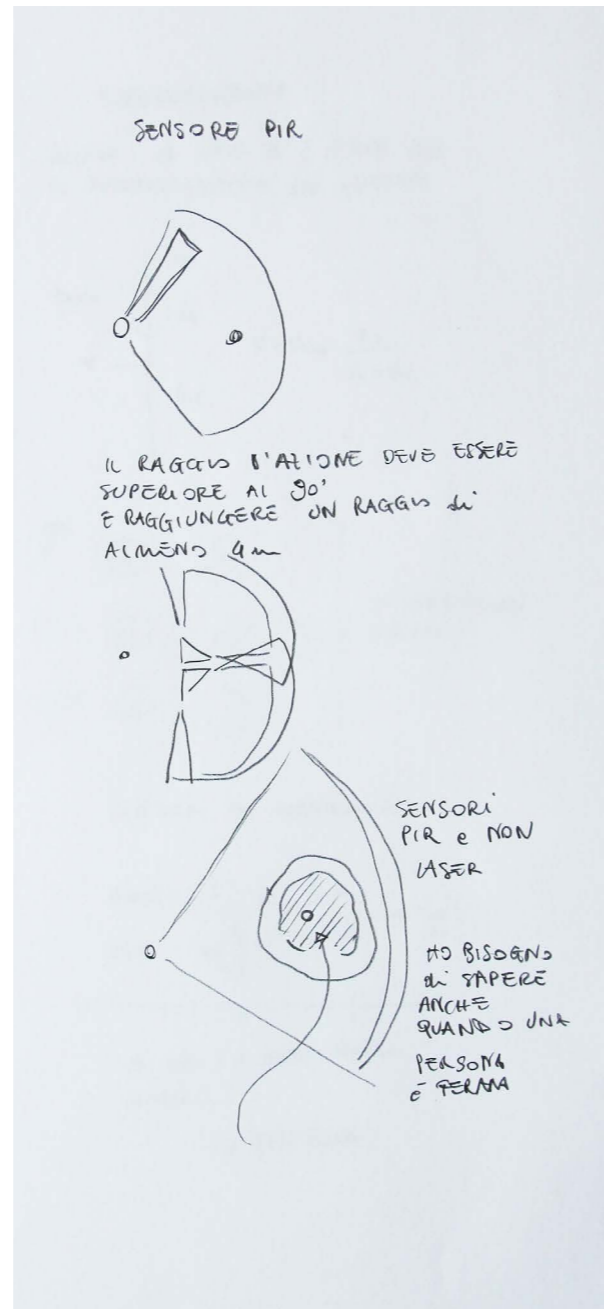
Un PIR sensor (PIR sensor, acronimo di Passive InfraRed) è un sensore elettronico che misura i raggi infrarossi (IR) irradiati da oggetto nel suo campo di vista.

Tutti gli oggetti con temperatura superiore allo zero assoluto emettono energia sotto forma di radiazioni luminose. Il termine passivo si riferisce al fatto che i PIR non emettono energia in nessuna forma ma lavorano esclusivamente rilevando l'energia sprigionata dagli oggetti.

In pratica, un sensore PIR non rileva autonomamente movimento; tuttavia, rilevano brusche variazioni di temperatura che modificano lo stato che il PIR aveva "memorizzato come normale". Quando qualcosa o qualcuno passa di fronte a uno sfondo, ad esempio un muro, precedentemente "fotografato" dal PIR come stato normale, la temperatura in quel punto si innalza bruscamente, passando dalla temperatura della stanza a quella del corpo. Questo rapido cambiamento attiva il rilevamento. Lo spostamento di oggetti di temperatura identica, com'è prevedibile, non innesca alcuna rilevazione.

I PIR più comuni sono quelli che implementano le cosiddette lenti di Fresnel, o lenti a specchio, con un range di rilevamento di, al massimo, 10 metri e un campo di 180 gradi. Alcuni PIR, più grandi, sono in grado di rilevare variazioni di temperatura fino a circa 30 metri.

Questo componente è stato posizionato all'altezza di 120 cm per permettere all'area di rilevazione di avere quasi completamente il corpo dell'uomo all'interno (vedi datasheet in allegato).



