

POLITECNICO DI TORINO



Tesi di Laurea Magistrale

Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica

Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale

RELATORE

Prof. Vincenzo Corrado

CORRELATORE

Roberto Cavosi

CANDIDATO

Micol Chiara Ferrante

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

1. INTRODUZIONE	Pag. 5
1.1. Motivazioni personali e interesse professionale verso il progetto	Pag. 5
1.2. Oggetto della tesi	Pag. 8
2. IL GRUPPO WÜRTH E WÜRTH ITALIA	Pag. 11
2.1. Gruppo Würth	Pag. 11
2.2. Würth Italia	Pag. 12
2.3. Sviluppo sostenibile	Pag. 14
3. RELAMPING WÜRTH	Pag. 17
3.1. Business Unit LED	Pag. 17
3.2. Presentazione generale dei progetti di relamping	Pag. 18
4. ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE	Pag. 22
4.1. Storia dell'illuminazione artificiale	Pag. 22
4.2. Parametri di valutazione delle prestazioni delle lampade	Pag. 26
4.2.1. Aspetti illuminotecnici	Pag. 26
4.2.2. Aspetti economici	Pag. 29
4.2.3. Aspetti funzionali	Pag. 30
4.2.4. Tipologie di corpi illuminanti	Pag. 32
4.3. Sistemi di controllo intelligenti	Pag. 46
5. CRITERI PROGETTUALI E ASPETTI NORMATIVI	Pag. 48
5.1. Introduzione	Pag. 48
5.2. Aspetti normativi	Pag. 50
5.2.1. Illuminamento	Pag. 52
5.2.2. Proprietà ottiche dei componenti di involucro dell'edificio	Pag. 53
5.2.3. Illuminamento cilindrico	Pag. 55
5.2.4. Resa cromatica e temperatura di colore	Pag. 55
5.2.5. Abbagliamento e UGR	Pag. 56
6. PROGETTI AZIENDALI DI RELAMPING	Pag. 61
6.1. Introduzione	Pag. 61
6.2. Progetto edificio 1 – società di noleggio mezzi	Pag. 65

6.2.1. Introduzione	Pag. 65
6.2.2. Analisi tecnica dello stato di fatto	Pag. 65
6.2.3. Progettazione	Pag. 69
6.2.4. Offerta economico finanziaria	Pag. 82
6.2.5. Analisi ambientale	Pag. 97
6.3. Progetto edificio 2 – società di trasporti e logistica	Pag. 99
6.3.1. Introduzione	Pag. 99
6.3.2. Analisi tecnica dello stato di fatto	Pag. 99
6.3.3. Progettazione	Pag. 104
6.3.4. Offerta economico finanziaria	Pag. 115
6.3.5. Analisi ambientale	Pag. 129
7. CANTIERE E COLLAUDO	Pag. 131
8. CONCLUSIONI	Pag. 132
9. LEGISLAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	Pag. 139
10. BIBLIOGRAFIA	Pag. 141
11. SITOGRAFIA	Pag. 142
12. RINGRAZIAMENTI	Pag. 144
13. ALLEGATI	Pag. 146
Tavola 1 – Stralcio planimetrico edificio 1	Pag. 149
Tavola 2 – Stralcio del rilievo edificio 1	Pag. 150
Tavola 3 – Risultati illuminotecnici edificio 1	Pag. 151
Tavola 4 – Stralcio planimetrico edificio 2	Pag. 152
Tavola 5 – Stralcio del rilievo edificio 2	Pag. 153
Tavola 6 – Risultati illuminotecnici edificio 2	Pag. 154
WLED POLAR 1 mod. RR 4000K CRI>80	Pag. 155
WLED POLAR 2 mod. RR 4000K CRI>80	Pag. 158
WLED POLAR 3 mod. RR 4000K CRI>80	Pag. 161
WLED STILO mod. AM 4000K CRI>80	Pag. 164
WLED MIR mod. S5 4000K CRI>80 UGR<25	Pag. 167
WLED EVA HP mod. LD 4000K CRI>80	Pag. 170
WLED QUADRA HP mod. QP 4000K CRI>80 UGR<19	Pag. 173
WLED STELLA mod. 24 4000K CRI>80 UGR<19	Pag. 176

WLED ZOE mod. B3 4000K CRI>80	Pag. 179
WLED ZOE M 4000K CRI>80	Pag. 182
WLED NUVOLA 4000K	Pag. 183
D- SENSOR - MB	Pag. 186
Z- GWETH v1	Pag. 189
ZQxSERVER v3.0	Pag. 191
ZQ- TOUCH – 10PDVX	Pag. 193
Verbale di collaudo edificio 1	Pag. 196
Verbale di collaudo edificio 2	Pag. 223

1 INTRODUZIONE

1.1 Motivazioni personali e interesse professionale verso il progetto

L'argomento della tesi può non sembrare in linea con il percorso di studi svolto; tuttavia, lavorando ormai da più di tre anni presso la società Würth Italia, ho deciso di redigere una tesi aziendale incentrata sul settore LED.

Tale scelta è legata al fatto che, oltre ad aver intrapreso un percorso di crescita all'interno della società stessa, i valori del gruppo rispecchiano ciò in cui credo:

- **Curiosità:** osare per esplorare nuove strade con coraggio, senza perdere di vista le priorità. La curiosità è il motore dell'innovazione e dell'apprendimento continuo. Significa avere il coraggio di uscire dalla propria zona di comfort per esplorare nuove idee, approcci e prospettive. Tuttavia, essere curiosi non implica dispersione: è fondamentale mantenere il focus sugli obiettivi principali, integrando le nuove scoperte in modo strategico e coerente.
- **Responsabilità:** prendere decisioni con consapevolezza, anche in contesti di incertezza. Essere responsabili significa assumersi l'onere delle proprie scelte, valutando con attenzione le conseguenze a breve e lungo termine. In un mondo complesso e in continua evoluzione, la responsabilità richiede anche la capacità di agire con integrità e trasparenza, pur in assenza di certezze assolute. È una qualità chiave per la leadership e la fiducia reciproca.
- **Apertura mentale:** mettere in discussione lo status quo e guidare il cambiamento con determinazione. L'apertura mentale è la disponibilità ad accogliere idee diverse, a rivedere le proprie convinzioni e a considerare nuove soluzioni. Non si tratta solo di tolleranza, ma di una vera e propria spinta al miglioramento. Chi possiede questa qualità è in grado di anticipare i cambiamenti, adattarsi rapidamente e ispirare gli altri a fare lo stesso. Tale aspetto è fondamentale quando si lavora in team poiché confrontandosi in modo costruttivo con i propri colleghi è possibile trovare soluzioni più efficaci a eventuali criticità e rivedere il metodo di lavoro per renderlo più fluido e fruibile.

- **Proattività:** abbracciare il successo con entusiasmo e trasformare idee in azioni concrete. Essere proattivi significa non aspettare che le opportunità si presentino, ma crearle. È la capacità di anticipare i bisogni, proporre soluzioni e agire con determinazione. La proattività è ciò che trasforma una buona intuizione in un risultato tangibile, alimentando il progresso personale e collettivo.
- **Miglioramento personale:** accogliere e sfruttare il feedback per una crescita costante. Il miglioramento personale nasce dalla volontà di mettersi in discussione e di apprendere dai propri errori. Il feedback, se accolto con umiltà e spirito costruttivo, diventa uno strumento prezioso per evolvere. Crescere significa anche saper riconoscere i propri limiti e lavorare ogni giorno per superarli.
- **Networking:** costruire e valorizzare relazioni per generare opportunità e valore condiviso. Il networking non è solo una questione di contatti, ma di connessioni autentiche. Significa investire nel dialogo, nella collaborazione e nella fiducia reciproca. Una rete solida e ben curata può aprire porte inaspettate, favorire lo scambio di competenze e creare sinergie che arricchiscono tutti i soggetti coinvolti.

Al giorno d'oggi è sempre più difficile trovare un luogo di lavoro che ci permetta di esprimere noi stessi e le nostre qualità e, in questo, sono riconoscente a Würth.

La tesi è incentrata sul tema del relamping mediante tecnologia LED.

Il settore LED, come detto, è un campo non prettamente in linea con il mio percorso di studi, avendo frequentato un solo corso (durante la Laurea Triennale), tenutosi dal professor Vincenzo Corrado, in cui veniva trattato l'illuminamento ambientale; tuttavia, è attinente al campo ingegneristico, come l'attività da me svolta all'interno di Würth Italia.

L'argomento all'epoca mi aveva già interessato e, quando si è presentata l'occasione di poter ricoprire un ruolo tecnico e non puramente commerciale in tale settore, ho accettato con gioia. Essendo io molto interessata alle tematiche green, quando ho constatato che l'azienda per la quale lavoravo da un anno, era attenta alle stesse tematiche, ho deciso di intraprendere una nuova avventura cambiando mansione.

Ad aprile 2023, sono quindi entrata a far parte della business unit LED. Ad oggi, in qualità di project manager, mi occupo dell'analisi dei consumi e delle esigenze della committenza, della progettazione, del coordinamento del cantiere durante la fase installativa e della verifica e collaudo a fine cantiere. Mi interfaccio quindi non solo con il cliente, ma anche con i fornitori di prodotti e servizi installativi, oltre che con gli studi esterni di progettazione.

Il lavoro che svolgo come project manager del team Green Solution mi permette di apportare un contributo attivo al pianeta nel quale tutti noi viviamo e del quale dobbiamo prenderci cura per il nostro futuro e di quello delle generazioni che verranno.

1.2 Oggetto della tesi

La presente tesi si propone di condurre un'analisi tecnico-economica e ambientale di interventi di relamping realizzati presso due edifici industriali appartenenti a società clienti di Würth Italia, con l'obiettivo di valutare l'efficienza energetica, i benefici economici e le implicazioni ambientali di tali progetti.

*“La pratica senza la teoria è cieca, come cieca è la teoria senza la pratica.”*¹

Parlare solo dell'ambito LED e dei forti sviluppi che ci sono stati negli anni non sarebbe stato sufficiente. Alla teoria ho voluto unire la pratica portando due casi studio specifici (capitolo 6) da me seguiti, in cui viene presentata in generale l'offerta di relamping che Würth offre ai propri clienti per comprendere l'applicazione pratica delle soluzioni proposte in contesti reali (capitolo 3).

Secondo i dati ISTAT del 2011² in Italia sono presenti poco più 655 mila edifici e di complessi di edifici, come riportato nella seguente tabella:

Tabella 1: Aspetti illuminotecnici delle lampade in funzione della loro tipologia

Fonte: Dati ISTAT

Stato d'uso: utilizzato Tipo d'uso	Numero di edifici in Italia (valori assoluti)	Numero di complessi di edifici in Italia (valori assoluti)
Produttivo	287.039	15.332
Commerciale	246.082	6.342
Direzionale/terziario	60.462	1.709
Turistico/ricettivo	61.426	3.098

Non esiste un dato ufficiale e aggiornato che indichi quante aziende in Italia abbiano eseguito interventi di relamping LED, ma diverse fonti confermano che il numero è in costante crescita, soprattutto grazie a:

¹ Cit. Protagora

² Sito: [Edifici](#)

- Incentivi statali come i Certificati Bianchi (TEE) ³;
- Soluzioni finanziarie a costo zero offerte da aziende come Würth Italia;
- Riduzione dei costi energetici e ROI rapido (spesso inferiore ai 3 anni).

Aziende come FM Installazioni, Innovatec, RiESCo, e Würth hanno realizzato centinaia di interventi in ambito industriale, commerciale e pubblico.

Secondo gli ultimi dati disponibili, il settore dell'illuminazione LED ha registrato una crescita: il fatturato del 2022 era pari a 2,6 miliardi di euro (+4% rispetto al 2021 e +23,8% rispetto al 2020) ⁴, segno di una forte espansione.

Dal 2013 ad oggi, Würth ha eseguito svariati progetti “chiavi in mano” per grandi imprese o di sola fornitura di corpi illuminanti LED a piccole e medie imprese, consentendo alle società di ammodernare completamente il proprio impianto illuminante, riducendo i consumi di oltre 360 milioni di kilowattora e, conseguentemente, l'importo della bolletta elettrica. Il passaggio alla tecnologia LED ha permesso di risparmiare oltre 155 mila tonnellate di emissioni di anidride carbonica perché i LED (diodi a emissione luminosa) non bruciando combustibili; quindi, non producono anidride carbonica durante il funzionamento, hanno emissioni di CO₂ nulle.

Utilizzando lampade LED e considerando un consumo annuo di riferimento, si ha una riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera ogni anno di:

- 200 kg rispetto alle lampade fluorescenti;
- 400 kg rispetto alle lampade alogene;

³ Il meccanismo dei Certificati Bianchi, entrato in vigore nel 2005, è il principale strumento di promozione dell'efficienza energetica in Italia. I Certificati Bianchi sono titoli negoziabili che certificano il conseguimento di risparmi negli usi finali di energia attraverso interventi e progetti di incremento dell'efficienza energetica. Un certificato equivale al risparmio di una Tonnellata Equivalente di Petrolio (TEP). Il GSE ha messo online una banca dati dei progetti approvati per i Certificati Bianchi, suddivisi per tipologia di intervento, tra cui rientra anche l'illuminazione. Tuttavia, non è disponibile pubblicamente un dato aggregato che indichi quanti certificati bianchi siano stati rilasciati dal 2005 esclusivamente per interventi di illuminazione. Il GSE ha pubblicato i dati aggiornati sui Certificati Bianchi (TEE), ma non ha fornito una suddivisione specifica per la sola illuminazione.

⁴ Fonte: [Il settore dell'illuminazione in Italia: dati e statistiche | ICRIBIS](#)

- 800 kg rispetto alle lampade a incandescenza.

Questi valori si basano su un consumo annuo ipotetico di 1000 kWh per i LED, e un fattore di emissione medio di 0,4 kg CO₂ per kWh ⁵.

L'obiettivo da perseguire è l'efficientamento energetico che consiste nell'ottimizzazione dell'uso dell'energia, riducendo gli sprechi e migliorando le performance degli impianti e delle strutture. Per aziende e professionisti, questo si traduce in:

- riduzione dei costi operativi grazie a un minore consumo di energia;
- minore impatto ambientale con la riduzione delle emissioni di anidride carbonica;
- miglioramento della competitività sul mercato, grazie a un'immagine aziendale più green.

⁵ Dati da fonte ISPRA [Le emissioni di CO2 nel settore elettrico nazionale e regionale — Italiano](#)

2 IL GRUPPO WÜRTH E WÜRTH ITALIA

2.1 Gruppo Würth

La Adolf Würth GmbH & Co. KG, casa madre del gruppo, con sede a Künzelsau, nacque nel 1945 nel Baden Württemberg. Adolf Würth, intraprese e sviluppò il concetto di vendita diretta. Dal 1954, dopo la sua prematura scomparsa, fu il figlio diciottenne Reinhold Würth a prendere in mano il negozio di ferramenta del padre, dove era entrato a lavorare sin dall'età di 14 anni. Egli diede corpo ad una filosofia imprenditoriale che, ben presto, consentì al Gruppo Würth di divenire leader nella distribuzione diretta di articoli professionali per il fissaggio ed il montaggio, e trasformò la “Ferramenta Adolf Würth” nel “Marchio Würth”.

Nel 1962 fu fondata la prima consociata estera in Olanda e un anno più tardi in Italia, dando così il via al processo di internazionalizzazione del Gruppo, rendendolo leader mondiale nella distribuzione di prodotti e sistemi per il fissaggio ed il montaggio con oltre 130.000 prodotti in gamma.



Figura 1: Logo Würth

Fonte: Gruppo Würth - Würth srl (wuerth.it)

Al vertice del Gruppo Würth è rimasta la Adolf GmbH & Co. KG e oggi, grazie all'espansione internazionale, è presente in oltre 80 paesi del mondo con oltre 400 società; disponendo di una rete di vendita con più di 87 mila collaboratori, per soddisfare le richieste di 4 milioni di clienti. Nel 2024 il fatturato è stato pari a 20,2 miliardi di euro ⁶.

⁶ Fonte: Relazione di bilancio anno 2024

2.2 Würth Italia

Nel panorama delle consociate del Gruppo Würth Internazionale, Würth Srl in Italia è la società estera dalle dimensioni più grandi.

Il 26 febbraio del 1963 Reinhold Würth (primo amministratore delegato) e Onorino Soccol fondano la Würth Italia con sede legale e operativa a Terzano (BZ), che nel 2002 si trasferirà a Egna, essendo già presente dal 1977 un Centro Logistico ed Amministrativo.

Nel 1984 viene aperta la prima filiale di Würth Italia a Monterotondo (RM), alla quale seguirà l'inaugurazione nel 2006 della sede di Capena (RM), che ospita, non solo il secondo centro logistico, ma anche uffici e l'Art Forum. Ad oggi i centri logistici sono tre, grazie all'inaugurazione del terzo polo logistico a Crespellano (BO).

Al fine di migliorare il servizio per il cliente e creare una rete capillare, Würth Italia, così come le altre società del gruppo, ha inaugurato l'apertura di numerosi store e superstore su tutto il territorio. Lo sviluppo è iniziato nel 1989 con il primo store a Cormano (MI) e ad oggi ce ne sono più di 200. L'obiettivo è di essere presenti con oltre 240 negozi entro il 2027. Grazie allo sviluppo tecnologico e informatico, nel 1996 nasce il primo e-shop e il portale WOS (Würth Online Service) per i servizi online volti alla clientela, che nel 2015 evolverà con la creazione dell'app e la fornitura di altri servizi.

Würth Italia negli anni si è distinta non solo per la crescita di fatturato, ma anche per l'innovazione tecnologica, come testimoniano i riconoscimenti del Premio Innovazione Samu conseguiti nel 2018, 2019 e 2021.

Grazie alla partnership con Microsoft e alla collaborazione con Hevolus, si è sviluppato il progetto Würth Phygital Hub, un luogo dove il cliente può trovare le più innovative soluzioni che uniscono il mondo virtuale a quello reale. Sono stati sviluppati vari progetti, tra i quali, Holo Project e Holo Maintenance i quali, grazie ad un visore di realtà aumentata HoloLens 2, permettono alle aziende rispettivamente di sviluppare prodotti in 3D, visualizzandoli in spazi sia reali che virtuali e, di fornire assistenza per la manutenzione degli impianti e dei cantieri a distanza.

Infine, a inizio 2025 è stato inaugurato il Market Place e, nello stesso anno, Würth Italia ha ottenuto, per il terzo anno consecutivo, la certificazione Top Employers Italia, rilasciata dal Top Employers Institute, alle aziende che si distinguono per l'eccellenza nelle politiche e pratiche HR.

Al 31 dicembre 2023, il numero di collaboratori e collaboratrici dipendenti era complessivamente pari a 3.416 ⁷ (2.593 uomini e 823 donne), in aumento di quasi il 5% rispetto al 2022 e di circa il 13% rispetto al 2021. In Würth Italia ci si avvale inoltre di lavoratori non dipendenti, che nel 2023 sono stati pari a circa 67 mila, di cui l'85% rappresentato da lavoratori autonomi attivi nel settore vendite. Nei vari reparti aziendali sono inoltre presenti lavoratori interinali (pari al 12% del totale dei lavoratori non dipendenti) e stagisti curriculari ed extra curriculari coinvolti in attività formative (pari a circa il 3%). Dal 2021 al 2023 si è registrata una diminuzione del 17% del numero di lavoratori autonomi, conseguente alla strategia aziendale che richiede una presenza più diretta dell'azienda presso la clientela.

Con oltre 310.000 clienti nel 2023, Würth Italia ha generato un valore economico pari a quasi 903 milioni di euro, in aumento di oltre l'8% rispetto al 2022 e di quasi il 29% rispetto al 2021. Nel 2023 il 90% del valore economico generato da Würth Italia è stato distribuito agli stakeholder, sia interni che esterni ⁸.

⁷ Dati riferiti ai lavoratori dipendenti sono da intendersi come numero di persone alla fine del periodo di riferimento.

⁸ Dati riportati nel Bilancio di Sostenibilità 2023 di Würth Italia

2.3 Sviluppo sostenibile

Ciò che accumuna tutte le aziende del Gruppo Würth è da sempre l'impegno ambientale, sociale ed economico.

Nel 1987, il prof. Reinhold Würth insieme a sua moglie Carmen Würth, fonda la Fondazione Würth senza scopo di lucro. La fondazione promuove numerosi progetti nei settori dell'arte e della cultura, della ricerca e della scienza, dell'istruzione e della formazione, nonché progetti per l'integrazione di migranti e rifugiati.

Oltre alla sua attività imprenditoriale, il prof. Reinhold Würth si è affermato come promotore dell'arte e della cultura. Nel 1991 ha fondato la prima combinazione al mondo di un edificio amministrativo con una galleria d'arte a Künzelsau perché il prof. Würth è convinto della motivazione dei suoi dipendenti attraverso l'arte. Entro il 2021 aveva fondato e mantenuto quindici musei.

La Collezione Würth, che viene esposta nei musei a rotazione, è una delle più importanti collezioni private d'Europa. Nel 2021 ha incluso oltre 18.000 dipinti, disegni e sculture di artisti rinomati dal XV secolo ai giorni nostri.

Lo spirito di squadra, la volontà di dare il massimo sono valori che definiscono la cultura aziendale del Gruppo Würth e sono anche caratteristiche essenziali dello sport. Per questo motivo il Gruppo si impegna nel mondo dello sport come sponsor in un'ampia varietà di settori.

Su iniziativa di Carmen Würth, Würth sostiene Special Olympics Germany, l'organizzazione tedesca del più grande evento sportivo al mondo per persone con disabilità mentali e multiple, dal 2008. Da allora più di 800 dipendenti hanno sostenuto l'evento come volontari.

Infine, ciò che meglio rappresenta ad oggi il connubio tra innovazione, crescita e sostenibilità ambientale, è il nuovo Centro Logistico di Egna di Würth Italia, inaugurato nel 2024, Denominato "Zero Impact". L'edificio è completamente a impatto zero sull'ambiente per quanto riguarda il riscaldamento e la climatizzazione degli ambienti. La costruzione sfrutta l'energia fotovoltaica grazie a un impianto installato sul tetto e l'energia geotermica mediante sonde inserite nelle fondamenta, per soddisfare il

fabbisogno termico e di climatizzazione estiva tramite una pompa di calore aria-acqua. Beneficia, inoltre, di sistemi di illuminazione a LED ad alta efficienza. Il Centro Logistico è dotato dei più moderni sistemi logistici come lo Shuttle (OSR Shuttle Evo) che consente lo stoccaggio e il prelievo automatico della merce.

Nel 2015, l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha adottato l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, corredata da 17 Obiettivi (SDGs) che dovranno essere raggiunti entro il 2030. L'Agenda consiste in un piano d'azione a garanzia di un presente e di un futuro migliore per noi e per il nostro Pianeta.

Nel corso degli anni, il concetto di sviluppo sostenibile si è evoluto, superando l'idea che la sostenibilità sia una questione unicamente ambientale. Si è passati ad una visione olistica che integra ambiente, società ed economia.

Würth Italia ha individuato gli SDGs a cui intende maggiormente contribuire attraverso le azioni riportare in figura.



Figura 2: Obiettivi per lo sviluppo sostenibile condivisi da Würth

Fonte: Bilancio di Sostenibilità 2022 di Würth Italia

Nello specifico, svolgendo il gruppo attività di business, genera inevitabilmente un impatto sull'ambiente attraverso il rilascio di emissioni di gas effetto serra in atmosfera, principalmente per effetto delle attività (parco auto, centri logistici, uffici e negozi) e dei flussi logistici in entrata e in uscita. Würth è fortemente impegnata per ridurre tale impatto; infatti, si è posta lo sfidante obiettivo di raggiungere la carbon neutrality entro il

2030, attraverso la messa in atto di iniziative volte, da un lato, a ridurre l'impronta carbonica e, dall'altro, a compensare le emissioni non evitabili. Si riportano alcuni esempi tra gli obiettivi che Würth si è posta per la tutela dell'ambiente e per limitare il proprio impatto ambientale:

- promuovere la lotta al cambiamento climatico e lo sviluppo di strategie circolari per la tutela dell'ambiente;
- promuovere una gestione responsabile della catena di fornitura al fine di garantire la sostenibilità dei prodotti e delle operazioni, confidando nel supporto del Gruppo;
- ridurre gli impatti ambientali legati alla logistica dei prodotti e alla mobilità dei lavoratori (flotta composta esclusivamente da vetture a basse emissioni entro il 2026);
- sviluppare sedi e negozi a basso impatto ambientale e ridurre l'impatto degli spazi aziendali attuali;
- proteggere e sostenere gli ecosistemi locali attraverso il supporto a progetti di riforestazione e afforestazione.

3 RELAMPING WÜRTH

3.1 Business Unit LED

Grazie all'ampia gamma di articoli e alle elevate competenze dei propri collaboratori, Würth è in grado di garantire soluzioni adeguate a soddisfare le specifiche esigenze professionali dell'artigianato e dell'industria, non ultimo garantire soluzioni che consentano la transizione energetica essendo importante il tema della tutela dell'ambiente. Pertanto, nel 2013 viene creata la business unit LED, che nel 2025 cambia nome in Green Solution, il cui compito è quello di offrire una proposta volta al relamping di grandi e medie imprese operanti sul territorio italiano mediante un progetto “chiavi in mano” che include progettazione, installazione e collaudo degli impianti.

Würth si propone ai propri clienti come General Contractor ed unico interlocutore, seguendoli durante la commessa con il team specializzato, ad oggi composto da 7 persone. Come riportato precedentemente, ad aprile 2023, sono entrata a far parte del team e, da allora, in qualità di project manager e nel corso di due anni ho seguito, dalla progettazione al collaudo, diciassette progetti “chiavi in mano”.

Il gruppo di lavoro ed io non ci occupiamo soltanto di progetti EPC ⁹, ma eseguiamo anche la sola progettazione e fornitura, per svariati motivi:

- il costo installativo è superiore del costo merce;
- l'importo di fornitura è inferiore a circa diecimila euro - seguire un cantiere di dimensioni così ridotte risulterebbe poco conveniente sia dal punto di vista economico che in termini di tempo impiegato;
- il cliente chiede la sola fornitura e progettazione;
- i cantieri delle sedi e degli Store Würth vengono gestiti da colleghi di un'altra business unit o da studi esterni; quindi, il team LED segue solamente la progettazione e la spedizione merce.

In merito alla sola fornitura di corpi illuminanti, nel biennio 2023 - 2024 ho elaborato più di un centinaio di progetti, di questi poco meno del 40% non si sono concretizzati.

⁹ EPC acronimo di Engineering Procurement Construction

3.2 Presentazione generale dei progetti di relamping

Per garantire un risultato ottimale, Würth si pone come General Contractor fornendo il servizio di EPC ¹⁰, così facendo il cliente avrà un unico interlocutore. Il servizio di EPC si compone di varie parti:

- **Analisi e Progettazione:** si esegue un sopralluogo dettagliato presso la sede del cliente, rilevando le caratteristiche degli impianti illuminanti, in modo da raccogliere tutte le informazioni necessarie alla stesura del progetto preliminare. Il progetto verrà realizzato nel rispetto del quadro normativo vigente e a costo zero. Successivamente, all'accettazione della proposta preliminare, si procederà con la stesura del progetto esecutivo che darà il via all'esecuzione delle opere.
- **Installazione impianto:** sulla base del progetto esecutivo, si procederà all'esecuzione dei lavori per l'installazione degli impianti utilizzando le tecnologie proposte. La gestione della fase realizzativa sarà seguita da un project manager Würth, che si occuperà di coordinare tutte le fasi di installazione, cercando di minimizzare le eventuali criticità in funzione delle esigenze del sito oggetto dell'intervento.
- **Collaudo:** al termine dei lavori, si eseguirà la verifica prestazionale degli impianti, al fine di garantirne il corretto funzionamento e il conseguente beneficio economico. Nel rispetto del quadro normativo, sarà rilasciata tutta la documentazione as-built e le dichiarazioni di conformità specifiche di ogni tecnologia installata nel rispetto della normativa vigente.

Ai propri clienti Würth offre, inoltre, un servizio finanziario: l'intero intervento, se necessario, è finanziabile mediante noleggio o leasing, tarato per avere una rata che sia coperta dal conseguimento dei risparmi ottenuti.

¹⁰ EPC acronimo di Engineering Procurement Construction

L'importo della rata ed il costo energia sono inferiori all'importo sostenuto in bolletta dal cliente. La durata del contratto noleggio/leasing è normalmente di tre anni, alla scadenza del quale il committente diventa il proprietario dei corpi illuminanti installati.

La scelta tra utilizzare il noleggio o il leasing è facoltativa; in funzione alle specifiche necessità di bilancio, ogni cliente avrà modo di scegliere la tipologia di contratto più adeguata alle proprie necessità.

Tale proposta finanziaria ha permesso a molte aziende di poter eseguire l'intervento di relamping in anticipo, senza dover necessariamente prevedere la spesa a budget: poiché l'importo della rata ed il costo dell'energia sono inferiori all'importo sostenuto in bolletta, l'investimento è autofinanziante.

Obiettivo del team è quello di far conseguire al cliente un risparmio energetico in cui vi sia il corretto equilibrio tra costi e benefici, nel rispetto della normativa vigente.

Würth ponendosi come general contractor, redige un progetto preliminare e, a seguito dell'accettazione da parte del cliente dell'offerta redatta sulla base del progetto preliminare, sottoscrive un contratto con uno studio esterno di professionisti (in possesso dei requisiti di cui al D.M. 37/08 ¹¹) per la redazione del progetto esecutivo, le attività di direzione lavori e collaudo. Qualora fossero necessarie anche verifiche strutturali, vengono coinvolti studi di ingegneria che eseguono e certificano i calcoli strutturali richiesti. Nel caso in cui siano da realizzare torri faro di impianti sportivi, viene eseguito il collaudo statico della struttura. Infine, per l'esecuzione dei lavori, Würth sottoscrive un contratto di subappalto con ditte installatrici, accreditandole come fornitori Würth. Queste ditte vengono, in genere, scelte tramite confronto concorrenziale secondo criteri quali l'importo di mano d'opera, requisiti professionali della stessa (D.M.37/08), adempimenti di sicurezza (è richiesta la predisposizione del POS ¹² secondo il D.lgs. 81/08), disponibilità al trasferimento, ecc.

¹¹ D.M. 37/08 Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici. Tale decreto ministeriale regola la progettazione, l'installazione, la manutenzione e la gestione degli impianti negli edifici, con l'obiettivo di garantire la sicurezza degli utenti e delle strutture. Fonte: [Bosetti & Gatti - d.m. n. 37/2008 \(impianti\)](#)

¹² POS Piano Operativo di Sicurezza è il documento che un datore di lavoro deve redigere prima di iniziare le attività operative in un cantiere esterno. Il POS rappresenta il dettaglio della valutazione dei rischi secondo il Testo unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro emanato con

Negli anni sono stati accreditati vari fornitori di materiali e di servizi installativi. Poiché il servizio offerto da Würth è a livello nazionale, le ditte installatrici accreditate sono operanti sull'intero suolo italiano e come stabilito dall'accordo compliance rispettano determinati criteri stringenti. Questo permette a Würth di offrire un servizio impeccabile ai propri clienti, garantendo affidabilità prestazionale. Oltre alla presa visione e accettazione del Supplier Code of Conduct, che rappresenta una condizione necessaria per l'instaurazione di un rapporto di fornitura, a tutti i nuovi fornitori è richiesto di compilare un questionario per la raccolta di informazioni qualitative e quantitative, alcune delle quali vincolati per la determinazione dell'accordo commerciale, come la presenza di assicurazioni, e alcune non vincolanti che consentono la valutazione degli stessi anche secondo alcuni criteri di responsabilità ESG ^{13 14}.

Ad oggi i principali fornitori di materiali di Würth Green Solution sono tre; tutte aziende italiane operanti nel settore da diversi anni che garantiscono prodotti di qualità, consentendo a Würth di poter offrire prodotti Made in Italy con garanzia fino a sette anni. La prima società fornisce corpi illuminanti per l'illuminazione ordinaria (interna ed esterna agli edifici), la seconda per l'illuminazione di emergenza, mentre la terza fornisce i sistemi di gestione e controllo intelligente con i relativi sistemi hardware e software di cui sono proprietari. La mission di quest'ultima azienda è sviluppare sistemi di gestione e controllo dell'illuminazione con prodotti interconnessi tra loro, da poter utilizzare sia in modalità indipendente (stand-alone) che aggregata. Questa azienda è esperta nel controllo dell'illuminazione e nella gestione wireless, grazie alla conoscenza delle tecnologie cablate, in particolare il protocollo DALI (Digital Addressable Lighting Interface) in cui è specializzata. Inoltre, la loro tecnologia radio è resistente alle interferenze e adatta a coprire distanze elevate in ambienti "rumorosi" come quelli industriali. Le soluzioni di gestione software permettono l'integrazione di sistemi con BMS, SCADA e Cloud, grazie a protocolli aperti e standard di mercato. L'architettura prevede la possibilità di scegliere

D. Lgs. 81/08 agli articoli 17 e 28, per le attività che si prevede di eseguire in un cantiere edile. Lo stesso deve essere sviluppato secondo i contenuti previsti nel Titolo IV - allegato XV.

¹³ I contributi agli obiettivi ESG (Environmental, Social, Governance) rappresentano le azioni concrete che un'organizzazione intraprende per migliorare il proprio impatto ambientale, sociale e di governance. Molti contributi ESG sono allineati con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 dell'ONU

¹⁴ Fonte: Bilancio di Sostenibilità 2023 di Würth Italia

se installare il software all'interno della rete IT del cliente (on premises) oppure se gestirlo da remoto con applicativi in cloud. In questo modo è garantita sempre la flessibilità e il massimo livello di sicurezza informatica richiesto.

Gli articoli proposti sono dedicati a contesti professionali come industrie, logistiche, aree commerciali, uffici e ospedali.

Grazie alla partnership con tali aziende, Würth Italia ha potuto soddisfare le esigenze di grandi aziende come Toyota, Volkswagen, Bartolini trasporti, Fercam, Iveco, Thun, Grana Padano, Armani, e molte altre.

4 ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

4.1 Storia dell'illuminazione artificiale

L'illuminazione può essere naturale o artificiale e interessare sia l'ambito pubblico che quello privato. L'umanità ha avvertito sin dalla preistoria l'esigenza dell'illuminazione artificiale, ossia avere sorgenti di luce che consentissero di svolgere attività nelle ore notturne e nei luoghi chiusi dai cui filtrava poca luce naturale. L'illuminazione artificiale fu resa possibile dal controllo del fuoco, grazie al quale l'uomo preistorico imparò a "produrre" luce e calore. Con il passare dei secoli, la tecnologia progredì e furono inventati vari utensili per l'illuminazione, come le lanterne alimentate con olio d'oliva, attestate sin dall'antichità e le candele di grasso animale, introdotte circa cinquecento anni prima di Cristo. I sistemi scoperti nel mondo antico rimasero in uso fino al XVIII secolo; nel corso dei secoli furono sperimentati altri combustibili, tra i quali vari tipi di olio, e create lampade più efficienti, ma il meccanismo basilare restava quello in uso sin dalla preistoria: si bruciava un combustibile e si ricavava luce da una fiamma viva. Solo nell'800, grazie ai progressi della scienza e della tecnica, i sistemi di illuminazione cambiarono: nel primo decennio del secolo furono inventate lampade alimentate a gas, che si diffusero sia per l'illuminazione privata, sia per quella pubblica.

In ambito pubblico, almeno in alcune città, la luce artificiale era usata già nel mondo antico. Per esempio, l'illuminazione con lanterne a olio è attestata in varie città romane nei primi secoli dopo Cristo. La prassi fu però abbandonata nel Medioevo e riscoperta solo molti secoli dopo: la prima città a disporre l'illuminazione delle strade fu Londra, dove nel 1417 il sindaco ordinò agli abitanti di tenere esposta una lanterna di notte nei mesi invernali. Si ha testimonianza che simili ordinanze furono emanate anche nei secoli successivi in numerose città europee. Tra la fine del Seicento e il Settecento, invece le autorità iniziarono a installare direttamente delle lampade, senza più delegare l'illuminazione ai cittadini (pioniera fu la città di Parigi nel 1667).

Con l'avvento della rivoluzione industriale, inoltre, divennero più economiche ed efficienti le candele, grazie all'introduzione di macchine per velocizzare la produzione e l'uso di materiali chimici al posto del grasso animale e della cera d'api. Infine, nella seconda metà dell'Ottocento, fece la sua comparsa la lampada alimentata a cherosene che si diffuse rapidamente.

Come è ben noto però, la vera rivoluzione dell'illuminazione, avvenne con l'energia elettrica, che portò all'invenzione della lampadina, che nell'immaginario collettivo è attribuita a Thomas Edison. Sebbene Edison abbia effettivamente avuto un ruolo importante nell'invenzione, per produrre le lampadine moderne sono stati necessari molti tentativi da parte di altri inventori prima di lui; infatti, nel primo decennio dell'800 Humphry Davy (chimico britannico), costruì la prima lampadina alimentata dall'elettricità, la lampada ad arco voltaico, costituita da un tubicino di vetro al cui interno sono presenti un gas e due elettrodi, che "rendono luminoso" il gas.

A Joseph W. Swan nel 1878 si deve l'invenzione della lampadina intesa in senso moderno: la lampadina ad incandescenza, il cui funzionamento si basa sull'inserimento di un filamento di cotone carbonizzato in un bulbo di vetro sottovuoto e tramite l'energia elettrica lo si porta a una temperatura molto alta, in modo che diventi incandescente e sprigioni luce. Un anno dopo, nel 1879, anche Thomas Edison brevettò la stessa lampadina, la quale aveva una discreta durata (14 ore) e un costo abbastanza contenuto, permettendone una rapida diffusione: le lampadine, iniziarono ad essere applicate in vari settori, come quello dei trasporti, permettendo la circolazione nelle ore notturne, e cominciarono a essere utilizzate anche per fini decorativi.

Le lampadine furono perfezionate nel corso del Novecento, grazie all'uso del filamento di tungsteno, introdotto sin dai primi anni del secolo, e all'immissione nel bulbo di vetro di un gas inerte. Le lampadine al tungsteno sono state usate su larghissima scala per tutto il '900. Esse, però, presentavano un problema: solo una piccola percentuale (circa il 5%) dell'energia utilizzata si trasformava in luce, mentre il resto rimaneva calore. Per tale ragione, la ricerca di sistemi alternativi per l'illuminazione non si è mai interrotta, infatti, nel corso del secolo scorso sono state prodotte nuove tipologie di lampadine.

A partire dagli anni '50 iniziarono ad essere commercializzate le lampade alogene, le quali funzionano con il principio dell'incandescenza, ma all'interno del bulbo contengono una piccola quantità di un gas alogeno e producono più luce a parità di energia. Le lampade alogene e a scarica hanno convissuto per decenni con le lampadine a incandescenza "classiche".

Oltre alle lampade a incandescenza nacquero anche le lampade a scarica elettrica, evoluzione della lampada ad arco, che sono composte da tubi riempiti di un gas, chiamate in genere "luci al neon", sebbene il neon sia un gas utilizzato raramente. Le lampade a scarica di gas possono essere a bassa o alta pressione: della prima tipologia sono ben note le lampade fluorescenti compatte (CFL), la cui ascesa arriva negli anni '80, mentre del secondo tipo si ricordano le lampade agli ioduri metallici (evoluzione della lampada ai vapori di mercurio), immesse sul mercato attorno agli anni '90.

Negli ultimi decenni l'illuminazione è cambiata grazie al LED, acronimo di Light-Emitting Diode ¹⁵. Nel 1962 negli USA Nick Holonyak jr., consulente dell'azienda General Electric, costruì il primo prototipo funzionante del diodo luminoso. Nel 1971 per merito di Jacques Pankove fu costruito il primo esemplare di luce blu, ma il flusso luminoso non era sufficientemente potente da poter essere utilizzato per scopi illuminotecnici. La svolta avvenne solo nel 1993, grazie alla scoperta di un trattamento del semiconduttore che permette di generare luce blu e verde ad alto flusso. Grazie a tale scoperta, Shuji Nakamura può essere considerato il primo ricercatore che, riuscendo a potenziare il flusso del LED blu, ha aperto nuovi orizzonti applicativi alle tecnologie optoelettroniche.

Il LED è il risultato tecnico delle conquiste scientifiche maturate nei primi decenni del XX secolo (soprattutto in ambito della fisica quantistica) che hanno rivoluzionato i fondamenti teorici della fisica classica. Il prodotto lampada a basso consumo e lunga durata nacque con le prime indagini sperimentali sulla struttura dell'atomo e l'elettronica è l'ambito tecnologico che ha permesso il legame del pensiero scientifico alla produzione industriale su larga scala. Con i LED, per generare luce ad alta efficienza non si riscaldano più filamenti metallici, né si provocano mini-folgorazioni in tubi riempiti di gas o vapori,

¹⁵ diodo a emissione di luce

ma si lavora sulla materia per concepire strutture atomiche adatte a depotenziare elettroni, imbrigliandoli in lacune e liberando energia sottoforma di radiazioni o fotoni.

I primi LED erano a bassa intensità di luce rossa, ma le versioni moderne sono disponibili in tutta la lunghezza d'onda visibile, ultravioletti e infrarossi, con una luminosità molto elevata.

Grazie alla transizione energetica, iniziata nel 2009, volta ad una riqualificazione energetica dell'offerta di sorgenti luminose e dei numerosi vantaggi offerti dai LED, questi hanno trovato largo consenso tra i consumatori. Si ricorda che nel 2012 l'Unione Europea ha vietato la produzione e l'importazione di lampadine a incandescenza e nel 2018 anche di quelle alogene (tranne quelle per alcuni usi specifici). Insieme ai LED, restano quindi sul mercato solamente le lampadine fluorescenti.



Figura 3: Da sinistra a destra lampada ad incandescenza, alogena, CFL, alogenuri metallici e LED

Fonte: a cura dell'autore

4.2 Parametri di valutazione delle prestazioni delle lampade

I parametri che caratterizzano le lampade sono suddivisibili sotto tre macro - aspetti: aspetti illuminotecnici, economici e funzionali.

4.2.1 Aspetti illuminotecnici

Gli aspetti illuminotecnici riguardano:

- *Flusso luminoso Φ* : quantità di luce emessa dalla sorgente nell'unità di tempo. Tale parametro viene fornito dal produttore e il valore indicato si riferisce ad una sorgente luminosa nuova;
- *Indice di resa cromatica – Ra ¹⁶*: grado di fedeltà nella restituzione dei colori in rapporto ad una sorgente di riferimento di analoga temperatura di colore. L'indice di resa cromatica o Color Render Index - CRI misura quanto bene una sorgente luminosa riproduce i colori degli oggetti rispetto alla luce naturale. È un valore da 0 a 100:
 - $CRI \geq 90$: eccellente resa cromatica (es. studi fotografici, musei)
 - $CRI 80 - 89$: buona resa (uffici, abitazioni)
 - $CRI < 80$: resa cromatica scarsa (non adatta a spazi dove il colore è importante)
- *Temperatura di colore correlata - T_{cc}* : cromaticità della luce emessa da una sorgente. Si esprime attraverso la temperatura assoluta a cui occorre portare un corpo nero affinché emetta una radiazione di cromaticità uguale a quella emessa dalla sorgente in esame. Tanto maggiore è la temperatura di colore correlata e tanto più il colore è freddo.

La temperatura di colore, espressa in Kelvin, è una diretta conseguenza della radiazione cromatica che si riferisce allo spettro della luce emessa da una sorgente

¹⁶ L'indice di resa cromatica è indicato anche con l'acronimo CRI - Color Render Index o IRC - Indice di Resa del Colore

luminosa, ovvero quali lunghezze d'onda (colori) sono presenti nella luce. La relazione tra lunghezza d'onda e temperatura di colore correlata si basa su un modello semplificato della relazione tra lunghezza d'onda e temperatura di colore, ispirato a concetti fisici reali come la legge di spostamento di Wien, che stabilisce che la lunghezza d'onda alla quale un corpo nero emette la massima intensità è inversamente proporzionale alla sua temperatura assoluta. Questa relazione è alla base del concetto di temperatura di colore in illuminotecnica.

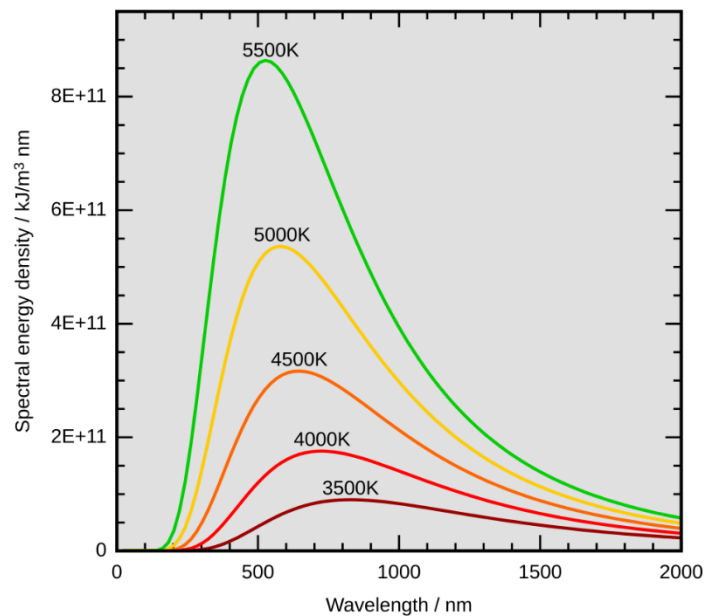


Figura 4: Intensità di emissione del corpo nero in funzione della lunghezza d'onda per varie temperature (assolute)

Fonte: Wikipedia

Questo riflette il fatto che una luce “fredda” (blu) ha una temperatura di colore più alta, mentre una luce “calda” (rossastra) ha una temperatura più bassa.