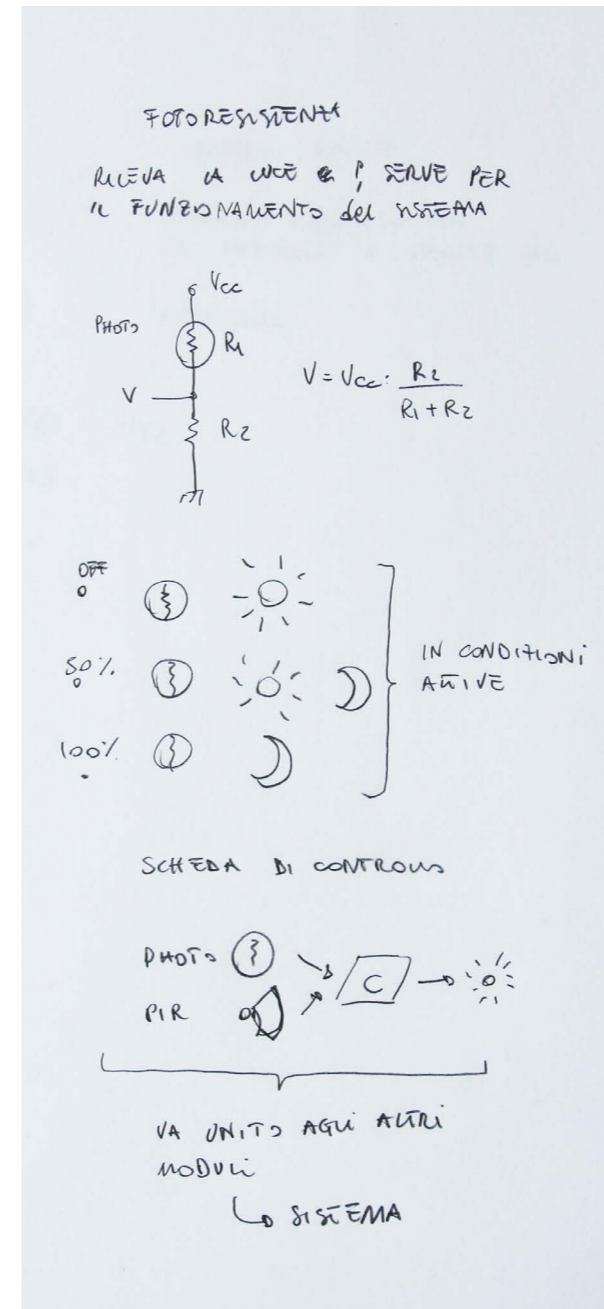
FOTORESISTENZA

La fotoresistenza è un componente elettronico la cui resistenza è inversamente proporzionale alla quantità di luce che lo colpisce. Si comporta come un tradizionale resistore, ma il suo valore in ohm diminuisce mano a mano che aumenta l'intensità della luce che la colpisce. Ciò comporta che la corrente elettrica che transita attraverso tale componente è proporzionale all'intensità di una sorgente luminosa. In tale maniera si realizza una sorta di potenziometro attuabile tramite la luce anziché tramite forze meccaniche o segnali elettrici.

La fotoresistenza è posizionata nella parte superiore del modulo, per evitare che il passaggio di persone o atti di vandalismo vanifichino il funzionamento. Il sensore è esposto agli agenti atmosferici e quindi protetto con un contenitore apposito, è fissato alla struttura con un filetto M6.

SCHEDA DI CONTROLLO

La scheda di controllo presenta tutta l'elettronica necessaria per il funzionamento dei componenti precedentemente descritti. Comprende vari integrati per la gestione dei sensori e un microcontrollore che analizza i dati. Una volta ottenuti i risultati da sensori, il microcontrollore risponde a questi determinati dati inviando una risposta, un dato in V, per l'alimentazione dei LED.



Per spiegare il sistema di controllo e funzionamento, utilizzo lo schema riportato nella pagina affianco, dove:

- C0 Scheda controllo sistema
- CN Scheda controllo modulo
- S1 Sensore PIR
- S2 Sensore luminosità
- L LED

Ogni modulo è l'unione di CN, S1, S2, L.

All'interno del sistema sono presenti i seguenti tipi di comunicazione:

- S1 → CN

Il sensore PIR rileva il passaggio o lo stazionamento degli utenti nell'area di rilevazione e invia i dati per l'analisi alla scheda di controllo. L'insieme di tutti i sensori di questo tipo permette di anticipare la direzione che prenderà l'utente, quindi accendere solo le fonti luminose necessarie, con un notevole risparmio energetico. Ogni sensore PIR è visto come una variabile, e può assumere due stati H o L.

- S2 → CN

La fotoresistenza rileva la quantità d'illuminazione solare presente e invia i dati per l'analisi alla scheda di controllo. Il sensore serve per generare un'illuminazione inversamente proporzionale all'intensità luminosa ambientale presente. Il resistore variabile rileva una dato che può essere rapportato in % (VS2, valore da 0 a 1), con opportune conversioni e dimensionamenti, la tensione che verrà inviata ai LED sarà la risultante della seguente espressione:

$$V_{LED} = V_{MAX_LED} \cdot (1 - S2)$$

dove:

- VLED è la tensione di alimentazione dei LED
- V_{MAX_LED} è la tensione nominale di funzionamento dei moduli LED
- S2 è il valore letto dalla fotoresistenza rapportato un una scala da 0 a 1 (1 luce presente, 0 buio)

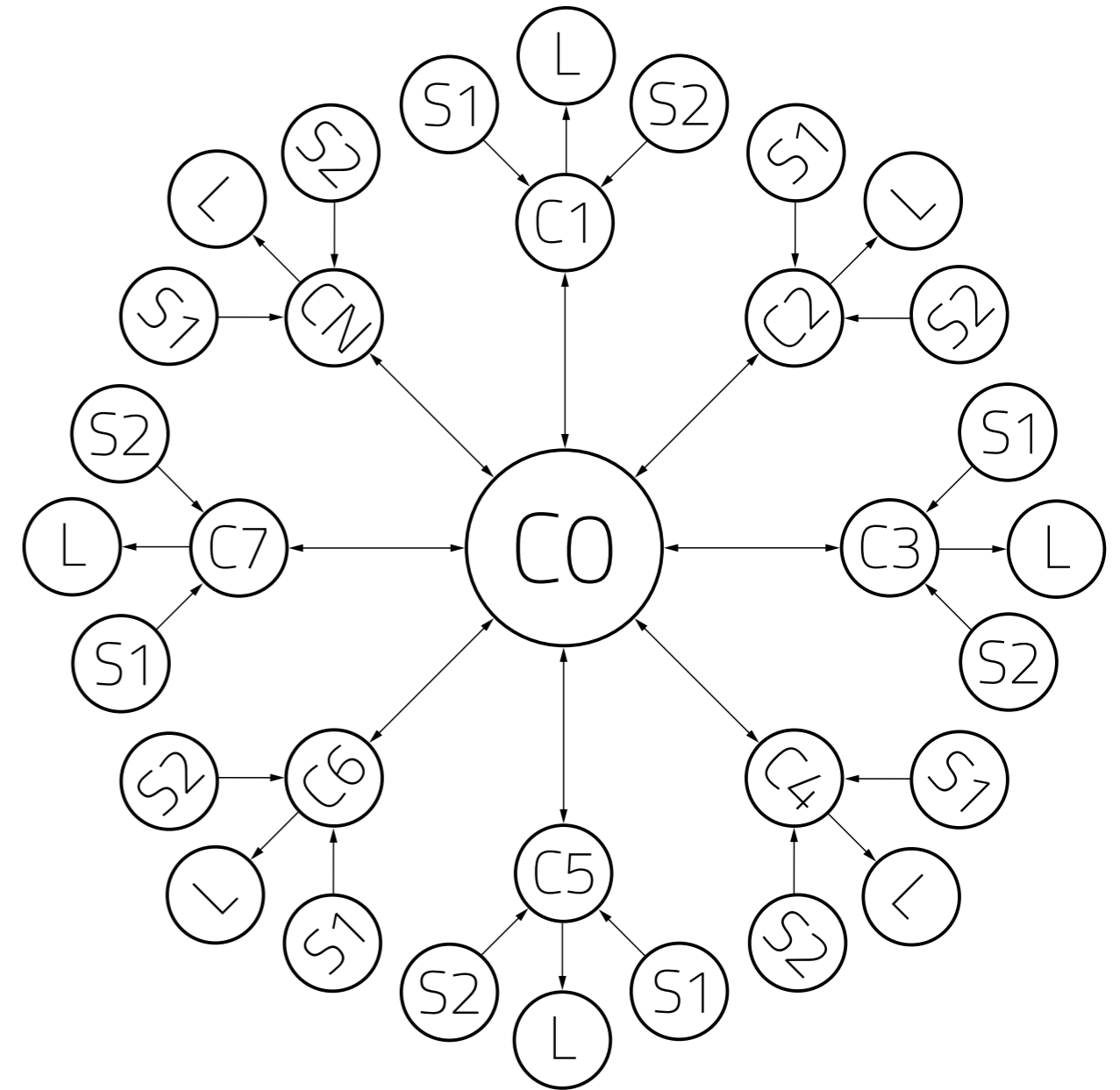
- CN ↔ C0

La scheda di controllo del modulo una volta che ha ricevuto i dati li invia alla scheda di controllo del sistema, in base ai dati ricevuti C0 genera una risposta per specificare quali moduli accendere, e con quale intensità.

La connessione CN ↔ C0 è l'unica bidirezionale all'interno del sistema.

- CN → L

Quando tutti i dati sono stati analizzati, la scheda di controllo del modulo invia un segnale sotto forma di tensione ai LED. Il valore di alimentazione dipende dai risultati dei due sensori.



FUNZIONAMENTO SISTEMA - ESEMPIO

VINCOLI PRINCIPALI

- Durante la notte nessun modulo deve essere spento, le due condizioni possibili sono illuminazione bassa (L) e alta (H).
- L'utente deve sempre avere una buona illuminazione attorno a se, e deve sempre vedere le possibili scelte di percorso, le zone perimetrali hanno sempre i moduli accesi.
- L'accensione dei moduli deve avvenire in modo graduale per non allarmare gli utenti.
- Nell'eventualità che una persona soste per un determinato periodo all'interno dell'area, devono essere accesi i moduli vicini a quello che risulta avere il sensore PIR che rileva una presenza.
- Avvenuta l'uscita dall'area della persona o delle persone (tutti i moduli PIR non rilevano), la situazione deve ritornare nella condizione standard.

Il funzionamento del sistema è utile quando ci sono vari percorsi possibili per l'utente, utilizzo il caso studio della piazze di via Gorizia (Immagine pagina 135) per spiegare il funzionamento dell'impianto d'illuminazione.

Utilizzerò le seguenti sigle per identificare modulo e sensore:

- **1H** significa che il modulo 1 è acceso
- **S1H** significa che il modulo 1 ha rilevato la presenza di una persona.

CONDIZIONE STANDARD

MODULI H: 1, 2, 3, 8, 9, 15, 16

• ESEMPIO (ingresso 1-2 uscita 8-9)

- 1) S1H o S2H
- 2) S3H
- 3) **4H - 5H - 12H**
- 4) S4H
- 5) **6H - 7H - 10H - 11H**
- 6) S1-18L
- 7) CONDIZIONE STANDARD

• ESEMPIO (ingresso 8-9 uscita 1-2)