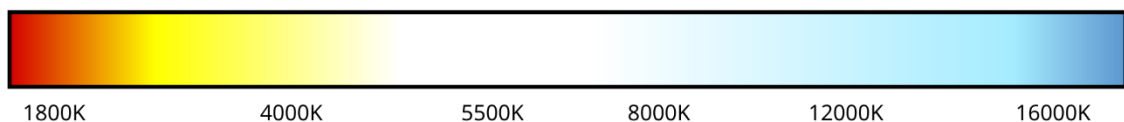


Figura 5: Lo spettro cromatico corrispondente alle varie temperature di colore

Fonte: Wikipedia

E' di uso comune discretizzare la temperatura di colore in funzione della lunghezza d'onda dello spettro elettromagnetico.

- 2700–3000 K → luce calda (giallo-arancio)
- 4000–4500 K → luce neutra (bianco)
- 5000–6500 K → luce fredda (bianco-azzurro)

Una temperatura intorno ai 2000 K corrisponde al colore arancione. A valori di temperatura inferiori corrispondono il rosso e, ancora più in basso, l'infrarosso, non più visibile. Le temperature fra 4000 K e 6000 K producono comunque delle tonalità di luce che vengono tutte percepite come assolutamente bianche dall'occhio umano, al netto dei riflessi leggermente caldi tipici dei 4000 K e di quelli leggermente freddi caratteristici dei 6000 K. A 5000 K corrisponde invece il bianco puro, e salendo ancora troviamo una luce azzurra, poi indaco, infine violetta e ultravioletta. Contro intuitivamente, quindi, la luce definita nell'uso comune come “calda” (ovvero con tonalità tendenti al giallo-arancio) ha in effetti una temperatura inferiore a quella definita “fredda” (tendente all'azzurro chiaro-bianco): questo è dovuto al fatto che le onde elettromagnetiche responsabili della trasmissione di calore, sono in realtà quelle con frequenza più bassa, da cui la comune associazione dell'idea di “caldo” a tonalità di colore prossime all'infrarosso e “freddo” a quelle invece tendenti all'ultravioletto.

Si riassumono nella seguente tabella gli aspetti illuminotecnici in funzione della tipologia di lampade.

Tabella 2: Aspetti illuminotecnici delle lampade in funzione della loro tipologia

Fonte: Appunti del corso di "Fisica Tecnica" del Politecnico di Torino a cura del prof. Corrado Vincenzo

Tipologia di lampada	Flusso luminoso [lm]	Indice di resa cromatica	Temperatura di colore [K]
Incandescenza	60 - 800	100	2000 - 3000
Alogene	60 - 48400	100	2700 - 3200
Fluorescenti lineari	750 - 6200	50 - 98	2700 - 6800
Fluorescenti compatte	250 - 9000	76 - 90	2700 - 6500
Ioduri metallici	2000 - 200000	60 - 95	2700 - 6700
Vapori di sodio SAP	7300 - 5700	20 - 80	2000 - 2500
LED	250 - 48400	60 - 98	2700 - 9000

4.2.2 Aspetti economici

Gli aspetti economici si basano invece sui seguenti parametri:

- *Efficienza luminosa η* : rapporto tra il flusso luminoso emesso e la potenza elettrica assorbita. E' indice del rendimento della sorgente.

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_{el}} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

Indicativamente una lampada ad incandescenza ha un'efficienza luminosa del 10% (emette 1000 lm ogni 100W assorbiti);

- *Fattore di mantenimento del flusso luminoso - LLM*: rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada in un dato istante della sua vita e il flusso luminoso iniziale (espresso in percentuale). Corrisponde alla vita media di una lampada, indica quindi come durante le ore di funzionamento questa riduce le sue prestazioni;

- *Fattore di sopravvivenza - LSF*: percentuale di lampade che dopo un determinato intervallo di tempo, in condizioni di riferimento (ambientali e di accensione / spegnimento), continuano a funzionare;
- *Durata media*: periodo di funzionamento dopo il quale, in un lotto di lampade in condizioni di prova, il 50% cessa di funzionare.

Si riassumono nella seguente tabella gli aspetti economici in funzione della tipologia di lampade.

Tabella 3: Aspetti economici delle lampade in funzione della loro tipologia

Fonte: Appunti del corso di "Fisica Tecnica" del Politecnico di Torino a cura del prof. Corrado Vincenzo

Tipologia di lampada	Efficienza luminosa [lm/W]	Fattore di mantenimento del flusso luminoso [%]	Vita media [ore]
Incandescenza	11 - 12	80%	1000
Alogene	18 - 28	80%	2000 - 5000
Fluorescenti lineari	40 - 120	90%	10000 - 24000
Fluorescenti compatte	70 - 90	75%	6000 - 15000
Ioduri metallici	40 - 100	80%	6000 - 20000
Vapori di sodio SAP	70 - 150	90%	12000 - 20000
LED	40 - 150	90%	30000 - 100000

4.2.3 Aspetti funzionali

Infine, gli aspetti funzionali sono descritti dai seguenti parametri di valutazione:

- *Tempo di accensione e riaccensione*: tempo che intercorre tra la chiusura del circuito elettrico e l'emissione del flusso luminoso all'80%. Tale parametro è tipico delle lampade a gas ed è espresso in secondi o in minuti;

- *Posizione di funzionamento:* per alcune lampade la posizione di funzionamento non è universale;
- *Regolabilità del flusso luminoso:* possibilità di alcuni dispositivi di regolare il flusso luminoso. I dimmer ¹⁷, permettono di cambiare il voltaggio e quindi regolare il flusso luminoso della sorgente emittente.

Si riassumono nella seguente tabella gli aspetti funzionali in funzione della tipologia di lampade.

Tabella 4: Aspetti funzionali delle lampade in funzione della loro tipologia

Fonte: Appunti del corso di "Fisica Tecnica" del Politecnico di Torino a cura del prof. Corrado Vincenzo

Tipologia di lampada	Tempo di accensione e riaccensione	Posizione di funzionamento	Regolabilità del flusso luminoso
Incandescenza	immediato	universale	sì, mediante dimmer
Alogene	immediato	universale	sì, mediante dimmer
Fluorescenti lineari	alcuni secondi	universale	a seconda dell'alimentazione
Fluorescenti compatte	alcuni secondi	universale	a seconda dell'alimentazione
Ioduri metallici	4 -10 minuti	limitata per alcune tipologie	limitata
Vapori di sodio SAP	1 - 5 minuti	universale	limitata
LED	immediato	universale	sì

Di seguito si analizzeranno brevemente il principio di funzionamento e le caratteristiche maggiormente rilevanti delle principali lampade, dalle lampade a incandescenza, ai LED.

¹⁷ I dimmer sono dispositivi elettronici consentono agli utenti di controllare il livello di luminosità di una sorgente luminosa, permettendo di creare diversi effetti di luce, di impostare l'atmosfera desiderata o risparmiare energia riducendo la quantità di luce emessa.

4.2.4 Tipologie di corpi illuminanti

Lampade a incandescenza

Le lampade a incandescenza sono costituite da un bulbo in vetro all'interno del quale vi è un gas inerte e un filamento di tungsteno. Il filamento metallico viene percorso dalla corrente elettrica e surriscaldandosi per effetto Joule emette radiazioni elettromagnetiche anche nello spettro del visibile. Il gas inerte invece, ritarda la sublimazione del tungsteno permettendo di portare il filamento ad una temperatura più elevata. Il vapore di tungsteno che si libera all'interno del bulbo condensa sulle pareti annerendole.

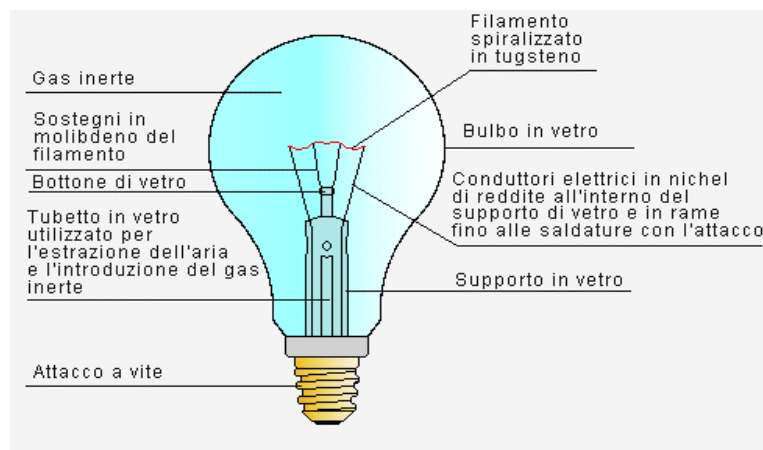


Figura 6: Lampada a incandescenza

Fonte: LUCE: principio di funzionamento di alcune lampadine (stec-172290.blogspot.com)

La durata delle lampade a incandescenza è legata al filamento del tungsteno, il quale a causa della sublimazione degli atomi man mano si assottiglia fino a rompersi.

Lampade alogene

Evoluzione delle lampade a incandescenza grazie alle ridotte dimensioni del bulbo in quarzo, al cui interno è presente un doppio filamento di tungsteno e il gas inerte risulta essere arricchito di sostanze alogene (iodio e bromo), da cui la tipologia di lampada prende il nome.

Anche in questo caso il filamento di tungsteno, portato a incandescenza, sublima. I vapori di tungsteno si muovono verso la parete interna del bulbo, la cui temperatura è di circa 700°C; qui, in prossimità della parete del bulbo, i vapori di tungsteno si combinano con gli alogeni formando alogenuri, i quali trasportati da moti convettivi interni si dirigono verso il filamento metallico dove si dissociano nuovamente in alogeni e tungsteno per via dell'elevata temperatura. Il tungsteno depositandosi sul filamento, lo rigenera parzialmente; ecco quindi che le lampade alogene hanno una vita media superiore a quelle a incandescenza. Infine, grazie agli alogeni, il bulbo non si annerisce, pertanto hanno anche una maggiore efficienza luminosa.

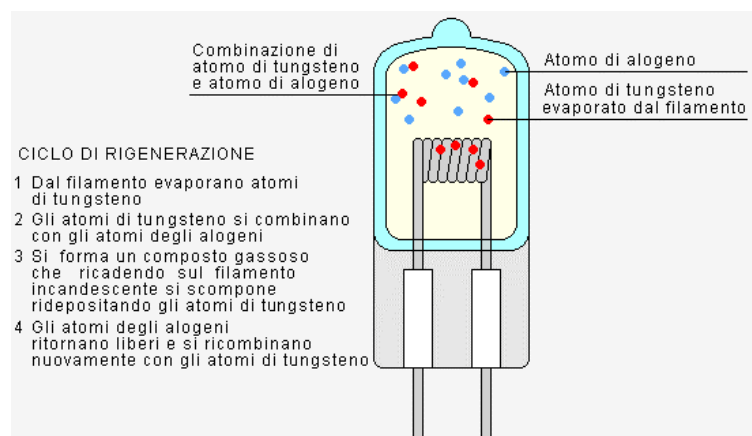


Figura 7: Lampada alogena

Fonte: LUCE: principio di funzionamento di alcune lampadine (stec-172290.blogspot.com)

Le lampade alogene a bassa tensione di rete ¹⁸ in commercio erano di differenti potenze (20W- 35 W- 50W), così come quelle a incandescenza, ma a differenza di esse, avevano due differenti attacchi (GU 5,3 e GU 4) ¹⁹, un fascio di apertura variabile (fascio stretto o largo) ed erano costituite da un riflettore dicroico o in alluminio. Scopo del riflettore è quello di riflettere la radiazione visibile emessa e trasmettere e assorbire nella zona retrostante della lampada (circa il 65% nel caso di riflettore dicroico e 100% per riflettore in alluminio) la radiazione infrarossa, riducendo il rischio di surriscaldamento frontale.

¹⁸ Per bassa tensione di rete si intende tensione pari a 12V-24 V. E' quindi necessario un trasformatore alla rete di alimentazione che permette di passare dai 230 V ai Volt desiderati.

¹⁹ L'attacco GU 5,3 misura 50 mm di diametro mentre l'attacco GU 4 misura 35 mm di diametro.

Nelle lampade alogene a tensione di rete ²⁰ invece, le potenze in gioco potevano essere superiori (dai 20W ai 100 W), anch'esse munite di due differenti attacchi (E14 o E27) ²¹, fascio di apertura variabile (fascio stretto o largo) e costituite da un riflettore PAR di forma parabolica. Qualora fossero munite invece di doppio involucro (uno esterno e uno interno) ²², potevano anche raggiungere potenze di 1500 W e possedere inoltre l'attacco R7s ²³.

Lampade a scarica nei gas

Il principio di funzionamento delle lampade a scarica si basa sulla teoria corpuscolare: si eccitano gli atomi gassosi in modo tale che avvenga al loro interno un salto di elettroni, a cui corrisponde una variazione di energia. Attorno al nucleo gravitano gli elettroni che percorrono orbite determinate e, a ogni orbita, corrisponde un livello energetico, il quale aumenta all'aumentare della distanza dal nucleo (gli elettroni maggiormente distanti dal nucleo posseggono maggiore energia). Quando l'elettrone viene accelerato salta da un'orbita a minor energia ad una a energia superiore emettendo radiazione luminosa perché l'energia viene liberata sotto forma di elettroni secondo la legge di Planck

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

dove il termine a primo membro indica la variazione di energia che c'è a seguito del salto orbitale.

Tra le lampade a scarica nei gas, di seguito saranno trattate le lampade fluorescenti, le lampade ad alogenuri metallici e le lampade al sodio.

²⁰ A tensione di rete, quindi a 230 V.

²¹ Entrambi gli attacchi hanno un giunto filettato, in cui varia il diametro e l'altezza a seconda del valore 14 o 27: l'attacco 27 ha un giunto filettato di altezza e diametro pari a 27mm, mentre l'attacco E14 presenta un diametro pari a 14mm e un'altezza pari a 26mm.

²² Il bulbo interno contiene il filamento e i gas è sempre in vetro di quarzo, mentre in alcuni modelli quello esterno è in vetro come nelle lampadine tradizionali quindi in tal caso può essere toccato con le dita.

²³ R7s indica un attacco lineare avente doppio terminale da 118 mm con alimentazione 230 V.

Lampade fluorescenti

Le lampade fluorescenti sono lampade a scarica a bassa pressione. Ai due estremi del tubo sono posti due elettrodi, si innesca la scarica tramite gas ausiliari (argon, cripton, xenon) e il vapore di mercurio contenuto all'interno del tubo eccitandosi emette radiazioni ultraviolette, le quali vengono trasformate in radiazione visibile dalle polveri fluorescenti che rivestono il tubo.

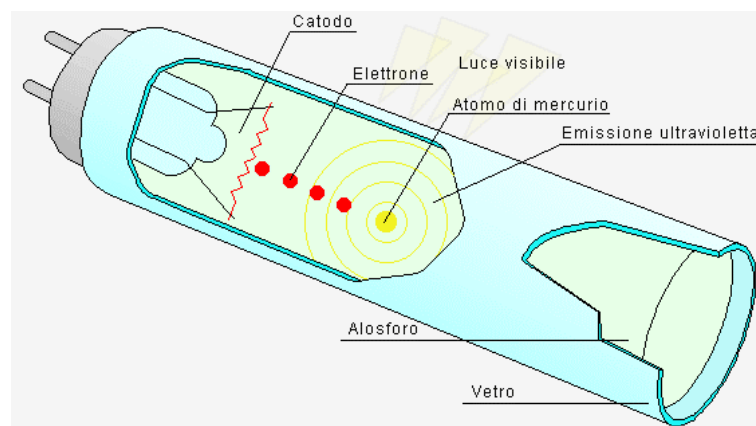


Figura 8: Lampada fluorescente

Fonte: LUCE: principio di funzionamento di alcune lampadine (stec-172290.blogspot.com)

Il fenomeno della fluorescenza persiste anche a lampada spenta e, come è intuibile, dal momento che viene generata radiazione ultravioletta, l'efficienza luminosa è maggiore, rispetto alle tipologie di lampade analizzate in precedenza. In tal caso però lo spettro elettromagnetico è maggiormente discontinuo, quindi la resa cromatica è minore.

Le lampade fluorescenti possono essere di varia forma:

- lampade fluorescenti compatte: concepite per concentrare la luminosità in un piccolo volume con lo scopo di ridurre l'ingombro, specialmente quando si vuole sostituire una lampada a incandescenza (per questo hanno attacco E14 e E27), contenuta in un piccolo alloggiamento, con una lampada a risparmio energetico;
- lampade fluorescenti circolari: hanno un tubo di forma circolare, per garantire un fascio di luce rotosimmetrico (uguale in tutte le direzioni);

- lampade fluorescenti lineari: hanno un tubo di forma lineare la cui lunghezza varia da modello a modello, in modo da ottenere una diversa luminosità. In commercio si trovano lampade lineari con tubi di differente diametro, i maggiormente diffusi hanno i seguenti diametri (ove il numero che segue T identifica il diametro, espresso in ottavi di pollice):
 - 7 mm, sigla T2
 - 12,5 mm, sigla T4
 - 16 mm, sigla T5
 - 26 mm, sigla T8
 - 38 mm, sigla T12

Dal punto di vista degli aspetti illuminotecnici, economici e funzionali, non vi è un'elevata differenza tra le lampade fluorescenti compatte o lineari; la scelta dell'utilizzo di una tipologia rispetto ad un'altra, generalmente verte su spetti puramente pratici (es. sostituire una lampadina alogena o a incandescenza).

Confrontando invece, i dati riportati nelle precedenti tabelle (Tabella 2 - 3), si evince che la resa cromatica delle lampade fluorescenti è minore rispetto a quella delle lampade alogene ($R_a=100$), ma grazie ad esse è possibile raggiungere una temperatura di colore correlata superiore (fino a 6500 K contro 3200 K delle lampade alogene - che comporta la possibilità di avere sorgenti che emettono non solo luce calda, ma anche fredda), così come raddoppiare la durata media di vita attesa.

Infine, a causa della necessità di dover eccitare il gas presente nel bulbo, tutte le lampade a scarica di gas hanno un tempo di accensione e riaccensione superiore rispetto alle alogene e ai LED. Come si vedrà poco più avanti, il tempo di accensione e riaccensione può chiedere anche alcuni minuti.

Lampade ad alogenuri metallici

Le lampade ad alogenuri metallici sono lampade a scarica ad alta pressione, il cui principio di funzionamento è analogo a quelle a fluorescenza, ma per ottenere la luce bianca ben bilanciata (spettro visibile ben bilanciato), invece di polveri fluorescenti, si

utilizzano degli additivi, gli alogenuri (gli stessi delle lampade alogene). Anche in questo caso, ci sono differenti tipologie di lampade in commercio, più o meno compatte, con differenti tipi di attacchi e riflettori, e, di conseguenza, a seconda della tipologia di lampada, gli aspetti illuminotecnici, economici e funzionali variano.

Ad una prima vista della tabella si vede immediatamente come il tempo di accensione e riaccensione delle lampade agli alogenuri metallici sia decisamente superiore rispetto a quello delle altre tipologie di lampade, a causa del fatto che in alcuni modelli è necessario attendere il ciclo di raffreddamento della lampada per la riaccensione per via dell'elevata tensione di innesco che sarebbe necessaria per la riaccensione a caldo (25-60 kV).

Lampade al sodio

Le lampade al sodio, come le lampade agli alogenuri metallici, sono lampade a scarica ad alta pressione. Nel tubo viene introdotta un amalgama di sodio e un gas raro (in genere mercurio); purtroppo, anche in questo caso, come per le lampade fluorescenti, lo spettro di emissione non è ben bilanciato. Il sodio è responsabile della bassa temperatura di colore correlata e dello scorso indice di resa cromatica, questo perché a causa del sodio viene emessa luce gialla.

Come si evince dalla tabella sopra riportata (Tabella 2), le lampade al sodio hanno un range del flusso luminoso e di temperatura correlata minore delle lampade alogene, ma un indice di resa cromatica superiore. Rispetto alle lampade fluorescenti hanno invece una migliore efficienza luminosa. I tempi di accensione e riaccensione sono invece superiori (alcuni minuti contro pochi secondi) e si avvicinano ai tempi delle lampade agli alogenuri metallici (5 - 10 minuti).

Lampade LED

Il LED, acronimo di Light - Emitting Diode, è un diodo ²⁴ costituito da materiale semiconduttore ²⁵ in grado di produrre fotoni per emissione spontanea (luminescenza) quando questo viene attraversato da una corrente elettrica.

Il diodo è opportunamente drogato ²⁶ in modo da ottenere una giunzione $p-n$: uno strato con eccesso di elettroni (n) separato da una sottile zona di confine (zona neutra) rispetto ad un eccesso di lacune (p). Dalla regione n gli elettroni in eccesso sono dotati di una loro mobilità e, approssimandosi alla giunzione, tali elettroni occupano le lacune nella zona p . Durante tale migrazione si formano quindi cationi nella zona n e anioni nella zona p .

A causa dei transiti degli elettroni, si forma un'ulteriore sottozona tra le due regioni, chiamata zona di svuotamento, in cui si fronteggiano cationi e anioni. Agli estremi di questa sottozona si genera una barriera di potenziale che diminuisce all'aumentare della temperatura in cui si trova la giunzione. A svuotamento completato, la zona di giunzione si pone come un ostacolo a ulteriori transiti di elettroni. Per superare tale barriera è necessario applicare tra le due regioni una differenza di potenziale o tensione di soglia, cioè una corrente elettrica in grado di attraversare la giunzione $p-n$. I valori di tensione di soglia crescono con le frequenze delle radiazioni, pertanto il colore rosso, avendo una frequenza inferiore al blu necessita di una tensione di soglia pari a 2V contro i 3.5V necessari per il colore blu.

²⁴ Diodo, componente elettronico non lineare, a semiconduttore, a due terminali (anodo e catodo), che presenta una caratteristica tensione-corrente asimmetrica e una conducibilità fortemente unidirezionale. La funzione ideale è quella di permettere il flusso di corrente elettrica in un verso e di bloccarla quasi totalmente nell'altra. Fonte: Diodo - Enciclopedia – Treccani. Rielaborata a cura dell'autrice.

²⁵ In fisica, il semiconduttore è un materiale il cui comportamento varia da conduttore a isolante al variare del campo elettrico. Essi hanno resistività intermedia tra i metalli e gli isolanti: la quale diminuisce all'aumentare della temperatura, mentre la conducibilità aumenta all'aumentare della temperatura e la conduttività di un semiconduttore dipende moltissimo dal maggiore o minore grado di purezza. I semiconduttori presentano inoltre, una spiccata sensibilità alla luce (mentre per i conduttori metallici avviene il contrario). Essi sono quindi alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido, quali transistor, diodi e diodi ad emissione luminosa (LED). Si tratta di una categoria di sostanze abbastanza vasta ed eterogenea, comprendente elementi cristallini (per es., germanio, silicio), composti intermetallici e vari (sia cristallini sia amorfi), nonché alcuni composti organici. Fonte: Semiconduttore - Enciclopedia – Treccani. Rielaborata a cura dell'autrice.

²⁶ Il drogaggio di tipo p comporta delle lacune, vi sono quindi atomi con un numero di elettroni in meno, divenendo così cationi. Il drogaggio di tipo n invece, comporta la presenza di un aumento del numero di elettroni all'interno di ogni atomo, divenendo così un anione.

Se sottoposti ad una tensione diretta gli elettroni presenti nella banda di conduzione (strato n) si ricombinano con le lacune della banda di valenza (stato p) - vedere figura seguente.

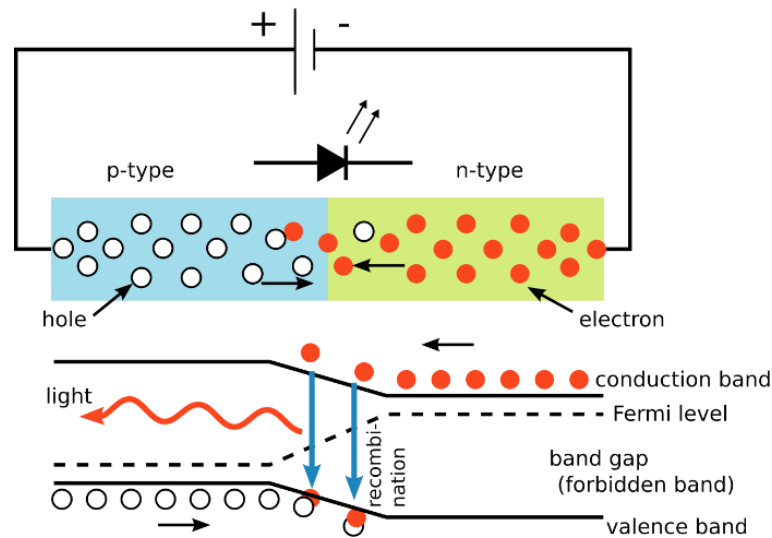


Figura 9: Rappresentazione di un LED in polarizzazione diretta: sopra schema della sua giunzione p-n, sotto il corrispondente diagramma a bande.

Fonte: LED - Wikipedia

Ogni volta che il chip è sottoposto a tensione diretta, gli elettroni cedono energia sottoforma di quanti di fotoni ad una frequenza caratteristica che dipende dagli elementi utilizzati per drogare il materiale semiconduttore. Ecco, quindi, che a seconda del colore che si vuole ottenere (anche nell'infrarosso e nell'ultravioletto), si dovranno utilizzare differenti elementi droganti per realizzare il chip semiconduttore. Ad esempio, grazie al Carburo di Silicio SiC si ottiene la luce blu – $\lambda = 460nm$, il colore verde è ottenibile mediante Fosforo di Gallio GaP ($\lambda = 550nm$) o Arseniuro di alluminio AlAs ($\lambda = 590nm$). L'arseniuro di alluminio-gallio AlGaAs permette invece di ottenere il colore rosso e IR ($\lambda = 770 - 870nm$).

La luce eterocromatica bianca invece, è ottenibile mediante:

- Sintesi additiva dei tre colori primari, sistema RGB (rosso, verde e blu);
- Sintesi additiva di colori complementari quali il blu e il giallo utilizzando sostanze a base di fosforo nel rivestimento protettivo dei chip. Ciò con il tempo però porta ad un ingiallimento delle lampade LED.

Di norma si tende ad accomunare i prodotti LED come fonti di luce fredda. Possono invece emettere diverse tonalità di luce, andando a sostituire anche fonti di luce tradizionale con luce calda o gialla. Salendo di temperatura la luce si fa dapprima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta. Tipicamente si è soliti raggruppare in tre gruppi le tonalità di luce emessa dai prodotti LED:

- Luce calda WW (Warm White): Temperatura di colore correlata pari a 2700 K – 3500 K, La tonalità di questa luce è più vicina al colore delle tipiche lampadine alogene. Tipicamente utilizzata in ambienti domestici;
- Luce Naturale NW (Natural White): Temperatura di colore correlata pari a 4000 K – 5000 K, tonalità di colore più chiara rispetto alla luce calda. E' normalmente utilizzata per uffici e ambienti di lavoro;
- Luce Fredda – WH (Cool White): Temperatura di colore correlata pari a 6000 K – 8000 K, tonalità di colore spiccatamente bianca, tendente ad un tono bluastrò. Si usa ad esempio per i palazzetti del ghiaccio.

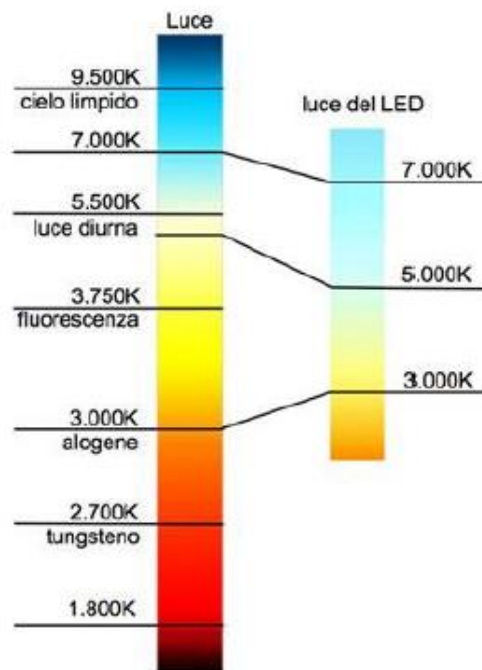


Figura 10: Temperatura di colore correlata

Fonte: Verbale di collaudo rilasciato dallo studio esterno di progettazione

I vantaggi dei LED sono numerosi:

- consumano meno energia, circa il 75% in meno delle lampade a incandescenza;
- rispetto ai prodotti tradizionali (lampade a incandescenza, alogene, fluorescenti e a scarica), minore è la quantità di materia utilizzata nella fabbricazione;
- non contengono sostanze nocive o tossiche e inoltre emettono quantità trascurabili di radiazioni ultraviolette e infrarosse;
- non contengono filamenti, parti di vetro o altri elementi fragili e deperibili, risultando pertanto molto più robusti e resistenti alle sollecitazioni meccaniche rispetto alle comuni sorgenti di luce;
- la drastica riduzione degli ingombri, e dei pesi agevola non solo l'approvvigionamento dei materiali, ma anche la produzione, l'imballaggio e il trasporto. Inoltre, i minimi ingombri associati alle basse potenze permettono di modulare la fonte luminosa, rendendo flessibile l'impianto di illuminazione (possibilità di polarizzazione, customizzazione, regolazione del flusso luminoso, gestione del colore);
- le parti componenti sono facilmente disaggregabili, smaltibili e riciclabili;
- garantiscono maggiore efficienza luminosa e di rendimento oltre che una maggiore rapidità di accensione;
- consentono facile integrazione con tecnologie fotovoltaiche di sfruttamento dell'energia solare;
- presentano durata media del ciclo di vita molto lunga, circa cinque volte superiore a quella della maggior parte delle lampade a basso consumo tradizionali.

Essi sono relativamente costosi e richiedono più attenzione nella gestione del calore rispetto alle tradizionali fonti di luce. I LED necessitano quindi di dissipatori passivi o attivi in modo tale che si stabilizzi il valore della temperatura di giunzione.

I LED sono classificati in base alla propria potenza (bassa, media e alta) e in base alla propria struttura. Si distinguono principalmente due tipi di LED, quelli comunemente chiamati LED SMD e quelli denominati LED COB.

I LED SMD, acronimo di “Surface Mount Device” - Dispositivo a Montaggio Superficiale, sono moduli LED che utilizzano la tecnologia di montaggio a superficie (SMT - Surface Mounted Technology), allo scopo di installare chip LED su schede a circuito stampato (PCB - Printed Circuit Board). I moduli vengono assemblati su un lato del circuito stampato mediante saldatura e senza che venga forato lo stesso circuito stampato. Si tratta quindi di una particolarissima tecnologia di montaggio superficiale che si preferisce a quella mediante foratura del circuito, in quanto:

- è in grado di annullare la produzione degli scarti dipesi dalla foratura del circuito;
- è concepita per ridurre tempi e costi dell'intero iter di lavorazione;
- riduce la grandezza dei componenti e consente di realizzare prodotti più compatti;
- consente di utilizzare tutte e due le facce del circuito stampato.

I chip SMD LED hanno forma rettangolare e al loro interno è situata la superficie emittente. Sui due lati, invece, sono collocati i piedini per l'alimentazione. Ogni chip presenta una grandezza diversa, sebbene nessuno di questi ecceda i 5,7 millimetri di lunghezza e i 5 millimetri di larghezza. Naturalmente, in relazione alle loro dimensioni variano anche la luminosità offerta e il consumo elettrico; maggiori saranno le loro dimensioni e più elevati saranno i livelli di luminosità.

In genere, vengono impiegati insieme ad altri chip per comporre la fonte luminosa desiderata. Ecco, allora, alcune delle soluzioni che è possibile trovare più facilmente oggi in commercio: moduli, tubi, strip, pannelli e faretti.

Il costo di questi chip, infine, è piuttosto elevato, ma le prestazioni offerte sono ottimali.

I LED COB “Chip On Board” sono un'ulteriore evoluzione. Si tratta infatti di chip di LED multipli, legati fra loro a formare un'unica unità. In questo modo è possibile ottenere delle sorgenti luminose ad ampia visione, utilizzabili infatti in luoghi dove più risultano necessari, come ad esempio, nel caso dei lampioni nelle strade, o addirittura in autostrada,

ma anche nell'ambiente domestico, anche se in tale ambiente si prediligono i LED SMD. I LED COB sono caratterizzati da diversi vantaggi: presentano una resa del colore migliore, un'illuminazione più uniforme grazie alla maggiore densità luminosa, garantiscono una maggiore potenza a parità di dimensione e offrono anche una migliore dissipazione del calore (grazie alla saldatura che avviene tramite dissipatore), garantendo così una migliore prestazione dal punto di vista termico.

Gli SMD richiedono, per ogni diodo presente sul chip, un circuito specifico. A differenza di quest'ultimi, la tecnologia "Chip On Board" permette di utilizzare pannelli che presentano un solo circuito e due semplici contatti per tutto il chip, con un numero potenzialmente illimitato di diodi. Questo garantisce, oltre alla migliore efficienza, anche una maggiore semplicità di "creazione". Inoltre, i LED COB, anziché avere una singola copertura fatta di fosforo per ogni diodo, presentano una singola grande copertura al fosforo, in modo tale da coprire l'array in maniera completa e diffondendo così in maniera più equa ed uniforme la luce.

Inizialmente, i LED COB possono presentare un costo leggermente superiore rispetto ad altre tecnologie LED a causa della loro avanzata configurazione e prestazioni superiori. Tuttavia, il risparmio energetico e la minor necessità di manutenzione li rendono una soluzione più economica nel lungo termine.

I LED, come visto, presentano molti vantaggi rispetto alle tipologie di lampade analizzate precedentemente. Sono di piccola dimensione, hanno un'elevata durata di vita e di efficienza luminosa, permettono l'accensione a freddo (-40°C), sono robusti e insensibili ad umidità e vibrazioni. Inoltre, non emettono radiazione infrarossa e ultravioletta. Hanno però un limite: sono legati alla temperatura giunzione: all'aumentare della temperatura si verifica un decadimento delle prestazioni in termini di flusso luminoso emesso.

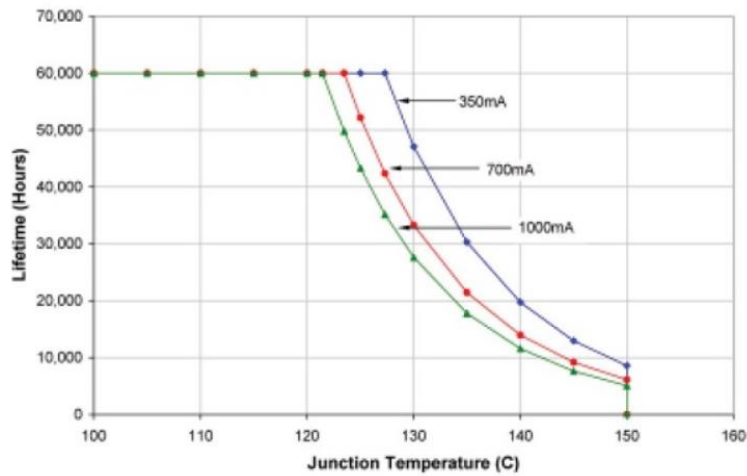


Figura 11: Vita di un LED Rebel InGaP in funzione della temperatura di giunzione e della corrente di alimentazione

Fonte: AB33 Luxeon

Il termine “giunzione” si riferisce alla giunzione pn nel circuito integrato del semiconduttore, dove avviene la generazione e l’emissione dei fotoni. Le schede tecniche dei vari LED forniscono grafici con l’andamento del flusso luminoso in funzione della temperatura di giunzione.

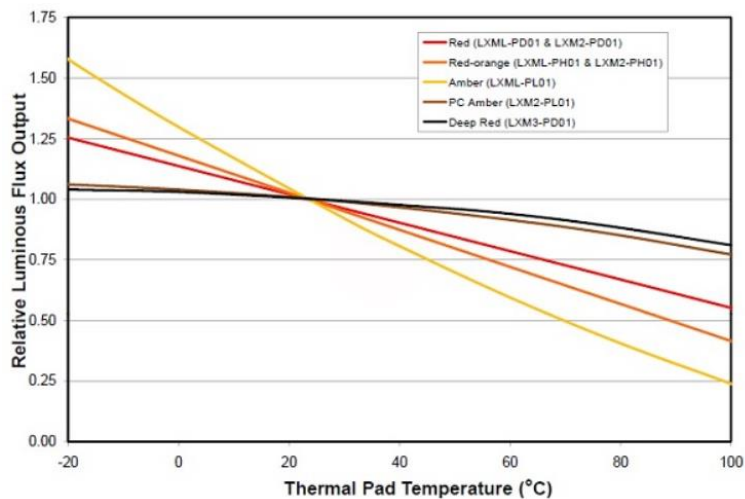


Figura 12: Flusso luminoso per Rebel ES, nei colori dal rosso al giallo, in funzione della temperatura di giunzione

Fonte: DS68 Luxeon

Una delle principali grandezze matematiche usate nella progettazione della gestione termica è la resistenza termica, $R\theta$ definita come la variazione di temperatura per unità di calore trasmesso tra due punti. La formula della resistenza termica per un LED è la seguente:

$$R\theta_{J-Ref} = \frac{\Delta T_{J-Ref}}{P_D}$$

Dove:

- $R\theta_{J-Ref}$ è la resistenza termica tra la giunzione ed il punto di riferimento ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
- ΔT_{J-Ref} esprime la differenza di temperatura tra la giunzione ed il punto di riferimento ($^{\circ}\text{C}$);
- P_D = Potenza dissipata dal LED (W).

Riscrivendola per la temperatura di giunzione diventa

$$T_J = T_{Ref} + R\theta_{J-Ref} \cdot P_D$$

Potendo misurare la temperatura e calcolare la potenza dissipata, la sola incognita è la resistenza termica tra la giunzione ed il punto di riferimento in cui si misura la temperatura.

Tra giunzione e dissipatore ci sono vari strati di materiale: nucleo del LED, circuito stampato, filler (pasta o biadesivo conduttivo per un migliore contatto termico tra il PCB ed il dissipatore) e dissipatore. Ognuno di questi strati ha una resistenza termica e la somma di tutti gli strati posti tra la giunzione ed il punto di misura della temperatura di riferimento dà la resistenza totale.

La potenza dissipata risulta essere invece pari alla potenza elettrica (pari corrente per la tensione ai capi del LED) per un coefficiente dissipativo ²⁷.

²⁷ Generalmente indicato con la lettera α . Esso vale 0,5 – 0,6 per LED blu, 0,6 – 0,7 per il bianco freddo e 0,7 – 0,8 per il bianco caldo.

4.3 Sistemi di controllo intelligenti

I sistemi di controllo intelligenti per l'illuminazione sono tecnologie avanzate che permettono di gestire e ottimizzare l'illuminazione in modo automatico e personalizzato. Questi sistemi utilizzano sensori, software e protocolli di comunicazione per regolare l'intensità, il colore e il comportamento delle luci in base a vari parametri come la presenza di persone, la luce naturale disponibile e le preferenze degli utenti.

I sistemi di controllo intelligenti permettono un incremento dell'efficienza energetica, garantendo al contempo un migliore comfort visivo.

Il sistema di regolazione del flusso luminoso, grazie ai sensori, che rilevano la quantità di luce naturale disponibile, regola l'intensità delle lampade artificiali, riducendo il flusso luminoso quando c'è abbastanza luce naturale e aumentandolo quando la luce solare diminuisce, senza mai scendere al di sotto dei requisiti minimi di illuminamento imposti dalla Normativa. Questi sistemi non solo migliorano il comfort visivo, ma contribuiscono anche a un significativo risparmio energetico, riducendo il consumo di elettricità e le emissioni di anidride carbonica. E' possibile raggiungere un risparmio energetico fino all'80% della potenza installata, oltre a quello consentito dalla tecnologia LED. Tali sistemi di gestione dei corpi illuminanti, consentono inoltre, di programmarne lo spegnimento automatizzato interagendo anche con altri sistemi dell'edificio come HVAC (riscaldamento, ventilazione e aria condizionata) per creare un ambiente integrato e ottimizzato. Suddetti sistemi possono essere controllati tramite app, assistenti vocali o interfacce web.

Questi sistemi sono utilizzati in vari contesti, dalle abitazioni agli uffici, fino agli spazi pubblici, contribuendo a creare ambienti più sostenibili, confortevoli e sicuri, pur sempre nel rispetto della normativa vigente.

E' possibile scegliere tra più tecnologie in funzione delle varie esigenze: negli anni si sono sviluppati sistemi di controllo modulari e scalabili, Stand-Alone ed Interconnessi. Grazie alla tecnologia Wireless è possibile gestire i sensori e gli apparecchi in modalità interconnessa, senza modificare l'impianto elettrico esistente. Per i nuovi impianti o dove è possibile posare un cavo dedicato al controllo, i sensori stand alone consentono la gestione cablata di apparecchi DALI standard, implementando un sistema Ibrido.

L'architettura dell'impianto, cablata o wireless, non impatta sul risparmio energetico ottenibile.

Il TCO (Total Cost of Ownership) di un sistema wireless è spesso più basso di quello del corrispondente sistema cablato; si riducono anche i tempi di montaggio, di attivazione (startup) e di manutenzione, grazie alla gestione tramite App che elimina la necessità di interventi da parte di tecnici specializzati, come accade per i sistemi cablati DALI. La tecnologia DALI, acronimo di Digital Addressable Lighting Interface, è uno standard di comunicazione aperto utilizzato per il controllo digitale dell'illuminazione. Questo sistema permette di gestire e regolare diverse fonti di luce in modo indirizzabile, consentendo una comunicazione bidirezionale tra i dispositivi di illuminazione e il sistema di controllo centrale. Il sistema DALI è particolarmente apprezzato per la sua flessibilità ed efficienza energetica. È utilizzato in vari contesti, dalle abitazioni agli spazi commerciali e industriali, permettendo di creare configurazioni di illuminazione personalizzate e di monitorare i consumi energetici.

Vi sono infine dei sistemi di gestione dell'accensione dei corpi illuminanti più rudimentali perché privi di software per la gestione remota, ma che comunque permettono di incrementare il risparmio energetico già conseguibile mediante tecnologia LED.

Si tratta dei cosiddetti radar sensor (o sensori radar) che vengono installati dal produttore all'interno del corpo lampada e il cui funzionamento si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche a specifica frequenza. Percepito il movimento, la lampada si accende. Regolando in modo appropriato i DIP switch ²⁸ presenti nel circuito integrato del driver della lampada, è possibile, ritardare lo spegnimento della stessa e ridurre anche di una certa percentuale il flusso luminoso. Questi sensori sono molto utili per migliorare l'efficienza energetica e la sicurezza, poiché permettono di illuminare solo quando necessario e di adattare l'illuminazione alle condizioni ambientali.

²⁸ Il DIP switch è un componente impiegato nei circuiti elettronici. È formato da un gruppo di interruttori incapsulati in un singolo contenitore di tipo Dual In-line Package (DIP), dotato di terminali disposti su due file a distanza normalizzata. Solitamente viene saldato sul circuito insieme agli altri componenti.

5 CRITERI PROGETTUALI E ASPETTI NORMATIVI

5.1 Introduzione

Un'illuminazione adeguata e appropriata permette alle persone di svolgere in modo efficace e accurato i compiti visivi, tra cui i compiti svolti per un periodo prolungato di tempo e di natura ripetitiva. Il livello di visibilità e comfort richiesto in un'ampia gamma di posti di lavoro dipende dal tipo e dalla durata dell'attività. L'illuminazione, inoltre, incide sui ritmi circadiani e sull'umore, nonché migliora il nostro rendimento e benessere.

L'impianto di illuminazione finale progettato, installato e messo in funzione deve fornire un'illuminazione di buona qualità efficiente ed efficace per le esigenze degli utenti, che risponda alla loro capacità visiva.

Nel processo progettuale, è imprescindibile fare riferimento alle nozioni fondamentali dell'illuminotecnica e dei riferimenti normativi vigenti. È necessario, pertanto, avere conoscenze di base inerenti alle grandezze fotometriche ²⁹ e applicare correttamente la normativa.

Aspetti fondamentali della progettazione illuminotecnica sono:

- *Rispetto dei requisiti normativi:* come quelli indicati dalla UNI EN 12464-1 per ambienti interni, UNI EN 12464-2 per ambienti esterni e dalla UNI EN 12665 per la definizione dei criteri illuminotecnici.
- *Analisi del contesto:* ogni ambiente ha esigenze specifiche in termini di illuminazione. È essenziale valutare la destinazione d'uso, la presenza di luce naturale, le superfici riflettenti e le attività svolte.

²⁹ Le grandezze fotometriche sono misure utilizzate in illuminotecnica per descrivere come la luce interagisce con l'occhio umano. Sono utili a valutare il fenomeno luminoso in termini quantitativi – Nota a cura dell'autore

- *Scelta delle sorgenti luminose:* devono garantire efficienza energetica, buona resa cromatica e durata nel tempo. La temperatura di colore va adattata al tipo di attività (es. luce calda per ambienti rilassanti, luce neutra o fredda per ambienti produttivi).
- *Controllo dell'abbagliamento:* attraverso l'uso di ottiche adeguate, schermature e posizionamento corretto dei corpi illuminanti, si riduce il rischio di discomfort visivo.
- *Uniformità dell'illuminazione e valori minimi di illuminamento:* è importante evitare zone troppo luminose o troppo buie, garantendo una distribuzione omogenea della luce, rispettando al contempo i requisiti minimi di illuminamento imposti dalla normativa.
- *Sostenibilità ed efficienza energetica:* l'uso di tecnologie LED, sistemi di controllo automatico (sensori di presenza, regolazione in base alla luce naturale) e una progettazione orientata al risparmio energetico sono oggi requisiti imprescindibili.
- *Manutenibilità e flessibilità:* l'impianto deve essere facilmente gestibile e adattabile a eventuali modifiche dell'ambiente o delle attività svolte.