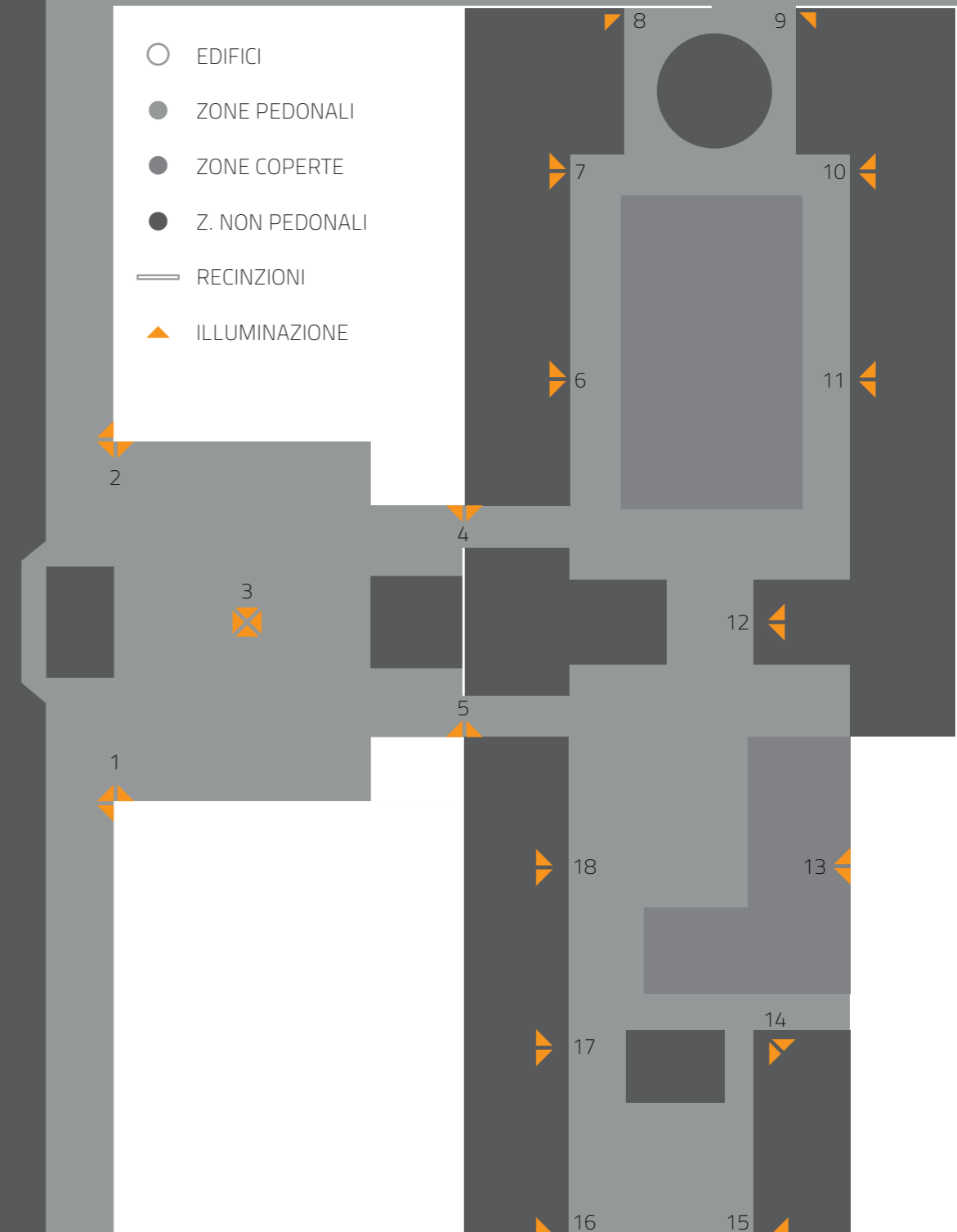
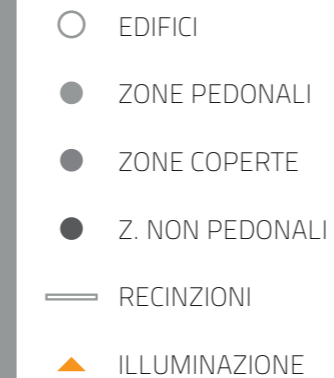
- 1) S8H o S9H
- 2) **6H - 7H - 10H - 11H - 12H - 4H - 5H**
- 3) S1-18L
- 4) CONDIZIONE STANDARD

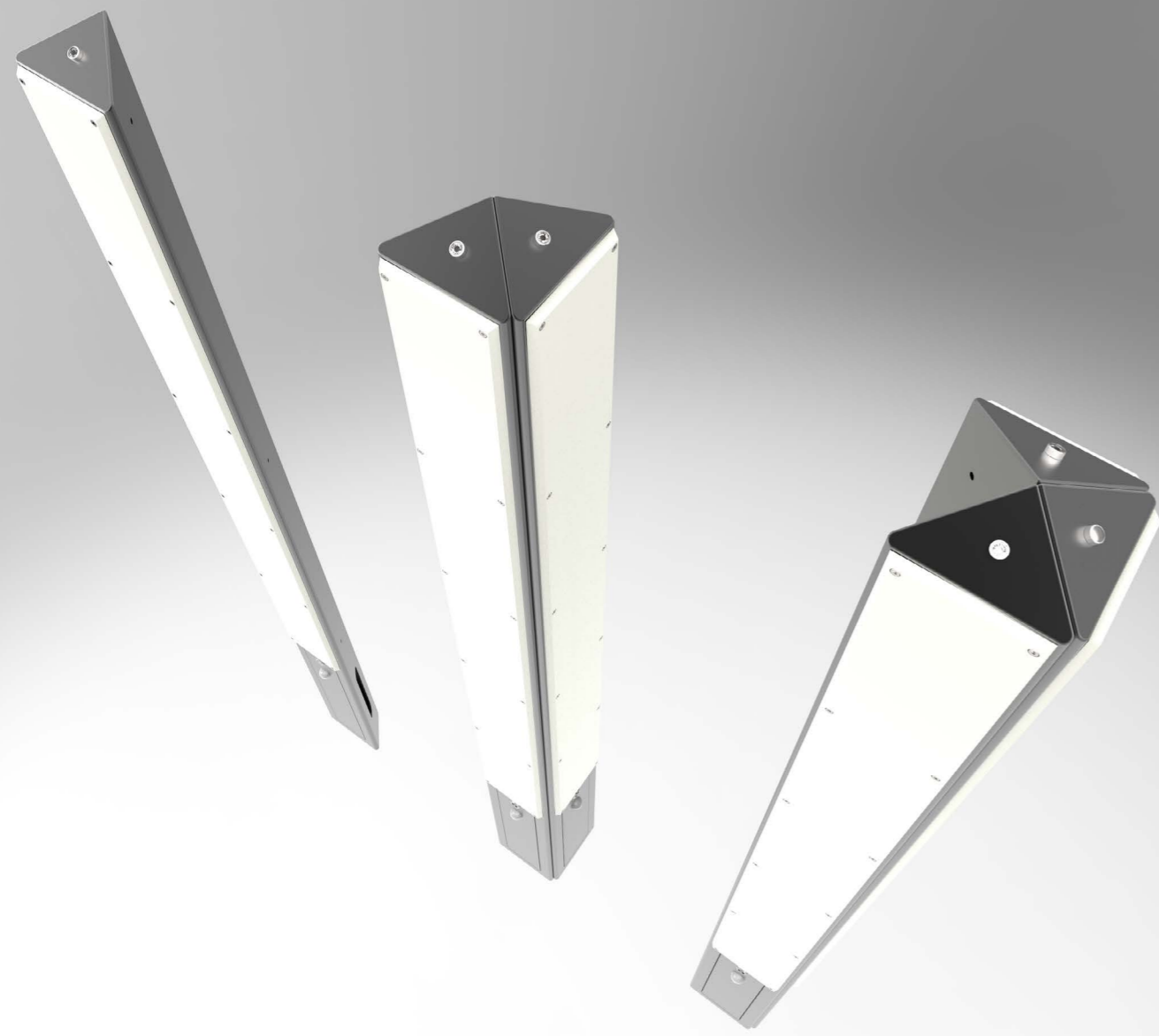
• ESEMPIO (ingresso 8-9 uscita 15 - 16)

- 1) S8H o S9H
- 2) **6H - 7H - 10H - 11H - 12H - 4H - 5H**
- 3) S12H
- 4) **13H - 14H - 17H - 18H**
- 5) S1-18L
- 6) CONDIZIONE STANDARD

• ESEMPIO (ingresso 1-2 passaggio 5 uscita 8-9)

- 1) S1H o S2H
- 2) S3H
- 3) **4H - 5H - 12H**
- 4) S5H
- 5) **13H - 14H - 17H - 18H**
- 6) S12H
- 7) **6H - 7H - 10H - 11H**
- 8) S1-18L
- 9) CONDIZIONE STANDARD





UNIONE MODULI

Sono praticati nella struttura, nella parte laterale, dei fori che permettono l'inserimento di viti M6 a testa esagonale.

I fori delle pareti coincidono, da una parte va inserita la vite dall'altra va bloccata con un dado.

La chiusura della vite va fatta tenendo bloccato il dado, questo è permesso dai tagli circolari di 20 mm di diametro che sono stati predisposti nei riflettori, l'operazione è eseguibile facilmente con una chiave a cricchetto.

Una volta uniti i moduli è necessario ricoprire il profilo con un filo di silicone per evitare la penetrazione d'acqua tra le lamiere che potrebbe corrodere il metallo.

CABLAGGIO

Sempre nelle pareti laterali ci sono delle finestrelle (tagli sulla lamiera) che consentono l'inserimento dei cavi per il collegamento alla rete elettrica. Le aperture coincidono nell'unione dei moduli e quindi di facile collegamento.

Per quanto riguarda la manutenzione si può accedere facilmente ai cablaggi e all'elettronica aprendo lo sportello.

INSTALLAZIONE A PARETE

I Moduli che siano da 90°, 180° o 270° si fissano con dei tasselli a muro allo stesso modo, vengono utilizzati gli stessi fori creati per l'unione delle strutture, quelli rimasti liberi. Per installarlo a muro bisogna prima unire i moduli e successivamente bloccare a parete. Non ha senso parlare del modulo d'illuminazione di 360° a parete, perché non permette il fissaggio in nessun modo.



UNIONE MODULI

L'unione dei moduli è praticamente identica a quella a parete, unica differenza è che sono stati praticati altri due fori nella parte bassa delle pareti, per migliorare l'unione.

CABLAGGIO

Il funzionamento è lo stesso delle finestrelle create per la struttura a parete, unica differenza sta in un'ulteriore apertura nella parte frontale, poiché se si va ad utilizzare l'unione di quattro moduli, sarebbero tutte bloccate.

Per la manutenzione, come precedentemente descritto si può accedere tramite lo sportello posto frontalmente, è stato inserito un piccolo lamierino saldato internamente, al di sotto dello sportello, per evitare che attrezzi di manutenzione cadessero dentro e non fossero più recuperabili.

INSTALLAZIONE A TERRA

Tutti i moduli a terra utilizzano lo stesso plinto, va effettuata una colata di cemento per riempire le parti vuote, poiché la base è predisposta per pali circolari. Come per la struttura parete, inizialmente si uniscono i moduli e poi si inserisce nel blocco di cemento. Per maggiori dettagli vedi allegato plinto in cemento. Non è stato fattibile fissare gli apparecchi con le piastre e bulloni a terra perché non sarebbe stata possibile l'unione dei moduli.

Le dimensioni del prodotto sono state pensate perché esso risulti strutturalmente stabile e ricopra le caratteristiche della resistenza agli urti.