Tutti questi aspetti verranno analizzati nei paragrafi successivi e al capitolo 6.

5.2 Aspetti normativi

La progettazione illuminotecnica sia in ambito pubblico che privato risponde a varie Norme Tecniche che sono alla base della “qualità”. Al fine di poter redigere un progetto che rispetti il quadro normativo è necessario rispettare i requisiti imposti dalla normativa vigente. Sebbene i valori di riferimento per i criteri illuminotecnici e gli specifici requisiti, a seconda del tipo di compito/attività, siano riportati nell'elenco dei requisiti illuminotecnici è importante attenersi a tutti i punti della norma europea. La norma UNI EN 12464-1:2021 riflette la migliore pratica generalmente riconosciuta.

Una norma tecnica descrive l'insieme di regole che fissano le condizioni standard di esecuzione di un certo processo o di elaborazione dei dati al fine di ottenere la massima uniformità e interscambiabilità, sia nei prodotti, sia nei progetti e nei processi produttivi. Esse sono elaborate da enti privati per la realizzazione di un'opera, un prodotto o un servizio “a regola d'arte”, ma laddove siano recepite dall'ordinamento giuridico, condizionano la realizzabilità e/o commerciabilità del bene realizzato.

A seconda della provenienza della norma tecnica, si distinguono: le norme ISO ³⁰, in ambito mondiale, le norme EN ³¹ in ambito europeo e le norme UNI ³² emanate in Italia.

³⁰ Le norme ISO, acronimo di International Organization for Standardization, sono un insieme di standard internazionali che forniscono linee guida, specifiche e requisiti su vari aspetti, come la qualità, l'ambiente, la sicurezza e la gestione delle risorse umane. Questi standard hanno lo scopo di migliorare l'efficienza, la sicurezza e la sostenibilità delle organizzazioni e dei prodotti. Fonte: Appunti dell'autrice dei corsi di sicurezza tenutisi nei corsi di Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino.

³¹ La sigla EN identifica le norme elaborate dal CEN (Comité Européen de Normalisation) e devono essere obbligatoriamente recepite dai Paesi membri del CEN, in quanto servono ad uniformare la normativa tecnica in tutta Europa: non è consentita l'esistenza a livello nazionale di norme che non siano in armonia con il loro contenuto. Fonte: Appunti dell'autrice dei corsi di sicurezza tenutisi nei corsi di Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino.

³² L'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) è un'associazione privata senza scopo di lucro, i cui soci sono imprese, liberi professionisti, associazioni, istituti scientifici e scolastici, realtà della Pubblica Amministrazione. Svolge attività normativa in tutti i settori industriali, commerciali e del terziario ad esclusione di quello elettrico ed elettrotecnico di competenza del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano). Fonte: Appunti dell'autrice dei corsi di sicurezza tenutisi nei corsi di Laurea Triennale e Magistrale in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino.

Di seguito si riportano alcune norme tecniche e decreti legislativi in ambito illuminotecnico da adottare per la progettazione.

In Italia, dal punto di vista normativo, in ordine gerarchico, si cita innanzitutto il Testo Unico sulla Sicurezza nei luoghi di lavoro D.lgs. 81/2008 e s.m.i. che tratta anche il tema dell'illuminazione, demandando però un approfondimento specifico alla normativa tecnica in vigore, di adattamento nazionale della normativa europea UNI EN 12464-1:2021 "Illuminazione dei posti di lavoro" che ha sostituito la storica UNI 10380 del 1994.

La norma UNI EN 12665:2018 tratta il tema della luce e illuminazione, con particolare attenzione ai termini fondamentali e ai criteri per la definizione dei requisiti illuminotecnici. Il documento ha due obiettivi principali:

- definire la terminologia di base da utilizzare in tutte le applicazioni illuminotecniche;
- stabilire un quadro di riferimento per la specifica dei requisiti di illuminazione, indicando gli aspetti da considerare nella progettazione e valutazione degli impianti di illuminazione.

La norma UNI EN 12464-1 include termini presi da altre norme del settore e serve come base per tutte le norme illuminotecniche successive. Aiuta a garantire coerenza terminologica e chiarezza progettuale tra professionisti del settore. Questa norma è fondamentale per chi lavora nel campo dell'illuminazione, perché fornisce il linguaggio tecnico condiviso e i criteri generali da cui partire per progettare impianti conformi alle normative europee. Suddetta norma riguarda l'illuminazione dei luoghi di lavoro interni e stabilisce i requisiti minimi per garantire comfort visivo, prestazione visiva e sicurezza.

La norma definisce requisiti illuminotecnici come:

- livelli minimi di illuminamento (lux) per diverse attività e ambienti;
- uniformità della luce per evitare zone troppo luminose o troppo buie;
- controllo dell'abbagliamento (UGR);
- resa cromatica (CRI) e temperatura di colore;
- utilizzo della luce naturale, ove possibile;
- illuminazione specifica per postazioni con videotermini.

5.2.1 Illuminamento

Nella norma UNI EN 12464-1:2021, in relazione al tipo di compito / attività, stabilisce il valore minimo richiesto per l'illuminamento medio mantenuto \bar{E}_m (vedere gli esempi riportati al capitolo 6).

La norma raccomanda di aumentare l'illuminamento \bar{E}_m di uno o due gradini nella scala degli illuminamenti se le condizioni visive differiscono da quelle normali. In particolare, secondo la norma bisognerebbe aumentare l'illuminamento \bar{E}_m se:

- il compito visivo è critico;
- gli errori sono costosi da correggere;
- sono molto importanti accuratezza, alta produttività o maggiore concentrazione;
- i dettagli del compito sono eccezionalmente piccoli o con basso contrasto;
- il compito deve essere svolto per tempi eccezionalmente lunghi;
- l'area del compito o dell'attività ha scarsa disponibilità di luce diurna;
- le capacità visive del lavoratore sono inferiori al normale.

Secondo la norma è inoltre ragionevole che i progettisti aumentino l'illuminamento nella zona del compito per aiutare le persone anziane a compensare l'invecchiamento della retina.

Per garantire un adeguato livello di luminosità e dunque aumentare i livelli di adattamento e comfort delle persone negli edifici, la norma stabilisce dei limiti di illuminamento sulle pareti e sul soffitto (vedere Tabella 5) nonché raccomanda i fattori di riflessione.

Tabella 5: Limiti di illuminamento sulle pareti e sul soffitto

Superficie	Illuminamento medio mantenuto (E_m)	Uniformità minima (U_o)
Soffitti	$\geq 0,30 \text{ lx}$	$\geq 0,10$
Pareti	$\geq 0,50 \text{ lx}$	$\geq 0,10$

L'uniformità U_o è definita come il rapporto tra l'illuminamento minimo e quello medio sulla superficie considerata. Un valore di 0,10 indica che l'illuminamento non deve scendere sotto il 10% del valore medio in nessuna zona della superficie.

5.2.2 Proprietà ottiche dei componenti di involucro dell'edificio

La norma UNI EN 12464-1 regola l'illuminazione dei luoghi di lavoro in interni. La distribuzione della luminanza e i coefficienti di riflettanza delle superfici (soffitti, pareti e pavimenti) sono elementi fondamentali per garantire comfort visivo, sicurezza e prestazioni visive adeguate.

La norma stabilisce che la luminanza delle superfici deve essere uniforme per evitare abbagliamenti e riflessi disturbanti. Le superfici verticali (come le pareti) invece, devono avere una luminanza sufficiente per garantire una buona percezione spaziale. Si riportano di seguito i valori tipici consigliati per le superfici interne.

Tabella 6: Coefficiente di riflettanza in funzione della superficie

Superficie	Coefficiente di riflettanza (ρ)
Soffitti	0,7 - 0,9
Muri	0,5 - 0,7
Pavimenti	0,2 - 0,4

Questi valori sono selezionati con criteri specifici:

- i soffitti devono riflettere la luce in modo diffuso, contribuendo all'illuminazione generale dell'ambiente;
- le pareti sono progettate per evitare contrasti eccessivi e favorire una distribuzione uniforme della luminanza;
- i pavimenti devono limitare riflessi e abbagliamenti, mantenendo una luminanza contenuta per garantire comfort visivo e sicurezza.

Nella norma UNI EN 12464-1 i concetti di riflessione e rifrazione sono trattati in modo indiretto, ma sono fondamentali per la progettazione illuminotecnica.

La norma considera la riflessione³³ in relazione a:

³³ La riflessione luminosa è il fenomeno fisico per cui la luce, quando colpisce una superficie, viene in parte assorbita, in parte riflessa e in parte trasmessa. Nota a cura dell'autore.

- Riflessioni velanti e abbagliamento riflesso: si tratta di fenomeni che possono compromettere la visibilità del compito visivo, soprattutto su superfici lucide come schermi o tavoli. La norma raccomanda di limitare le luminanze e di orientare correttamente le sorgenti luminose per evitare riflessi fastidiosi;
- Distribuzione delle luminanze: è importante che le superfici nell'ambiente abbiano una riflettanza adeguata a evitare contrasti eccessivi e migliorare la visibilità.

L'aspetto quantitativo del fattore di riflessione è legato, non solo al colore della superficie (il colore bianco riflette al 90%, rispetto al nero che ha un coefficiente di riflessione pari all'1%), ma anche al materiale di cui la superficie è composta - la riflessione sarà speculare o diffondente (il cemento ha un fattore di riflessione diffondente pari al 25% mentre l'acciaio inox ha un fattore di riflessione speculare pari al 55 - 65%).

Anche la rifrazione ³⁴ non è trattata esplicitamente, poiché riguarda più la fisica della luce che la progettazione illuminotecnica. Tuttavia, è implicata nei materiali ottici usati nei corpi illuminanti (come lenti e diffusori), che influenzano:

- direzione e diffusione della luce;
- controllo dell'abbagliamento;
- uniformità dell'illuminazione;
- altri aspetti correlati.

³⁴ Si definisce rifrazione la variazione della traiettoria di propagazione della radiazione luminosa che si verifica in corrispondenza dell'interfaccia di separazione di due mezzi trasparenti. Nota a cura dell'autore.

5.2.3 Illuminamento cilindrico

Oltre a illuminare le aree del compito e di attività, si deve illuminare anche il volume di spazio occupato da persone. Questa luce è necessaria per mettere in evidenza oggetti, rivelare la tessitura e migliorare il comfort visivo. I termini illuminamento cilindrico medio, modellato e illuminazione direzionale descrivono le condizioni di illuminazione.

Una buona comunicazione visiva e il riconoscimento degli oggetti all'interno di uno spazio richiedono che il volume dello spazio nel quale le persone si muovono o lavorano sia efficacemente illuminato. Questo requisito è soddisfatto fornendo un adeguato illuminamento cilindrico medio \bar{E}_z nello spazio. La norma stabilisce quindi che l'illuminamento cilindrico medio mantenuto $\bar{E}_{m,z}$ valutato su un piano orizzontale all'altezza di 1,2 m per le persone sedute e 1,6 m per le persone in piedi, sia maggiore del limite indicato nella norma stessa in relazione al tipo di compito/attività.

Nella norma, per nessun compito / attività è richiesto un valore $\bar{E}_{m,z} > 150$ lx.

5.2.4 Resa cromatica e temperatura di colore

La Normativa UNI EN 12464-1:2021 inoltre, non definisce obblighi in merito all'aspetto cromatico di una sorgente luminosa. La scelta dell'aspetto cromatico è una questione psicologica, estetica e di gusto personale. La scelta dipende dal livello di illuminamento, dai colori del locale, dall'arredamento e dall'applicazione. Fornisce solamente una fascia ristretta di temperature di colore adeguate a specifiche applicazioni. Infine, pone l'accento in caso di lavori in orari notturni, dove è necessaria un'attenta considerazione.

In merito alla resa dei colori invece, al fine di avere una sensazione di comfort e di benessere, i colori dell'ambiente e degli oggetti devono essere resi con sufficiente accuratezza e variano in funzione dell'ambiente. Nelle aree dove le persone lavorano continuamente, è richiesto un indice di resa cromatica $R_a \geq 80$.

5.2.5 Abbagliamento e UGR

Come riportato nella normativa UNI EN 12464-1:2021, l'abbagliamento è la sensazione sgradevole prodotta da aree brillanti all'interno del campo visivo, come superfici illuminate, parti degli apparecchi di illuminazione, finestre o lucernari. L'abbagliamento deve essere limitato per evitare errori, fatica e incidenti. L'abbagliamento può essere sperimentato come abbagliamento molesto o abbagliamento debilitante e deve essere evitato:

- schermando la sorgente luminosa e/o limitando la luminanza delle superfici luminose;
- limitando l'abbagliamento molesto. Per gli apparecchi di illuminazione si deve applicare il metodo dell'UGR laddove valido.

La norma UNI EN 11165:2005 “Luce e illuminazione - Illuminazione di interni - Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR” specifica i criteri per il calcolo dell'indice di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating - Indice unificato di abbagliamento) per interni considerando il solo contributo dell'illuminazione artificiale. L'UGR Unified Glare Rating è un fattore unificato in campo internazionale, sviluppato dalla CIE ³⁵ per la valutazione dell'abbagliamento diretto molesto.

L'UGR, definito dal CIE è stato introdotto nella norma per l'illuminazione degli interni UNI EN 12464-1 del 2004 (poi aggiornata ulteriormente nel 2011), primo aggiornamento importante della storica UNI 10380 della fine degli anni.

L'UGR Unified Glare Rating, è un fattore di verifica della condizione di abbagliamento debilitante all'interno dell'ambiente analizzato e dipendente da numerose variabili ambientali, non solamente dalle caratteristiche fotometriche e costruttive di un corpo illuminante. Il parametro UGR è dipendente solo in parte dalle caratteristiche fotometriche dell'apparecchio d'illuminazione. Dal punto di vista fotometrico, va posta particolare attenzione al valore di superficie emittente inserito in fotometria, poiché da questa dipende il valore di luminanza e quindi il risultato dell'UGR, strettamente legato

³⁵ CIE Commission International de l'Eclairage

alla luminanza del corpo illuminante osservato in ambiente. Dunque, il valore di UGR tiene conto:

- della posizione dell'osservatore rispetto all'impianto e quindi dalla disposizione degli apparecchi illuminanti;
- della luminanza del singolo apparecchio;
- della dimensione dell'installazione;
- dalle caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, indici di riflessione);
- dello sfondo in cui sono collocati i corpi luminosi.

Il valore di UGR oscilla tra valori da 10 (nessun abbagliamento) a 30 (abbagliamento considerevole), secondo una scala di 3 unità, più basso è il valore, minore è l'abbagliamento.

Tabella 7: Livelli di UGR

Fonte: normativa UNI EN 11165:2005

	impercettibile	percettibile	disturbo	intollerabile
UGR	< 13	13 - 22	22 - 28	> 28

Tale metodo tabellare è basato sull'applicazione della seguente formula:

$$R_{UG} = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Dove:

- R_{UG} è il valore dell'indice di abbagliamento unificato (UGR);
- L_B è la luminanza di sfondo in candele per metro quadro, calcolata come $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$, dove E_{ind} è l'illuminamento verticale indiretto al livello dell'occhio dell'osservatore;
- L è la luminanza in candele per metro quadro delle parti luminose di ogni singolo apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;

- ω è l'angolo solido in steradiani delle parti luminose di ogni singolo apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;
- p è l'indice di posizione di Guth di ogni singolo apparecchio che è funzione dello scostamento angolare rispetto alla linea di visione;
- Σ indica la sommatoria di tutti gli apparecchi di illuminazione.

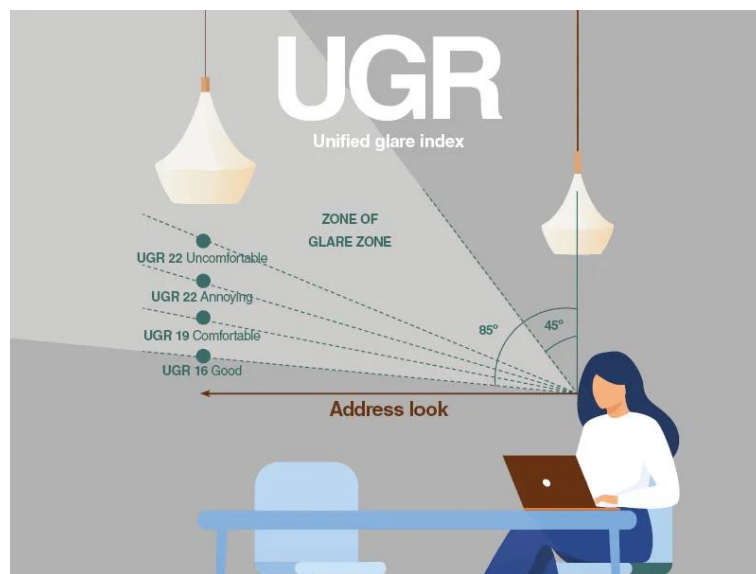


Figura 13: UGR

Fonte: Faro Barcelona

Un aspetto che spesso viene trascurato e che forse rappresenta il limite principale della formula UGR è che questa è stata concepita per verificare il comfort visivo negli uffici con posizionamento degli apparecchi in maglie regolari, con un osservatore ad 1,2 m da terra (situazione tipica di osservazione da seduto), che osserva l'ambiente con angolo di visione ortogonale a sé. Per questo motivo non si possono avere previsioni corrette, in situazioni in cui ci si distacca fortemente dalle condizioni sulle quali il parametro è stato sviluppato.

Con l'introduzione della tecnologia LED nell'illuminazione dei luoghi di lavoro sono sorte delle problematiche di applicazione della normativa oggi in vigore, problematiche che risiedono nella definizione dell'indice e relativi limiti ³⁶.

³⁶ Enunciati nelle seguenti Normative: CIE 117 del 1995- Discomfort Glare in Interior Lighting e UNI 11165 del settembre 2005, Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR.

L'applicazione dell'UGR è limitata a sorgenti di luce che determinano, nelle condizioni supposte, un angolo solido compreso tra 0,1 sr ³⁷ e 0,0003 sr. L'abbagliamento molesto per sorgenti molto piccole, è determinato dall'intensità luminosa più che dalla luminanza, perciò l'UGR non è applicabile per sorgenti con angolo solido minore di 0,0003 sr.

La CIE ha quindi pubblicato uno standard Collezione Glare CIE 146,147 2002 in cui è affrontato il tema dell'UGR per sorgenti di piccola dimensione, ossia con superficie luminosa dimensione inferiore 0,005m² che corrisponde ad un disco di diametro 80mm.

$$UGR_{small} = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_B} \sum 200 \frac{L^2}{r^2 p^2} \right)$$

Dove:

- L_B è la luminanza di sfondo in candele per metro quadro, calcolata come $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$, dove E_{ind} è l'illuminamento verticale indiretto al livello dell'occhio dell'osservatore;
- L è la luminanza in candele per metro quadro delle parti luminose di ogni singolo apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;
- p è l'indice di posizione di Guth di ogni singolo apparecchio che è funzione dello scostamento angolare rispetto alla linea di visione;
- r è la distanza dell'occhio dal singolo apparecchio luminoso;
- Σ indica la sommatoria di tutti gli apparecchi di illuminazione;

Tipicamente un buon programma di calcolo può fornire i valori di UGR in alcune situazioni tipo che tengono conto delle caratteristiche di riflessione del locale (pavimento, pareti, soffitto), delle dimensioni dell'ambiente espresse in funzione della differenza di altezza tra l'occhio dell'osservatore e le sorgenti luminose (H) e ovviamente della direzione di osservazione.

³⁷ Un angolo solido di 0, 1 sr è determinato da un apparecchio di forma quadrata con lato di 1 m visto da una distanza di circa 3 m.

Aggiornamenti recenti dei diversi software disponibili sul mercato hanno reso disponibile anche una miglioria sulle modalità di rappresentazione dell'UGR. Se prima era possibile solo verificare una direzione di osservazione alla volta, ora l'output è calcolato effettuando una media di valori sui 360° di visione (panoramic view), la rappresentazione è tale per cui è possibile valutare su quali vettori di osservazione si hanno i valori più critici di UGR.

Spesso nei cataloghi viene riportato l'indice UGR di un apparecchio, in modo da fornire agli operatori delle indicazioni in merito al comportamento del corpo illuminante nei confronti della problematica dell'abbagliamento molesto. Naturalmente si tratta di un'approssimazione, con ogni probabilità il valore UGR indicato è derivato da tabelle UGR globali.

6 PROGETTI AZIENDALI DI RELAMPING

6.1 Introduzione

Nella presente tesi, nei paragrafi successivi (par. 6.2 e par. 6.3) si analizzeranno due progetti di relamping svolti su due edifici industriali per due differenti società clienti di Würth Italia. I casi studio saranno trattati solamente in parte, per motivi di privacy e sensibilità dei dati dei clienti.

In entrambi i casi il committente era interessato ad un relamping “chiavi in mano”, sia dell’interno dell’edificio che dell’area perimetrale esterna. Ciò che differenzia i due casi studio è la destinazione delle attività svolte negli edifici interessati.

Il primo progetto che verrà analizzato e che verrà denominato “Edificio 1” riguarda l’officina mezzi di una società di noleggio di macchinari per movimento terra; Il secondo invece, denominato “Edificio 2” è un centro logistico. Sono state scelte due tipologie di edificio differenti con differenti destinazioni d’uso per valutare i diversi i requisiti illuminotecnici da rispettare imposti dalla normativa. Inoltre, ciò che differenzia ulteriormente i due casi studio, dal punto di vista tecnico, è la scelta di adottare o meno dispositivi che permettano una gestione intelligente dei corpi illuminanti.

Nel primo caso studio, “Edificio 1” tutti i corpi illuminanti sono on/off, non vi sono dispositivi di controllo per via delle mansioni svolte e del poco apporto di luce proveniente dall’esterno, l’uso di tecnologia DALI o di sensori di presenza, non avrebbe portato ad un’offerta economicamente vantaggiosa. L’aumento dei costi di fornitura che ne sarebbe conseguito non avrebbe giustificato il risparmio che sarebbe derivato dall’adozione di tale tecnologia. Scelta differente è stata fatta invece per il secondo edificio, il centro logistico. In questo caso invece, come si vedrà nei capitoli successivi, l’adozione di tecnologia DALI e di sensori di presenza permette un notevole ulteriore risparmio energetico, oltre a quello che si sarebbe conseguito dalla sola tecnologia LED. Ciò è dettato alla differente destinazione d’uso e dal numero di ore di lampade accese nell’intero complesso.

L'illuminazione di emergenza, a differenza di quella ordinaria, non consente di conseguire direttamente un risparmio energetico, non è progettata per conseguire un risparmio energetico, ma per garantire sicurezza in caso di interruzione dell'alimentazione elettrica o situazioni di emergenza. Serve a illuminare percorsi di evacuazione, uscite di sicurezza, scale e aree critiche durante un blackout.