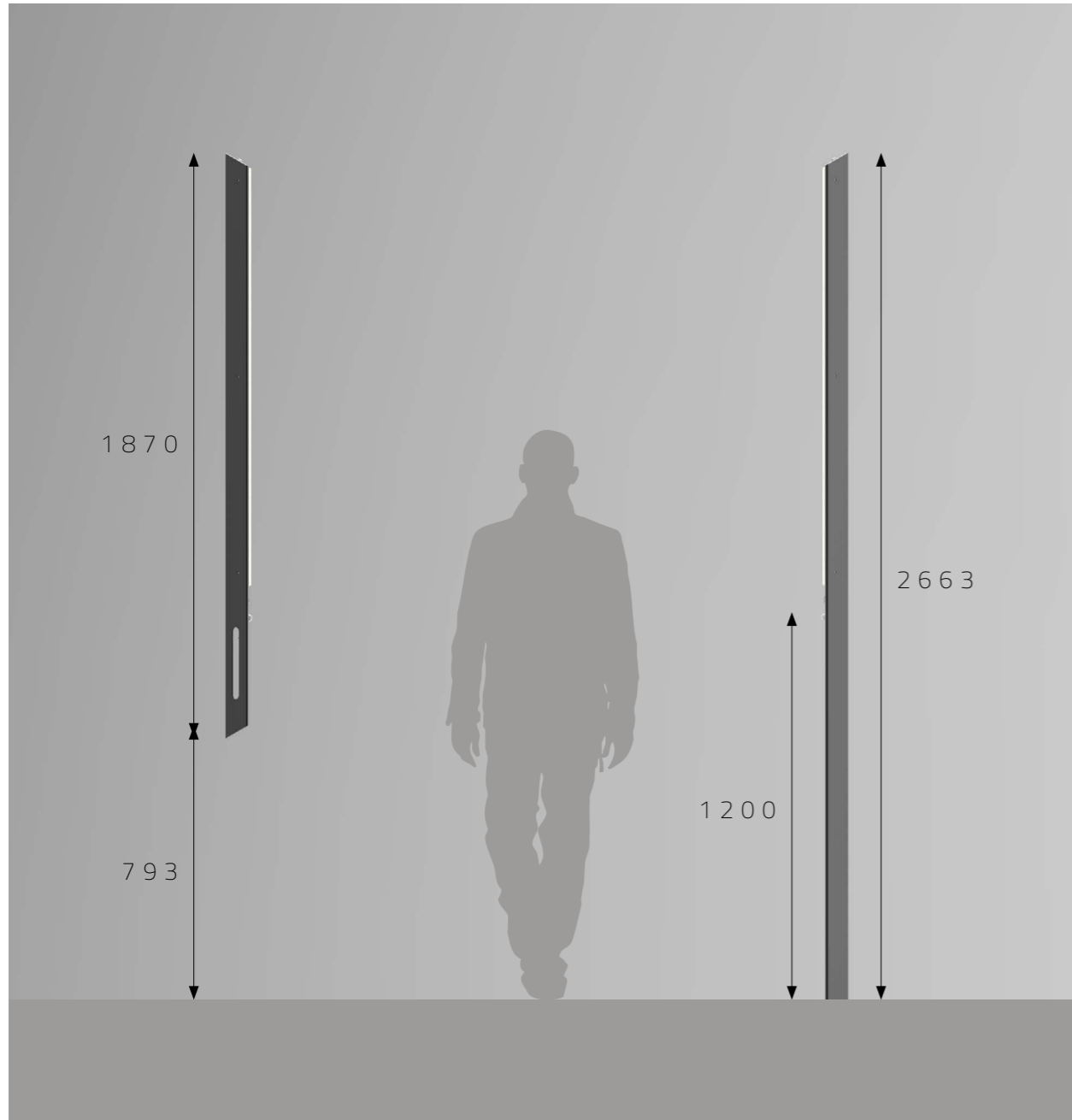
La parte d'illuminazione orizzontale comprende il range di valori d'altezza tra 130 cm e 200 cm, questo range è stato ricavato dalle tabella 7.01 per ricoprire l'altezza del volto della maggior parte delle persone. Ho preso come riferimento i dati dell'altezza delle persone tra i 18 e i 65 anni, poiché la probabilità che un bambino o un anziano passi da solo in una zona pedonale durante la notte è relativamente bassa. La struttura dell'elemento d'illuminazione supera l'altezza di 2000 mm per permettere l'inserimento di un ulteriore modulo LED leggermente inclinato per ricreare l'illuminazione semicilindrica. L'altezza massima è precisamente 2663 mm, leggermente più alto della fine della fascia luminosa poiché la lamiera di chiusura superiore è stata angolata per evitare che si fermi dell'acqua. Sempre nella parte superiore è fissata la fotoresistenza, a quell'altezza è irraggiungibile dall'ombra delle persone che avrebbe causato errori nella rilevazione dell'illuminazione ambientale, evita anche che venga raggiunta da atti di vandalismo.

Nella parte inferiore alla fonte luminosa è presente il sensore PIR, è stato posizionato 100 mm al di sotto del diffusore, e quindi a 1200 mm da terra, prendendo circa la metà dell'altezza, avendo quindi una maggior area della persona rilevabile con minor margine d'errore.