Deve essere sempre pronta all'uso, quindi spesso è alimentata da batterie tampone o da sistemi di alimentazione dedicati. Il consumo è minimo durante il normale funzionamento, poiché il sistema è in standby. L'energia viene utilizzata solo in caso di emergenza o durante test periodici. I sistemi più recenti utilizzano LED a basso consumo, che riducono l'impatto energetico rispetto alle vecchie lampade fluorescenti. Alcuni impianti sono integrati con sistemi di monitoraggio intelligente, che ottimizzano la manutenzione e riducono sprechi. Si precisa quindi che per entrambi i progetti non si analizzerà l'illuminazione di emergenza in virtù del fatto che non consente di conseguire direttamente un risparmio energetico.

Per entrambi i progetti viene affrontata l'analisi tecnico-economica degli investimenti per la riqualificazione energetica che è un processo fondamentale per valutare la convenienza e l'efficacia degli interventi volti a migliorare l'efficienza energetica di edifici, impianti o processi produttivi.

In merito all'analisi tecnica si valuta la fattibilità tecnica degli interventi:

- diagnosi energetica: analisi dei consumi attuali e individuazione delle inefficienze;
- individuazione degli interventi: ad esempio, isolamento termico, sostituzione infissi, impianti fotovoltaici, pompe di calore, relamping LED, ecc.;
- stima dei risparmi energetici: calcolo del risparmio annuo in kWh o m³ di gas;
- durata e complessità dei lavori: tempi di realizzazione, impatti sull'operatività.

L'analisi economica serve invece, a valutare la convenienza finanziaria dell'investimento:

- costo dell'investimento: comprensivo di progettazione, materiali, installazione, collaudi;
- incentivi disponibili: detrazioni fiscali (es. Superbonus, Ecobonus), contributi regionali, Conto Termico, ecc.;
- risparmio economico annuo: riduzione della bolletta energetica.

Al fine di eseguire una corretta analisi economica ci si avvale di alcuni indicatori economici, i cui principali, che analizzeremo di seguito per ciascun progetto, sono:

- *Net Present Value (NPV)*: in italiano noto come Valore Attuale Netto (VAN), valore attualizzato dei flussi di cassa futuri;
- *Discounted Payback Period (DPP)*: Periodo di Rimborso Scontato e rappresenta gli anni necessari per recuperare l'investimento;
- *Internal Rate of Return (IRR)*: anche noto come Tasso Interno di Rendimento (TIR), rendimento percentuale dell'investimento;
- *Annual Equivalent Value (AEV)*: ossia il Controvalore Annuo (AEV), valore netto che un investimento genera oltre il costo del capitale impiegato.

Tale analisi economica più approfondita, non è oggetto dell'offerta che Würth sottopone ai propri clienti; è stata quindi eseguita solo per la presente tesi come approfondimento, al fine di comprendere meglio la bontà dell'investimento economico. I primi tre indicatori economici sono trattati all'interno della normativa EN 17463:2021, nota anche come VALERI, che affronta temi economico-finanziari legati agli investimenti nel settore energetico. Il quarto indicatore, EAV (Economic Added Value) invece, non è menzionato

direttamente nella norma, ma concetti simili come l'Indice di Profitto (IP) ³⁸ e il Costo Globale (CG) ³⁹ sono utilizzati per valutare il valore generato dall'investimento.

Tutti e quattro tali indicatori economici sono, invece, esposti all'interno della ISO/TS 50044:2019 che tratta la valutazione economica e finanziaria dei progetti di risparmio energetico (EnSPs) e fornisce le linee guida per:

- confrontare e attribuire priorità ai progetti di risparmio energetico prima dell'implementazione;
- applicare principi comuni di valutazione economica;
- supportare decisioni strategiche in ambito energetico.

Infine, esiste l'analisi ambientale, opzionale, ma consigliata che valuta l'impatto ambientale positivo:

- riduzione delle emissioni di CO₂;
- contributo agli obiettivi ESG ⁴⁰ o di sostenibilità aziendale;
- certificazioni ambientali.

³⁸ L'indice di profitto è pari al rapporto tra VAN - Valore Attuale Netto e investimento iniziale.

³⁹ Il Costo Globale considera tutti i costi associati a un investimento lungo il suo ciclo di vita. Include: costi iniziali (acquisto, installazione), costi operativi (energia, manutenzione), costi ambientali e sociali (se monetizzabili), costi di smaltimento o dismissione.

⁴⁰ I contributi agli obiettivi ESG (Environmental, Social, Governance) rappresentano le azioni concrete che un'organizzazione intraprende per migliorare il proprio impatto ambientale, sociale e di governance. Molti contributi ESG sono allineati con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 dell'ONU.

6.2 Progetto edificio 1 - società di noleggio mezzi

6.2.1 Introduzione

La società nata a metà degli anni Novanta, oggi ha più di 120 sedi ed è facente parte di un gruppo che unisce più di 20 società in 15 paesi. Essa offre ai propri clienti la possibilità di noleggiare macchine da lavoro per differenti settori: edilizia, infrastrutture, manutenzione e cura del verde. Ha una flotta noleggio composta da oltre 20.000 unità tra macchine e attrezzature.

All'interno degli stabilimenti, avviene il lavaggio e la manutenzione dei macchinari che vengono noleggiati a terzi. Tutte le sedi si compongono di un capannone in cui vi sono 3 aree di lavoro: manutenzione, lavaggio e deposito dei macchinari, oltre ad una zona uffici. Ogni società ha inoltre un ampio piazzale in cui sostano alcuni mezzi.

La Società si è rivolta Würth perché interessata ad un relamping riguardante sia l'illuminazione interna che quella esterna di undici stabilimenti presenti in Nord Italia. La richiesta è avvenuta in due fasi: nei primi mesi dell'anno 2024 è stato chiesto l'intervento presso una sede in Lombardia e successivamente, soddisfatti delle prestazioni ricevute, nel secondo semestre dello stesso anno, si è proceduto al relamping delle sedi successive. Per queste 10 sedi, solo in 4 di esse si è offerto il servizio chiavi in mano, poiché per le altre la società ha preferito acquistare solamente i corpi lampada e procedere direttamente all'installazione sulla base del progetto redatto. La presente tesi analizzerà il primo progetto redatto, in quanto di maggior valore economico. Al fine di comprendere la bontà dell'investimento si vedranno due soluzioni: acquisto e noleggio operativo.

6.2.2 Analisi tecnica dello stato di fatto

Ricevute le tavole dello stato di fatto dell'edificio, è stato programmato, come da prassi, un sopralluogo puntuale presso il cliente. Come si evince dallo stralcio planimetrico in allegato (Tavola 1- Stralcio planimetrico edificio 1 in scala 1:200) il sito di interesse si compone da una zona uffici di due piani fuori terra, ma di cui il solo piano terra è oggetto

di relamping, e da un annesso capannone, in cui la società svolge mansioni di riparazione e lavaggio mezzi pesanti.

Il rilievo è consistito nell'annotazione delle varie tipologie di lampade esistenti (potenza, dimensione, grado IP, ecc.), delle altezze di fissaggio di quest'ultime, delle altezze dei locali dei vari corpi di fabbrica, della tipologia dei soffitti, dell'impianto, delle destinazioni d'uso dei vari ambienti e degli eventuali ingombri, quali ad esempio gli scaffali, gli arredi degli uffici, i macchinari fissi di elevate dimensioni.

La copertura del capannone è in cemento armato prefabbricato precompresso con una altezza tra pavimento e intradosso trave di metri 7 e tra pavimento e intradosso soletta di metri 8,5. Gli uffici presentano invece soffitti di altezza metri 3 dal pavimento e sono o in cartongesso liscio o composti da pannelli in cartongesso 60x60 cm.

Infine, al fine di poter stimare i consumi elettrici e il relativo costo, si sono chieste le ultime due bollette dell'energia elettrica e l'orario di apertura e chiusura della società.

Dal sopralluogo effettuato puntualmente è emersa la presenza di lampade al neon, di proiettori agli ioduri metallici (vedere allegato Tavola 2 – Stralcio del rilievo edificio 1). In tabella si riporta lo stato di fatto, suddiviso per ambienti con indicazione della tipologia e numero delle lampade, della potenza, delle ore di funzionamento stimate su indicazione del committente.

Tabella 8: Stima stato attuale sistema di illuminazione del cliente

Stima stato attuale sistema di illuminazione								
Rilievo / Dati forniti dal committente						Dati ricavati dai calcoli		
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Tipologia lampada ⁴¹	Potenza [W]	Nr. Lampade	Ore/anno di funzionamento [h]	Potenza tot. [kW]	Stima consumo annuo [kWh]	Stima costo manutenzione annua [€]
Esterno	Proiettore JM 400 W	JM	440	10	4300	4,40	18920	172,00
Parcheggio	Proiettore JM 250 W	JM	275	7	4300	1,93	8278	120,40
Tettoia	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	13	3000	1,66	4976	48,75
Lavaggio	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	20	3000	2,55	7656	75,00
Officina	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	20	3000	2,55	7656	75,00
Officina	Proiettore JM 400 W	JM	440	40	3000	17,60	52800	480,00
Gabbiotto Officina	Plafon.stagna 1X58 W	FLUO	63,8	1	3000	0,06	191	2,81
Officina	Plafon.stagna 1X58 W	FLUO	63,8	5	3000	0,32	957	14,06
Spogliatoi e WC	Plafon. incasso 4X18 W	FLUO	79,2	3	2000	0,24	475	8,85
Spogliatoi e WC	Plafoniera 2X18 W	FLUO	39,6	3	2000	0,12	238	6,30
Mensa e Corridoio	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	6	2000	0,77	1531	15,00
Magazzino	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	18	3000	2,30	6890	67,50
Magazzino	Plafon. stagna 1X58 W	FLUO	63,8	4	3000	0,26	766	11,25
Locale Tecnico 1	Plafon. stagna 2X58 W	FLUO	127,6	1	3000	0,13	383	3,75
Locale Tecnico 2	Plafon. stagna 1X58 W	FLUO	63,8	1	3000	0,06	191	2,81
Uffici	Plafon. incasso 4X18 W	FLUO	79,2	27	3000	2,14	6415	119,48
Reception e Uff mag.	Plafon. incasso 4X18 W	FLUO	79,2	8	3000	0,63	1901	35,40
Uffici	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	7	3000	0,40	1201	31,50
Corridoio Uffici	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	9	3000	0,51	1544	40,50
Hall	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	11	3000	0,63	1888	49,50
WC Uffici 1	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	2	1000	0,11	114	3,00
WC Uffici 2	Plafon. incasso 4X18 W	FLUO	79,2	2	1000	0,16	158	2,95

⁴¹ Si riporta la legenda del tipo di lampada.

Legenda tipo lampada

FLUO	Lampada fluorescente
ALO	Lampada alogena
DICR	Lampada dicroica
SAP	Sodio alta press.
MER	Vapori di mercurio
LED	Light Emitting Diode
INC	Lampada ad incandescenza
JM	Ioduri metallici

Stima stato attuale sistema di illuminazione								
Rilievo / Dati forniti dal committente						Dati ricavati dai calcoli		
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Tipologia lampada	Potenza [W]	Nr. Lampade	Ore/anno di funzionamento [h]	Potenza tot. [kW]	Stima consumo annuo [kWh]	Stima costo manutenzione annua [€]
Totale				218		39,53	125131	1385,81

Il sopralluogo è fondamentale al fine di poter eseguire una diagnosi energetica. Grazie ad esso è possibile creare la tabella sopra riportata che consente un'analisi dei consumi attuali dell'impianto di illuminazione e individuarne l'inefficienza.

Come si evince dalla Tabella 8, è stato possibile stimare il “consumo annuo” di ogni lampada, grazie al prodotto tra la potenza della lampada e le ore di funzionamento annuo della lampada stessa.

$$\text{Consumo annuo[kWh]} = \text{Potenza[kW]} \cdot \text{Ore di funzionamento annuo[h]}$$

Infine, la stima del “costo di manutenzione annua” è una stima prudenziale basata sul life time delle lampade, a seconda della tipologia, parametrizzata sulle ore di funzionamento. La “durata” delle ore di funzionamento delle lampade è derivante dai datasheet dei maggiori produttori.

$$\text{Costo annuo manutenzione[€]} = \frac{\text{Ore funzionamento[h]}}{\text{Durata[h]} \cdot \text{Totale costo[€]}} \text{Numero lampade}$$

Il costo totale, invece, è dato dalla somma del costo medio di mercato dei ricambi e del costo di manodopera programmata per la sostituzione dello stesso. Il suddetto importo dipende principalmente dalla quota a cui sono ubicate le lampade. Si stima un costo pari a € 5,00 qualora la lampada sia raggiungibile mediante scala, pari a € 30,00, se necessaria PLE.

$$\text{Totale costo[€]} = \text{costo ricambi[€]} + \text{costo manodopera[€]}$$

Per ogni tipologia di lampada presente, ai fini del calcolo del “costo di manutenzione annua”, si tenga conto della seguente tabella:

Tabella 9: Estratto dei costi di manutenzione per ogni tipologia di corpo illuminante

Descrizione	Tipo lampada	Potenza [W]	Durata [h]	Costo dei ricambi [€]	Costo Manodopera [€]	Totale Costo [€]
Proiettore JM 400 W	JM	440	15000	30,00	30,00	60,00
Proiettore JM 250 W	JM	275	15000	30,00	30,00	60,00
Plafoniera stagna 1X58 W	FLUO	63,8	8000	2,50	5,00	7,50
Plafoniera stagna 2X58 W	FLUO	127,6	8000	5,00	5,00	10,00
Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	8000	6,80	5,00	11,80
Plafoniera 2X18 W	FLUO	39,6	8000	3,40	5,00	8,40
Faretto da incasso 2X26 W	FLUO	57,2	8000	7,00	5,00	12,00

6.2.3 Progettazione

Rilevato lo stato di fatto dell'intero edificio, adibito principalmente a officina meccanica per le riparazioni dei veicoli di movimento terra, si è proceduto alla stesura del progetto.

Al fine di eseguire una corretta progettazione, è necessario considerare ulteriori aspetti, approfonditi nel capitolo precedente:

- La riflessione luminosa: il fenomeno fisico per cui la luce, quando colpisce una superficie, viene in parte assorbita, in parte riflessa e in parte trasmessa;
- La rifrazione: la variazione della traiettoria di propagazione della radiazione luminosa che si verifica in corrispondenza dell'interfaccia di separazione di due mezzi trasparenti;
- L'UGR: il valore numerico che quantifica l'abbagliamento psicologico causato da sorgenti luminose all'interno del campo visivo, definito dalla norma EN 12464-1.

Grazie al software DIALux Evo ⁴² è stato possibile ricreare in 3D l'intera struttura dell'edificio, sia interna che esterna. Ricreati i vari locali, si sono posizionati i corpi

⁴² software per la progettazione illuminotecnica. Permette di progettare, calcolare secondo normativa vigente l'illuminazione interna ed esterna agli edifici a più piani oltre che di parcheggi e strade.

illuminanti reputati idonei per portare il corretto apporto di luce, in funzione della destinazione d'uso, secondo normativa e verificarne i calcoli.

Ricreato il perimetro esterno dell'edificio è possibile ricreare ogni ambiente interno inserendo non solo elementi strutturali quali tramezzi, pilastri, controsoffitti, ma anche finestre o scale che collegano i vari piani. Inoltre, per ogni stanza è possibile definire il colore dei muri, dei pavimenti e del soffitto perché esso influisce sul coefficiente di riflessione. Inoltre, si possono infine inserire elementi di arredo, quali scrivanie, armadi per gli uffici, bagni completi di accessori, ecc. Definiti gli aspetti strutturali dell'edificio e gli elementi di arredo si inseriscono i copri illuminanti e si settano alcuni parametri.

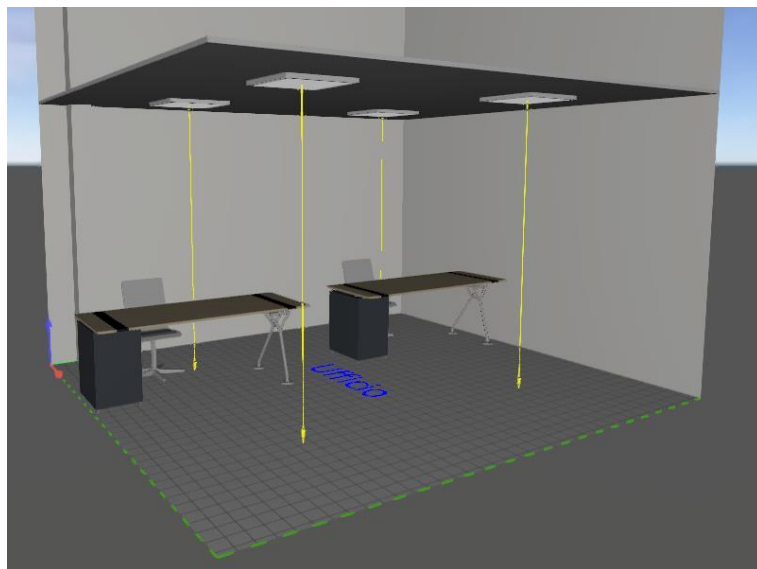


Figura 14: Vista 3D di un ufficio

Fonte: DIALux Evo

Di default il software imposta un fattore di diminuzione di manutenzione dei corpi illuminanti di 0,8. Generalmente, si preferisce portarlo a 0,9 poiché 0,8 è troppo cautelativo.

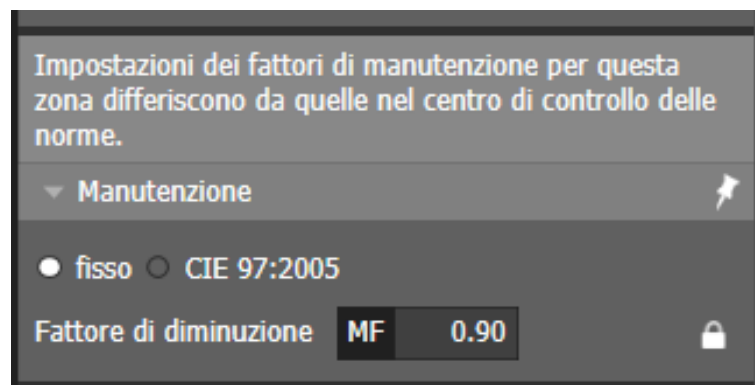


Figura 135: Stralcio del software dove si definisce il fattore di manutenzione
Fonte: DIALux Evo

Per ogni stanza si crea inoltre la superficie utile di calcolo, alla quale si applica la normativa UNI EN 12464-1:2021. Selezionando la corretta destinazione d'uso del locale o delle mansioni e lavorazioni che in esso vengono svolte il software di calcolo restituisce di default i risultati minimi imposti dal quadro normativo, in termini di illuminamento medio, uniformità e UGR. Ad esempio, come se evince in Figura 16, scegliendo la categoria Ufficio, è poi possibile discriminare tra varie sottocategorie: come disegno tecnico, sale conferenze, archivio, reception, ecc.

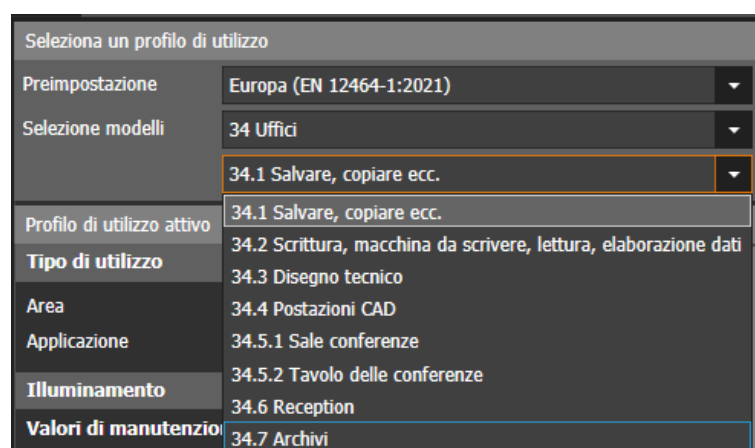


Figura 16: Stralcio del progetto per la scelta della destinazione d'uso del locale
Fonte: DIALux Evo

Per gli uffici in cui vi è una postazione pc, si applica la destinazione d'uso che impone i seguenti requisiti minimi di illuminamento:

- Compito visivo (E_m): 500 lx;
- Attività visiva modificata ($E_{m, \text{mod}}$): 1000 lx;
- Area circostante: 300 lx;
- Zona di sfondo: 100 lx;
- Cilindrico ($E_{m, z}$): 150 lx;
- Uniformità (E_{min}/E_m): 0,6.

Per una migliore analisi dei risultati illuminotecnici, per gli uffici, posizionata la scrivania, è possibile applicare come area di calcolo quella del compito visivo secondo la Normativa UNI EN: 12464. Questa ricrea tre aree di calcolo:

- La prima area detta *area del compito visivo* poggia sul piano della scrivania (viola scuro);
- Una seconda area detta *area circostante* di ampiezza 0,5m dalla precedente e posta alla medesima quota (fuxia);
- La terza detta *area di sfondo* ed è posta a quota 0m, a quota pavimento (rosa).

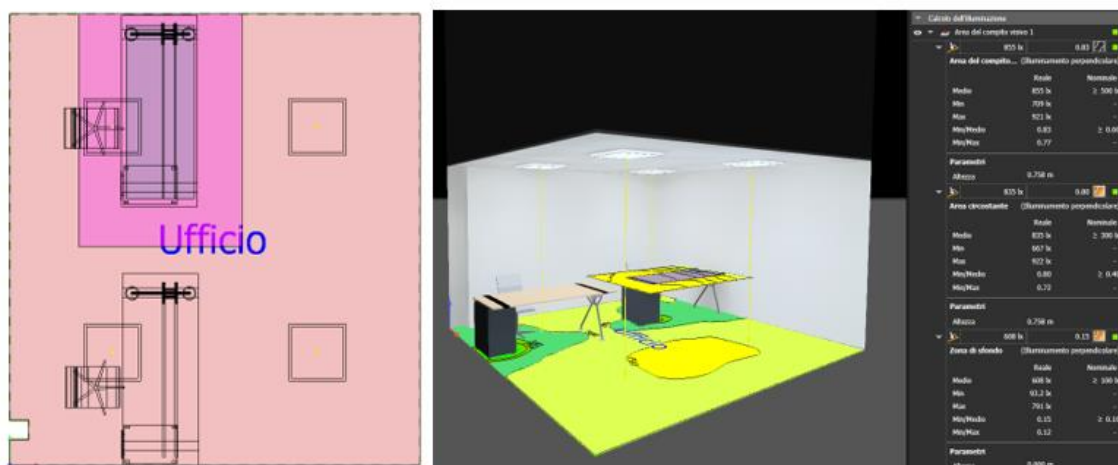


Figura 17: A sinistra visione in pianta dell'ufficio e delle tre aree di calcolo. A destra visione in 3D dello stesso ambiente con i risultati conseguiti dalla progettazione

Fonte: DIALux Evo

Come si evince dai risultati, i valori normativi sono rispettati:

- L'area del compito visivo prevede un valore di illuminamento medio pari o superiore a 500 lx e un'uniformità alleno pari a 0,6;
- L'area circostante prevede un valore di illuminamento medio pari almeno a 300 lx e un'uniformità pari o superiore a 0,4;
- L'area di sfondo prevede un valore di illuminamento medio pari o superiore a 100 lx e un'uniformità almeno pari a 0,1;

Area del compito visivo 1			835 lx			608 lx		
Area del compito... (Illuminamento perpendicolare)			Area circostante (Illuminamento perpendicolare)			Zona di sfondo (Illuminamento perpendicolare)		
	Reale	Nominale		Reale	Nominale		Reale	Nominale
Medio	855 lx	≥ 500 lx	Medio	835 lx	≥ 300 lx	Medio	608 lx	≥ 100 lx
Min	709 lx	-	Min	667 lx	-	Min	93.2 lx	-
Max	921 lx	-	Max	922 lx	-	Max	791 lx	-
Min/Medio	0.83	≥ 0.60	Min/Medio	0.80	≥ 0.40	Min/Medio	0.15	≥ 0.10
Min/Max	0.77	-	Min/Max	0.72	-	Min/Max	0.12	-

Figura 1814: Estratto dei valori di calcolo ottenuti

Fonte: DIALux Evo

Si riportano di seguito i valori secondo normativa dell'ambiente di lavoro adibito ad ufficio.