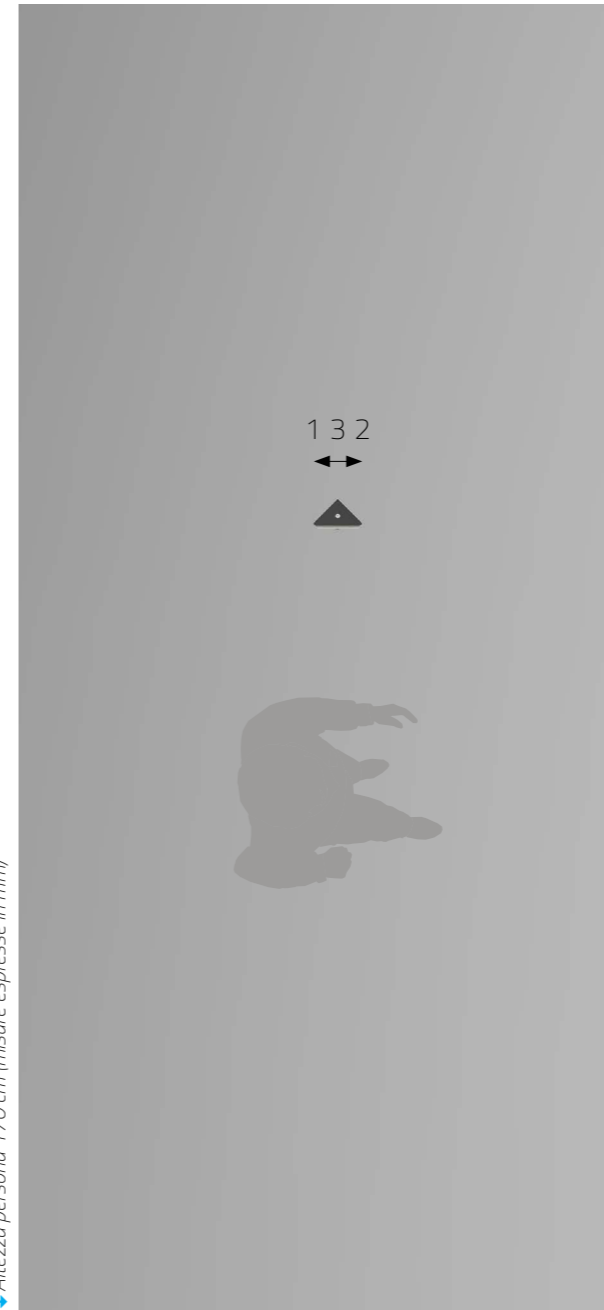
La manutenzione risulta relativamente semplice perché lo sportello è posizionato all'altezza del sensore PIR, qualora il danno non si possa risolvere in loco, lo sportello, che ha collegato a se l'intera parte elettronica, può essere sfilato e sostituito.

	nr	dimension (in mm)	P1	P5	mean	P95	P99	SD
standing	1	stature	1487	1551	1706	1861	1925	94
	2	eye height	1384	1446	1594	1743	1804	90
	3	shoulder height	1203	1259	1394	1529	1585	82
	4	elbow height	950	992	1094	1196	1238	62
	5	fist height	666	695	766	837	866	43
	6	vertical grip reach	1686	1777	1996	2215	2306	133
sitting	7	crown-buttock height	794	823	894	965	994	43
	8	eye height	689	716	782	848	875	40
	9	shoulder height	515	538	594	650	673	34
	10	elbow height	188	204	244	284	300	24
	11	popliteal height	385	403	446	489	507	26
	12	thigh thickness	116	126	149	172	182	14
	13	buttock-popliteal length	435	453	496	539	557	26
	14	buttock-knee length	532	554	607	660	682	32
	15	buttock-heel length	928	966	1058	1150	1188	56
	16	elbow-fingertip length	277	294	335	376	393	25
	17	forward grip reach	651	685	767	850	884	50
	18	abdominal depth	167	188	237	287	307	30
	19	hip breadth	305	329	387	445	469	35
	20	shoulder breadth	363	385	438	491	513	32
21	elbow breadth	365	391	454	517	543	38	
hands	22	hand length	161	169	189	209	217	12
	23	hand breadth	67	72	83	94	99	6,9
	24	hand thickness	20	22	27	32	34	3,2
	25	thumb breadth	13	15	20	25	27	2,8
	26	forefinger tip breadth	12	13	16	19	20	1,7
feet	27	foot length	209	221	249	277	289	17
	28	foot breadth	79	83	95	107	111	7
head	29	head length	169	175	188	201	207	8,1
	30	head breadth	131	135	145	155	159	6,2
	31	head height	195	205	228	251	261	14
	32	circumference	515	531	569	607	623	23

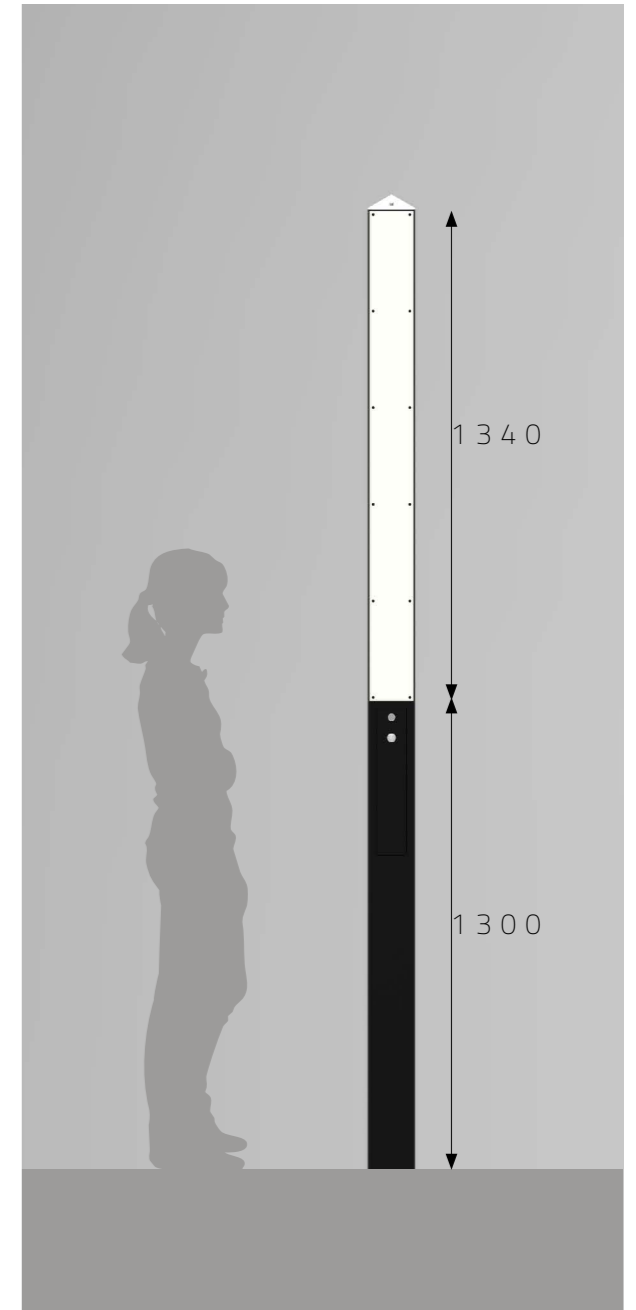
↑ Tabella 7.1 - Body dimensions fonte www.dinbelg.be