Tabella 10: Requisiti di illuminazione per interni (zone), compiti e attività EN 12464-1:2011

N° rif	Tipo di interno, compito o attività	E _m [lx]	UGRL [-]	U _o [-]	Ra [-]
5.26.1	Archiviazione, copiatura, ecc.	300	19	0,40	80
5.26.2	Scrittura, dattilografia, lettera, elaborazione dati	500	19	0,60	80
5.26.3	Disegno tecnico	750	16	0,70	80
5.26.4	Postazione CAD	500	19	0,60	80
5.26.5	Sale conferenze e riunioni	500	19	0,60	80
5.26.6	Ricezione (reception)	300	22	0,60	80
5.26.7	Archivi	200	25	0,40	80

La Normativa stabilisce che sulla scrivania, ad un'altezza di 0,8 m da terra, l'illuminamento medio deve essere pari almeno a 500 lx e che l'uniformità⁴³ dell'intero ambiente deve pari o superiore a 0,6. Il software di calcolo restituisce di default suddetti valori calcolati.

A titolo esplicativo dell'importanza della riflessione, analizzata al paragrafo 3.2, si riportano i risultati ottenuti per il medesimo ambiente (locale ad uso officina) in cui, nel primo caso sono stati lasciati impostati i materiali e i colori che il software propone di default; mentre nel secondo caso quelli scelti da progettista che maggiormente si avvicinano a quelli reali. Nel primo caso, il pavimento è di tipo metallico con coefficiente di riflessione pari al 20% mentre per le pareti sale al 50%. Nel secondo caso (a destra) si è scelto un pavimento in gres con mattonelle bianche aventi un coefficiente di riflessione pari al 76% e pareti e soffitto bianche con coefficiente di riflessione pari al 77%.

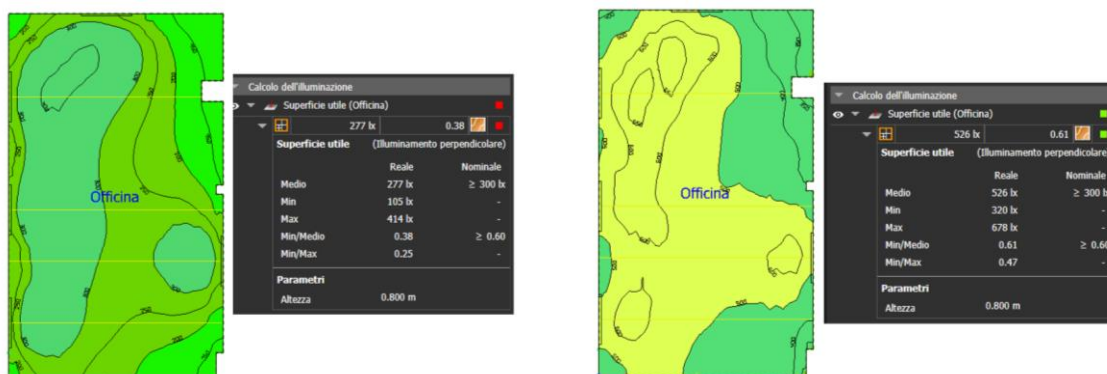


Figura 19: Stralcio del progetto: confronto dei risultati al variare dei materiali impostati per i locali

Fonte: DIALux Evo

Come si evince dai risultati e dalle isolux⁴⁴, nel primo caso non si rispettano i requisiti minimi, ma prima di eseguire nuovamente i calcoli con differente corpo illuminante o posizionamento, è bene inserire i corretti materiali perché come si evince, già solo

⁴³ L'uniformità è pari al rapporto tra l'illuminamento medio presente nell'ambiente e il valore minimo.

⁴⁴ Un diagramma isolux è una rappresentazione grafica utilizzata in illuminotecnica per mostrare la distribuzione dell'illuminamento su una superficie. In questi diagrammi, i punti con lo stesso livello di illuminamento sono collegati da linee chiamate curve isolux. Questo tipo di diagramma è utile per visualizzare come la luce si distribuisce in un'area specifica, aiutando a progettare sistemi di illuminazione più efficienti e uniformi.

suddetta modifica, i requisiti minimi vengono raggiunti e il valore di illuminamento medio è abbondantemente superato. Ecco, quindi, quanto è importante la scelta dei materiali e dei colori e come essi possano influire sulla corretta realizzazione del progetto. Se si fossero lasciati i parametri di default, al non raggiungimento dei valori minimi prescritti dalla Normativa (300 lx di illuminamento medio e 0,6 di uniformità), si sarebbe optato per aumentare il numero di corpi illuminanti e/o la loro potenza, con il risultato che in fase di installazione il cliente avrebbe poi potuto incorrere in un discomfort visivo, senza considerare che ciò avrebbe anche portato verosimilmente ad un aumento dei costi di acquisto corpi illuminanti e di installazione.

La scelta dei corpi illuminanti alla base della progettazione è quindi principalmente frutto del rispetto dei requisiti normativi e delle necessità installative e dei costi che esse comportano.

Scelti i corpi illuminanti da installare, che per ogni ambiente rispettano i requisiti imposti dalla normativa di settore, si redige la seguente tabella che permette di avere una stima dei consumi annui espressi in kWh e, confrontandoli con i consumi ante intervento, permette di calcolare la percentuale di riduzione dei consumi.

Tabella 11: Stima sistema di illuminazione a LED conseguito dalla progettazione

Stima sistema di illuminazione a LED							
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Potenza [W]	Nr. Lampade	Potenza tot. [kW]	Ore/anno di funzionamento [h]	Stima consumo annuo [kWh]	Riduzione % dei consumi
Esterno	WLED POLAR 2 120W 4000K CRI>80 mod.RR	120,0	10	1,20	4300	5160	-72,7%
Parcheggio	WLED POLAR 1 68W 4000K CRI>80 mod.RR	68,0	7	0,48	4300	2047	-75,3%
Tettoia	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	13	0,61	3000	1833	-63,2%
Lavaggio	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	16	0,75	3000	2256	-70,5%
Officina	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	2	0,09	3000	282	-96,3%
Officina	WLED MIR 120W 4000K CRI>80 mod.S5 UGR<25	120,0	45	5,40	3000	16200	-69,3%
Gabbiotto Officina	WLED EVA HP 30W 4000K CRI>80 mod.LD	30,0	1	0,03	3000	90	-53,0%
Officina	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	5	0,24	3000	705	-26,3%
Spogliatoi e WC	WLED QUADRA HP 24W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19	24,0	7	0,17	2000	336	-29,3%
Spogliatoi e WC	WLED NUVOLA LED 20 SA 4000K LO 230V	20,0	3	0,06	2000	120	-49,5%
Mensa e Corridoio	WLED ZOE 65W 5125lm 4000K COLOR WHITE	65,0	6	0,39	2000	780	-49,1%

Stima sistema di illuminazione a LED							
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Potenza [W]	Nr. Lampade	Potenza tot. [kW]	Ore/anno di funzionamento [h]	Stima consumo annuo [kWh]	Riduzione % dei consumi
Magazzino	WLED EVA HP 70W 4000K CRI>80 mod.LD	70,0	14	0,98	3000	2940	-57,3%
Magazzino	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	4	0,19	3000	564	-26,3%
Locale Tecnico 1	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD	47,0	1	0,05	3000	141	-63,2%
Locale Tecnico 2	WLED EVA HP 70W 4000K CRI>80 mod.LD	70,0	1	0,07	3000	210	9,7%
Uffici	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19	32,0	27	0,86	3000	2592	-59,6%
Reception e Uff mag.	WLED QUADRA HP 27W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19	27,0	8	0,22	3000	648	-65,9%
Uffici	WLED STELLA 30W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19	30,0	7	0,21	3000	630	-47,6%
Corridoio Uffici	WLED STELLA 30W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19	30,0	9	0,27	3000	810	-47,6%
Hall	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19	26,0	11	0,29	3000	858	-54,5%
WC Uffici 1	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19	26,0	2	0,05	1000	52	-54,5%
WC Uffici 2	WLED QUADRA HP 24W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19	24,0	5	0,12	1000	120	-24,2%
Totale			204	12,72		39374	- 68,5%

Al fine di calcolare il corretto risparmio energetico è importante lasciare invariate le ore di funzionamento.

$$\text{Riduzione \% dei consumi} = 100 - \frac{\text{Consumo annuo}_{\text{post}}}{\text{Consumo annuo}_{\text{ante}}} \cdot 100$$

Dove:

- Consumo annuo_{post} è il nuovo consumo che si avrà con la lampada a LED individuata a seguito della progettazione (espresso in kWh);
- Consumo annuo_{ante} è il consumo che si ha con la lampada attualmente presente rilevata durante il sopralluogo (espresso in kWh);

Una corretta progettazione ha lo scopo di far conseguire un risparmio energetico dato non solo dal mero risparmio che si ottiene grazie alla tecnologia LED, bensì di riprogettare l'impianto e di eseguire, là dove è possibile, una sostituzione non puntuale di tutti i corpi illuminanti.

Confrontando le due tabelle (Tabella 8 e 11) e confrontando per ogni ambiente il numero di corpi illuminanti, si può notare come, in alcuni ambienti è stato possibile ridurne il

numero. Si passa infatti da 218 a 204 corpi illuminati. Tale riduzione dei corpi luminanti è frutto di una corretta e oculata progettazione. Dalla tabella si evince che grazie alla tecnologia LED, le potenze impiegate sono notevolmente inferiori; pertanto, a parità di ore di funzionamento, è possibile ottenere un risparmio energetico, ma il raggiungimento del 68,5% è anche grazie al numero inferiore di corpi illuminati.

Come detto, nella scelta dei corpi illuminati occorre rispettare anche i requisiti installativi mantenendo quanto più possibile l'impianto elettrico esistente, sfruttando soprattutto le linee blindo e/o le canaline. Solo se la posizione dei corpi illuminanti non consentirà i corretti valori di illuminamento, si prenderà in considerazione di effettuare modifiche all'impianto elettrico esistente. Durante la progettazione, inoltre, è necessario tenere conto della tipologia di installazione dei corpi illuminati, se a plafone, a parete o incassati nel controsoffitto. Se i requisiti illuminotecnici lo permetteranno, si opterà per corpi illuminanti a LED che richiedono la stessa tipologia di installazione. In questo modo i costi installativi riusciranno ad essere contenuti.

Nel caso specifico, in alcuni ambienti (hall e corridoio uffici), come desumibile dal confronto delle due tabelle (Tabella 8 e 11) non è stato possibile ridurre il numero di lampade perché ciò avrebbe comportato un aumento dei costi installativi; in quanto avrebbe implicato la chiusura di alcuni fori del controsoffitto liscio in cartongesso di alloggiamento delle lampade e il rifacimento dei suddetti per rendere più uniforme l'illuminazione. Invece, è stato possibile ridurre il numero di corpi illuminanti in altri ambienti di lavoro, quali la zona lavaggio e l'officina camion, grazie alla presenza di linea blindo (vedasi confronto tra le tabelle 8 e 11). Infatti, nella zona lavaggio, in cui vengono eseguiti i lavaggi dei macchinari a noleggio, il numero dei corpi illuminanti si è ridotto da 20 a 16. Ridurre ulteriormente il numero non avrebbe però permesso di raggiungere i requisiti normativi di uniformità; la maglia di lampade deve essere regolare, poiché solo in questo modo si può avere un illuminamento uniforme.

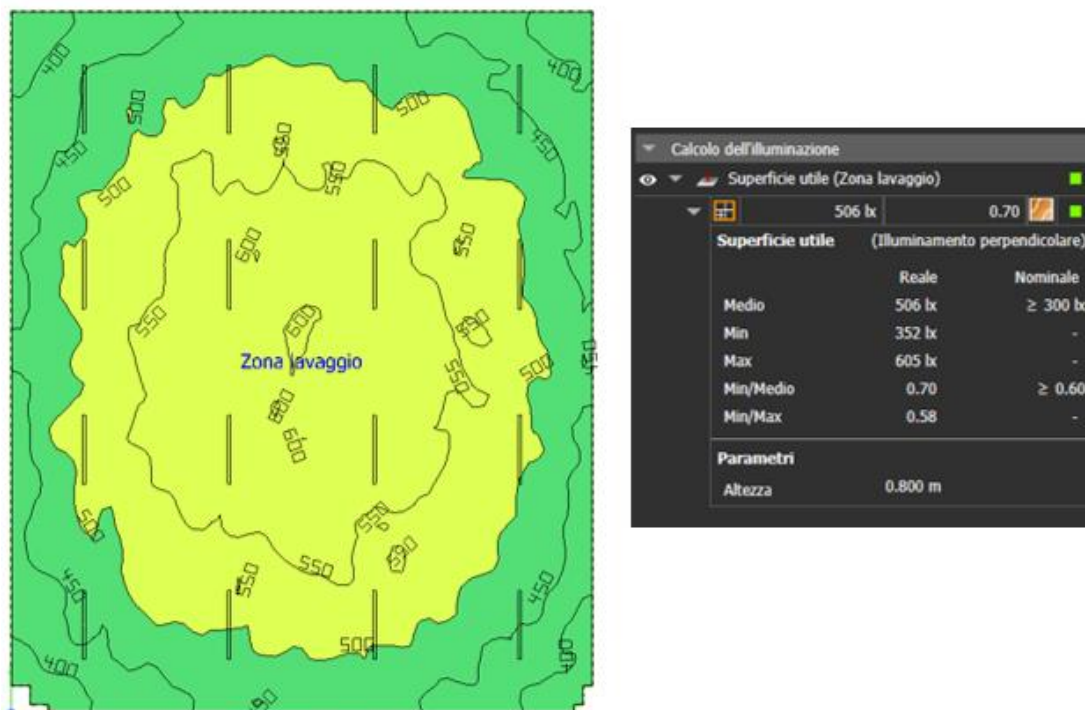


Figura 20: Stralcio del progetto: risultati ottenuti mediante ottimizzazione del numero lampade

Fonte: DIALux Evo

L'officina camion, invece, presentava due differenti tipologie di corpi illuminanti: 2 plafoniere stagne 2x58 W poste a parete (che sono state sostituite con 2 "WLED Eva HP" 47W), 18 plafoniere stagne 2x58 W e 40 proiettori JM 400 W sospesi in copertura. Al fine di uniformare la tipologia di corpi illuminati sospesi, si è scelto di sostituire le precedenti 58 lampade con 45 "WLED Mir" 120 W sfruttando i punti luce già esistenti dei proiettori agli ioduri metallici e le due linee blindo delle plafoniere stagne, in cui per ogni fila le 9 lampade stagne 2x58 W sono state sostituite da 4 "WLED Mir" da 120 W mantenendo la stessa maglia dei precedenti.

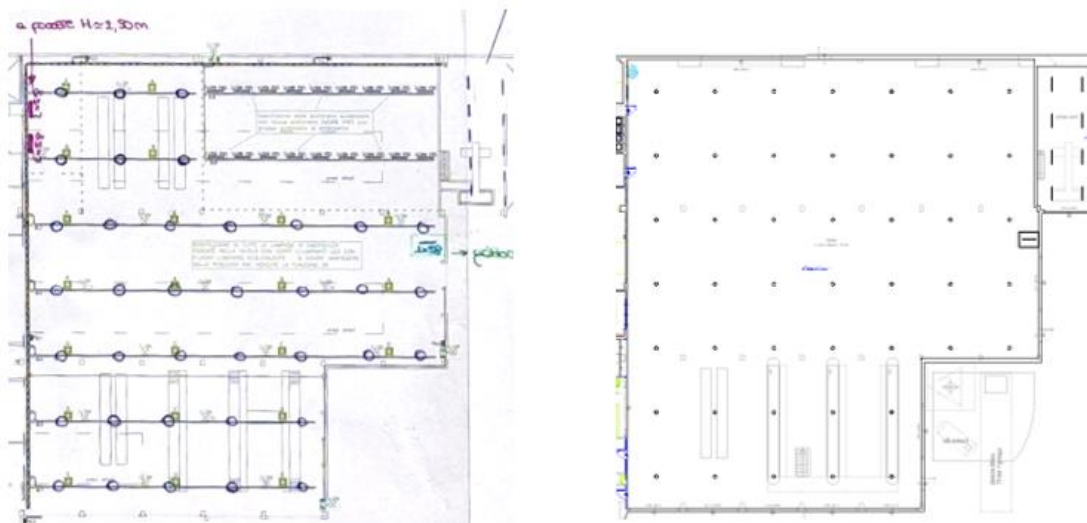


Figura 21: Stralcio del progetto: confronto disposizione corpi illuminanti tra rilievo e progettazione dell'officina

Fonte: DIALux Evo

Di seguito si riportano alcuni esempi delle scelte progettuali effettuate:

- Poiché quasi tutti gli uffici e i bagni presentavano un controsoffitto a pannelli 60x60 cm, si è scelto di sostituire le plafoniere ad incasso 4x18 W con LED panel delle medesime dimensioni. Si è fatta una sostituzione a uno a uno in ogni ufficio poiché il numero di lampade era adeguato e la potenza disponibile delle lampade a catalogo permetteva di raggiungere i valori desiderati, senza dover installare lampade dimmerabili che avrebbero comportato un aumento dei costi. In due uffici è stato però necessario, in fase installativa, spostare i corpi illuminanti più a centro stanza (sono stati spostati di un pannello) perché altrimenti non si sarebbe raggiunta la corretta uniformità come da progetto.
- Nella hall e nel corridoio uffici i corpi illuminati presenti erano invece ad incasso di forma circolare. Al fine di non dover intervenire sul controsoffitto, si è scelta una lampada con le medesime caratteristiche; queste, aventi lo stesso diametro delle precedenti, non hanno richiesto né di ampliare il foro né di inserire dei cerchi che compensassero il foro. Purtroppo, al fine di non chiudere fori e aprirne di nuovi non è stato possibile ridurre il numero di lampade, si è intervenuti

scegliendo quindi lampade con basse potenze e basso flusso luminoso, così da conseguire comunque un risparmio energetico.

La scelta dell'ottica invece è dettata da esigenze tecniche e normative. Poiché per alcuni modelli di lampade a LED, c'è una vasta disponibilità, si sceglie di offrire al cliente la migliore tipologia rapportata ad un prezzo congruo, a meno che non sia lui stesso a chiederne una tipologia maggiormente di design, ma con paritetiche caratteristiche tecniche. Per alcuni clienti si sono realizzati anche corpi illuminanti custom, ma non è questo il caso.

Per gli uffici, essendo presente un controsoffitto a pannelli, come detto, si è optato per dei led-panel di forma quadrata di lato 60 cm, ma al fine di garantire un elevato confort visivo, si è scelta un'ottica avente diffusore in policarbonato microprismatico antiabbagliamento e antiriflesso con UGR inferiore a 19 (vedere scheda tecnica allegata). Si desidera precisare che tutti i modelli di corpi illuminanti catalogati per uso negli uffici hanno UGR inferiore a 19, al fine di garantirne i requisiti normativi vigenti. Utilizzando lampade con UGR inferiore a 19, la verifica dell'UGR, come si evince, è quasi sempre verificata immediatamente e inferiore al valore limite, garantendo un elevato comfort visivo.

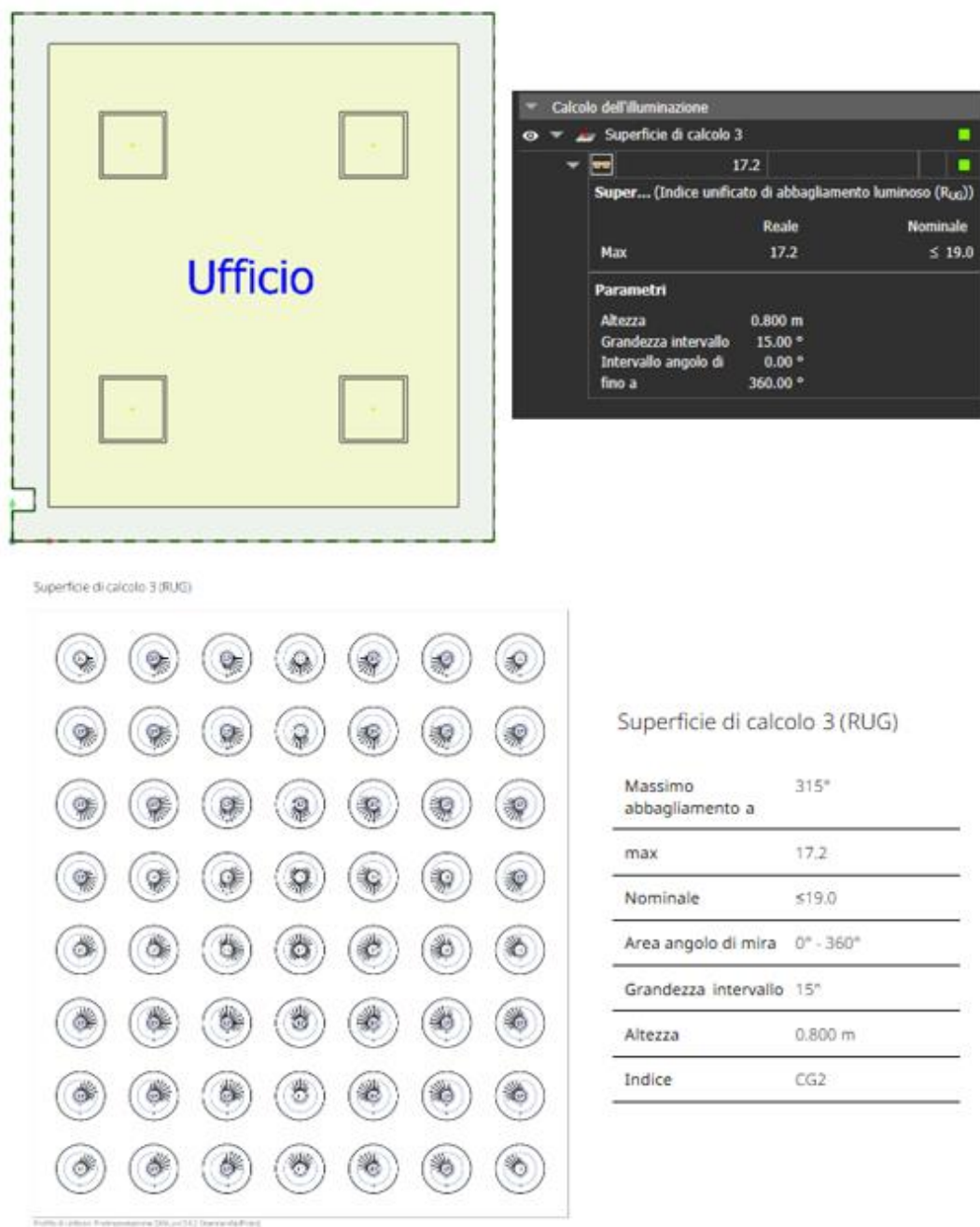


Figura 152: Stralcio del progetto: calcolo illuminotecnico di UGR per ufficio

Fonte: DIALux Evo

Per una visione dei risultati del progetto si rimanda all'allegato Tavola 3 – Risultati illuminotecnici edificio 1.