↑ Altezza persona 1800 cm (misure espresse in mm)



↓ Altezza persona 170 cm (misure espresse in mm)





↑ Modello a parete



Modello a terra ↑

08

BIBLIOGRAFIA
& SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Etnografia e ricerca sociale / Marco Marzano. - Milano : Laterza (collana Manuali Laterza), [2006]. - 150 p. : ill. ; 18 cm.
- Lighting : lampade, apparecchi, impianti : progettazione per ambienti interni ed esterni / Gianni Forcolini. - Milano : U. Hoepli, [2004]. - X, 532 p., [8] c. di tav. : ill. ; 24 cm.
- Guida alla progettazione dell'illuminazione stradale e urbana / Mario Bonomo. - Roma : Mancosu, [2006]. - 156 p. : ill. ; 31 cm.
- Manuale di illuminotecnica / Francesco Bianchi, Giorgio Pulcini ; con la collaborazione di Enrico Aliani ... \et al.!. - Roma : NIS, 1995. - 368 p. : ill. ; 24 cm + 1 floppy disk, 1 fasc. (31 p.) ; 22 cm.
- Illuminazione di esterni : criteri di progettazione e soluzioni illuminotecniche per città / Gianni Forcolini. - Milano : U. Hoepli, \1993!. - 288 p. : ill. ; 24 cm.
- Illuminazione LED : funzionamento, caratteristiche, prestazioni, applicazioni / Gianni Forcolini. - Milano : U. Hoepli, c2008. - XI, 147 p. : ill. ; 24 cm.
- L'elettronica. Analogica e di potenza / Enrico Ambrosini. - Milano : Tramontana, 2007 - 320 p. : ill ; 24 cm.
- Teoria e tecnica dell'illuminazione d'interni / Mario Bonomo ; - Milano : CLUP, stampa 2000. - XII, 351 p. : ill. ; 24 cm.
- Manuale di illuminazione / a cura di Pietro Palladino. - Milano : Tecniche nuove, [2005]. - 1 v. (paginazione varia) : ill. ; 25 cm.

DOCUMENTI E TESI

- Convegno Energie locali: Le tecnologie del risparmio energetico. Illuminazione urbana e nuove sorgenti luminose. - Sesto S. Giovanni, 26 Maggio 2010 - Sorgenti luminose e illuminazione urbana: dal mercurio al LED - Mario Bonomo
- I LED nel panorama odierno delle sorgenti luminose - Tesi di Enrico Scarabottolo - Facoltà di Ingegneria Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione - Università degli studi di Padova
- Illuminazione privata: analisi di componenti di impianti per illuminotecnica - Tesi di Jari Gianesini - Facoltà di ingegneria corso di laurea in ingegneria elettronica - Università degli studi di Padova
- Illuminazione pubblica e criteri minimi ambientali - Eco scienza Numero 2 Anno 2011
- Illuminazione urbana e scenari di progettazione - Franco Gugliermetti, Fabio Bisegna, Laura Monti
- Impianti di Illuminazione - Domenico Salimbeni
- Inquinamento luminoso: Sostenibilità dell'illuminazione pubblica - Tesi di Samuele Cupello - Corso di laurea in Scienze e tecnologie per la natura - Università degli studi di Pavia
- Inspiration & Information - An overview of LED solutions and products - Philips
- Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica illuminazione - WalterGrattieri, Roberto Menga

- Pianificazione della luce e progettazione eco-sostenibile - Ing. Diego Bonata
- Prestazioni tecniche ed economiche delle lampade a led per l'illuminazione pubblica - tesi di Francesco Trevisan - Facoltà di ingegneria dipartimento di ingegneria elettrica corso di laurea in ingegneria elettrica - Università degli studi di Padova"
- Sistema led modulare per l'illuminazione urbana - Tesi di Pistorelli Giovanni - Facoltà del Design Corso di Laurea Specialistica in Disegno Industriale - Politecnico di Milano
- Soluzioni per illuminazione urbana Pali e Bracci - Philips
- Storia della luce e dell'illuminazione - Luciano di Fraia
- Tema di ricerca 5.4.3.2: Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica - Simonetta Fumagalli
- Valutazione economica ed energetica dell'illuminazione a LED - Tesi di Salmaso Gianluca - Facoltà di ingegneria corso di laurea in ingegneria elettrotecnica - Università degli studi di Padova

SITOGRAFIA

- [Http://pewa.panasonic.com/](http://pewa.panasonic.com/)
- [Http://www.artemide.it/](http://www.artemide.it/)
- [Http://www.cielobuio.org/](http://www.cielobuio.org/)
- [Http://www.dinbelg.be/](http://www.dinbelg.be/)
- [Http://www.dirak.com/](http://www.dirak.com/)
- [Http://www.energielocali.it/](http://www.energielocali.it/)
- [Http://www.eni.com/](http://www.eni.com/)
- [Http://www.esse-ci.it/](http://www.esse-ci.it/)
- [Http://www.flickr.com/](http://www.flickr.com/)
- [Http://www.futurlec.com/](http://www.futurlec.com/)
- [Http://www.ladyada.net/](http://www.ladyada.net/)
- [Http://www.osram.it/](http://www.osram.it/)
- [Http://www.philips.it/](http://www.philips.it/)
- [Http://www.sestosg.net/](http://www.sestosg.net/)