6.2.4 Offerta economico finanziaria

Sulla base dei dati rilevati e delle scelte progettuali si identifica l'analisi economica e finanziaria della situazione attuale e futura.

Come si evince dalla seguente tabella (Tabella 12), il cliente per l'illuminazione dell'intera sede sostiene una spesa annuale di energia elettrica di 37.539,17 € a seguito di un consumo di 125.130,50 kWh. Al costo energetico, si somma inoltre la spesa manutentiva annua di circa 1.300 €, quindi il costo sostenuto ogni anno per l'illuminazione ammonta a 38.924,96 €.

Grazie al relamping LED, la spesa manutentiva si annulla e il consumo di energia elettrica si riduce di circa tre volte, scendendo a 39.373,80 kWh; ne consegue quindi un risparmio dei consumi annuo di 85.756,70 kWh. Ciò porta, mantenendo i costi di energia al kWh invariati (pari a 0,30 €/kWh), a poco più di 11.812,14 € di bolletta energetica annua per la sola illuminazione.

Tabella 12: Business plan illuminazione a LED

Business plan illuminazione a LED	
Stima situazione attuale	
Potenza nominale impianto attuale	39,53 kW
Spesa energia elettrica annua	37.539,15 €
Consumo attuale annuo	125.130,50 kWh
Costo attuale di un Kwh	0,30 €
Costi di manutenzione annui	1.385,81 €
Aumento annuo costo energia	-
Stima soluzione con riqualificazione a LED	
Potenza futura nominale impianto	12,72 kW
Spesa futura energia elettrica annua	11.812,14 €
Consumo futuro annuo	39.373,80 kWh
Costo fornitura corpi illuminanti LED	21.835,03 €
Progettazione impianto e direzione lavori	2.396,37 €
Costo rimozione, smaltimento e installazione impianto	10.768,61 €
Costo Totale di rinnovamento	35.000,00 €

Il cliente per effettuare il relamping LED deve sostenere un costo pari a 35.000 € così suddiviso:

- 21.835 € ca. per la fornitura dei corpi illuminanti;
- 2.396 € ca. di progettazione e direzione lavori;
- 10.768 € ca. per l'installazione del nuovo impianto e la rimozione lo smaltimento dei vecchi corpi illuminati.

Gli importi di progettazione e direzione lavori sono stabiliti dallo studio esterno di progettazione previo progetto preliminare effettuato da Würth.

In merito all'importo relativo all'installazione invece, Würth richiede offerta ai suoi fornitori accreditati per la prestazione di mano d'opera mediante confronto concorrenziale.

Il cliente ha inoltre la possibilità di scegliere se finanziare o meno l'intera operazione, mediante noleggio operativo o Leasing.

Soluzione finanziaria di acquisto

Di seguito si mostra la stima della situazione di spesa che si avrebbe nei 10 anni successivi, qualora non si procedesse con l'intervento di relamping, supponendo che il costo energetico al kWh rimanga invariato ⁴⁵.

Tabella 13: Stima dei costi ad oggi sostenuti e per i successivi 10 anni

⁴⁵ Si è scelto di lasciare il costo kWh invariato non avendo a disposizione dati del futuro andamento dei prezzi di mercato per ovvi motivi.

Stima situazione attuale						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi manutenzione [€]	Totale costi [€]
1	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
2	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
3	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
4	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
5	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
6	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
7	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
8	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
9	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96
10	0,30	39,5	125.130,5	37.539,15	1385,81	38.924,96

Procedendo invece con il relamping LED, sostenuto il costo totale di rinnovamento senza finanziamento, il primo anno il cliente spenderà, comprensivo di bolletta energetica per l'illuminazione, un importo pari a 46.812,14 €.

Dal secondo anno, invece sosterrà solamente il costo della spesa energetica, pari a 11.812,14 €. Di conseguenza, dal momento che la sua spesa per l'energia elettrica annua prima di effettuare il relamping era di 38.924,96 €, il primo anno non avrà un guadagno, bensì una perdita di 7.877,18 €, ma dal secondo anno potrà invece, conseguire un cash flow di 27.112,82 € che, proiettato a 10 anni, mantenendo invariata la spesa €/kWh di 0,30, si traduce in un risparmio di 236.128,22 € (vedere Tabella 16).

Tabella 14: Business Plan di relamping LED con formula di acquisto

Finanziario	
Modalità di finanziamento	NESSUNO
Anticipo sul capitale da finanziare	-
Capitale da finanziare	35.000,00 €
Durata finanziamento anni	
Rata finanziamento annuale	-

Risultati stimati	
Risparmio da energia non acquistata in 10 anni	257.270,10 €
Risparmio dai costi di manutenzione in 10 anni	13.858,13 €
Risparmio medio mensile di energia e manutenzione	2.259,40 €
Riduzione percentuale dei consumi	-68,53%
Risparmio totale con costi di installazione in 10 anni	236.128,22 €

Tabella 15: Stima dei costi da sostenere a seguito del relamping LED con formula di acquisto

Stima situazione futura						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi rinnovamento [€]	Totale costi [€]
1	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	35.000,00	46.812,14
2	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
3	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
4	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
5	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
6	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
7	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
8	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
9	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
10	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14

Tabella 16: Stima dell'andamento economico e finanziario a seguito del relamping LED con formula di acquisto

Stima andamento economico finanziario				
Anno	Costi attuali [€]	Costi futuri [€]	Cash flow [€]	Guadagno [€]
1	38.924,96	46.812,14	- 7.887,18	- 7.887,18
2	38.924,96	11.812,14	27.112,82	19.225,64
3	38.924,96	11.812,14	27.112,82	46.338,46
4	38.924,96	11.812,14	27.112,82	73.451,29
5	38.924,96	11.812,14	27.112,82	100.564,11
6	38.924,96	11.812,14	27.112,82	127.676,93
7	38.924,96	11.812,14	27.112,82	154.789,75
8	38.924,96	11.812,14	27.112,82	181.902,58
9	38.924,96	11.812,14	27.112,82	209.015,40
10	38.924,96	11.812,14	27.112,82	236.128,22

Di seguito di riportano i valori presenti alla precedente tabella di guadagno cumulato e cash flow sottoforma di istogrammi.

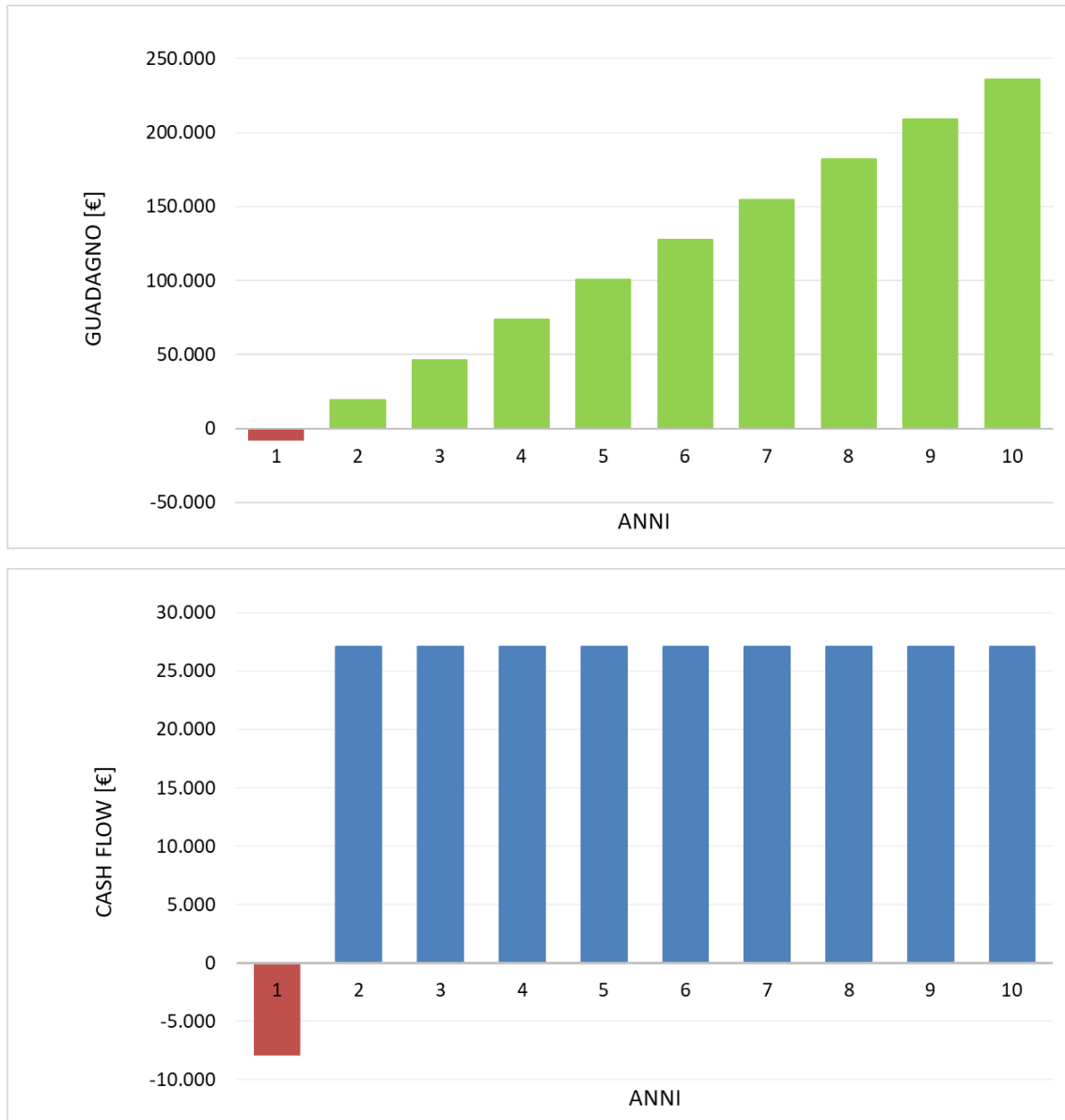


Figura 163: Stima dell'andamento economico e finanziario a 10 anni a seguito del relamping LED con formula di acquisto

Il metodo *VAN* può essere utilizzato per determinare e confrontare l'efficacia dei costi di diverse opzioni di investimento per la riqualificazione dell'edificio o di parte di esso. L'indicatore economico *Valore Attuale Netto (VAN)* o *Net Present Value (NPV)* rappresenta la differenza tra il valore attuale dei flussi di cassa in entrata generati da un

investimento e il valore attuale dei flussi di cassa in uscita (cioè, il costo dell'investimento).

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Dove:

- F_t è il flusso di cassa nel periodo di tempo t ;
- r è il tasso di sconto o rendimento richiesto o tasso di interesse reale;
- t è il periodo di tempo, pari a 10 anni;
- C_0 è il costo iniziale dell'investimento, pari a 35.000 €.

Se il VAN è maggiore di zero l'investimento è considerato vantaggioso, mentre se è minore di zero è preferibile evitarlo. Se il VAN è pari a zero, è in pareggio: si recupera esattamente il capitale investito con il rendimento richiesto. Le opzioni di retrofit con VAN positivo sono convenienti perché la somma dei ricavi è superiore alla somma dei costi attualizzati (compreso il costo di investimento C_0 al tempo zero) nel periodo di valutazione.

Il flusso di cassa F_t è pari alla somma di due componenti:

- la differenza tra la spesa dell'energia elettrica annua sostenuta prima dell'intervento (37.539,15 €) e quella che si continuerà a pagare per i futuri 10 anni a seguito del relamping (11.812,14 €);
- la spesa della manutenzione dell'impianto (1.385,81 €) che il cliente sostiene non avendo in impianto a LED.

Il flusso di cassa F_t è quindi pari a 27.112,82 €

$$F_t = (37.539,15 - 11.812,14 + 1.385,81)€ = 27.112,82 €$$

Il tasso di interesse reale r è calcolabile mediante la formula:

$$r = \frac{r_m - r_{in}}{1 + r_{in}}$$

Dove:

- r_m è il tasso di interesse di mercato, è il tasso concordato dal prestatore. E' il valore medio atteso del tasso di interesse nel periodo di calcolo;
- r_{in} è il tasso di inflazione che prende in considerazione il deprezzamento annuale della valuta. E' ottenuto o stimato dai dati economici disponibili in un periodo di calcolo medio.

Entrambe le tariffe possono variare in base all'anno, ma di solito vengono mantenute costanti. Un tasso di interesse più elevato, in genere superiore al 4%, escludendo l'inflazione, rifletterebbe un approccio puramente commerciale e a breve termine nella valutazione degli investimenti. Un tasso di interesse più basso, compreso tra il 2% e il 4%, escludendo l'inflazione, rifletterebbe i benefici che si potrebbero ottenere dagli investimenti in efficienza energetica per l'intera durata dell'investimento.

Al fine di stimare il corretto tasso di interesse reale, si è stimato il tasso di inflazione, calcolando la media del tasso di inflazione medio annuo degli ultimi 20 anni:

Tabella 17: Tasso di inflazione medio annuo degli ultimi 20 anni

Fonte: <https://www.assolombarda.it/servizi/informazioni-economiche/informazioni/andamento-dellinflazione>

Tasso di inflazione			
Anno	Media annua [%]	Anno	Media annua [%]
2025	1.7%	2014	0.2%
2024	1%	2013	1.2%
2023	5.7%	2012	3.0%
2022	8%	2011	2.7%
2021	1.9%	2010	1.5%
2020	- 0.2%	2009	0.8%
2019	0.6%	2008	3.3%
2018	1.2%	2007	1.8%
2017	1.2%	2006	2.1%
2016	- 0.1%	2005	1.9%
2015	0.1%		

Pertanto, il valore medio r_{in} è pari a 1,985%.

Considerando ragionevolmente a favore di sicurezza un tasso di interesse di mercato r_m del 4%, il tasso di interesse reale risulta essere pari al 3%:

$$r = \frac{0,04 - 0,01985}{1 + 0,01985} = 0,02015 \cong 2\%$$

Di conseguenza il *VAN* a 10 anni, ossia il valore attualizzato sottratto al costo iniziale dell'investimento C_0 di 35.000,00 € è pari a 208.352,20 € come da calcoli riportati nella seguente tabella:

Tabella 18: Calcolo del Valore Attuale Netto *VAN* per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	C_0 [€]	F_t [€]	VAN cumulado [€]
1	0.02	35.000	27.112,82	- 8.422,71
2	0.02		27.112,82	17.629,62
3	0.02		27.112,82	43.167,37
4	0.02		27.112,82	68.200,70
5	0.02		27.112,82	92.739,57
6	0.02		27.112,82	116.793,75
7	0.02		27.112,82	140.372,81
8	0.02		27.112,82	163.486,13
9	0.02		27.112,82	186.142,93
10	0.02		27.112,82	208.352,20

Il *Tasso Interno di Rendimento*, *TIR* o *Internal Rate of Return (IRR)* è il tasso di interesse che determina il rendimento del capitale investito nel periodo di valutazione. E' il reale tasso di interesse per il quale il *Valore Attuale Netto* è nullo:

$$TIR = r \mid VAN = 0$$

$$0 = -C_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Considerando i flussi di cassa F_t riportati in Tabella 18 e utilizzando la funzione di Excel per il calcolo del *TIR*, si ottiene che il *Valore Attuale Netto* è nullo per un *TIR* pari al 77%.

Nel metodo *VAN (Valore Attuale Netto)*, il *Periodo di rimborso scontato*, noto in inglese come *Discounted Payback Period DPP* rappresenta il numero di anni necessari affinché i flussi di cassa attualizzati ripaghino l'investimento iniziale.

$$DPP = n \mid VAN = 0$$

È una variante del periodo di recupero (*Payback Period*), ma tiene conto del valore temporale del denaro.

Il *DPP* è il primo anno in cui il *VAN* cumulato dei flussi di cassa scontati supera l'investimento iniziale, pertanto è pari a 2.

Il *Valore Equivalente Annuo AEV* è un importo annuo uniforme che, sommato nel periodo di analisi, è uguale al valore netto totale del progetto. L'*AEV* viene utilizzato per confrontare le opzioni di investimento in cui il ciclo naturale di sostituzione non può essere facilmente correlato direttamente al periodo di analisi.

$$AEV = \frac{VAN}{f_{pv}(t)} = VAN \cdot a(t)$$

Dove:

- $f_{pv}(t)$ è il fattore di valore attuale;
- $a(t)$ è il fattore di rendita.

$$f_{pv}(t) = \frac{1}{a(t)} = \frac{(1+r)^{t-1}}{r(1+r)^t}$$

Tabella 19: Calcolo del Valore Equivalente Annuale AEV per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	VAN cumulato [€]	AEV cumulate [€]
1	0.02	- 8.422,71	- 8.592,43
2	0.02	17.629,62	9.082,12
3	0.02	43.167,37	14.972,86
4	0.02	68.200,70	17.917,64
5	0.02	92.739,57	19.684,04
6	0.02	116.793,75	20.861,25
7	0.02	140.372,81	21.701,78
8	0.02	163.486,13	22.331,89
9	0.02	186.142,93	22.821,71
10	0.02	208.352,20	23.213,33

Il Controvalore Annuo (AEV) al termine dei 10 anni è pari a 23.213,33 €.

Soluzione finanziaria di noleggio operativo

Se il cliente opterà invece per una soluzione di finanziamento, questo potrà essere dilazionato in un periodo di durata massima di 3 anni.

Se si optasse per un noleggio operativo dell'intero importo da finanziare della durata di 2 anni con tasso di interesse del 8,65%, si verrebbe a configurare una rata annua pari a 19.801,90 €. L'investimento non sarà più pari a 35.000 € bensì sarà di 39.603,80 €.

Non essendo necessario un anticipo, ma potendo finanziare l'intera somma, tale operazione è autofinanziante e, porterebbe a 10 anni al conseguimento di un risparmio di 231.524,43 €.

Ovviamente, il noleggio operativo, a causa degli oneri finanziari, comporta, rispetto al caso di acquisto diretto, un deficit di risparmio a 10 anni pari a 4.603,79 € (il risparmio a 10 anni per la soluzione di acquisto è pari a 236.128,22 €), ma al contempo permette fin dal primo anno di aver un cash flow, essendo il costo annuo da dover sostenere (rata di finanziamento e bolletta energetica) inferiore all'attuale spesa sostenuta.

Tabella 20: Business Plan di relamping LED con formula di noleggio operativo a 2 anni

Finanziario	
Modalità di finanziamento	NOLEGGIO
Anticipo sul capitale da finanziare	-
Capitale da finanziare	35.000,00 €
Durata finanziamento anni	2
Rata finanziamento annuale	- 19.801,90 €
Risultati stimati	
Risparmio da energia non acquistata in 10 anni	257.270,10 €
Risparmio dai costi di manutenzione in 10 anni	13.858,13 €
Risparmio medio mensile di energia e manutenzione	2.259,40 €
Riduzione percentuale dei consumi	-68,53%
Risparmio totale con costi di installazione in 10 anni	231.524,43 €

Tabella 21: Stima dei costi da sostenere a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

Stima situazione futura						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi rinnovamento [€]	Totale costi [€]
1	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	19.801,90	31.614,04
2	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	19.801,90	31.614,04
3	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
4	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
5	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
6	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
7	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
8	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
9	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14
10	0,30	12,7	39.373,8	11.812,14	-	11.812,14

Per i primi due anni, in cui è in vigore il noleggio operativo, si dovrà sostenere una spesa pari a 31.614,04 €, data della spesa energetica di 11.812,14 € a cui si sommano i costi di rinnovamento (comprensivi degli oneri di sistema) per un importo di 19.801,90 €; ma, come detto, essendo l'importo inferiore al costo attualmente sostenuto di 38.924,96 € (somma della spesa energetica e dei costi di manutenzione), si avrà un risparmio anche

durante il periodo di sottoscrizione del contratto di noleggio. Per i primi due anni sarà possibile avere un cash flow pari a poco più di 7.000 €.

Dal terzo anno, conclusosi il noleggio operativo, e divenuto proprietario dei corpi illuminanti, si raggiungerà il valore massimo di risparmio economico, pari a 27.112,82 € (dato dalla differenza tra spesa attuale e futura spesa energetica). Il cliente dovrà solamente sostenere a spesa dell'energia elettrica, pari a 11.812,14 €, mantenendo invariata la spesa €/kWh di 0,30.

Pertanto, per i primi 2 anni, essendo i costi sostenuti annualmente inferiori ai costi ante relamping (31.614,04 € contro 38.924,96 €), il cliente potrà conseguire un risparmio annuo di 7.310,92 €. Dal terzo anno invece, il cash flow aumenterà grazie al saldo del finanziamento e sarà pari a 27.112,82 €.

Tabella 22: Stima dell'andamento economico e finanziario a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

Stima andamento economico finanziario				
Anno	Costi attuali [€]	Costi futuri [€]	Cash flow [€]	Guadagno [€]
1	38.924,96	31.614,04	7.310,92	7.310,92
2	38.924,96	31.614,04	7.310,92	14.621,85
3	38.924,96	11.812,14	27.112,82	41.734,67
4	38.924,96	11.812,14	27.112,82	68.847,49
5	38.924,96	11.812,14	27.112,82	95.960,32
6	38.924,96	11.812,14	27.112,82	123.073,14
7	38.924,96	11.812,14	27.112,82	150.185,96
8	38.924,96	11.812,14	27.112,82	177.298,78
9	38.924,96	11.812,14	27.112,82	204.411,61
10	38.924,96	11.812,14	27.112,82	231.524,43

Proiettando a 10 anni tale investimento sarà possibile conseguire un risparmio di 231.524,43 €.

I valori riportati nella precedente tabella, relativi al guadagno cumulato e al cash flow, sono di seguito rappresentati graficamente.

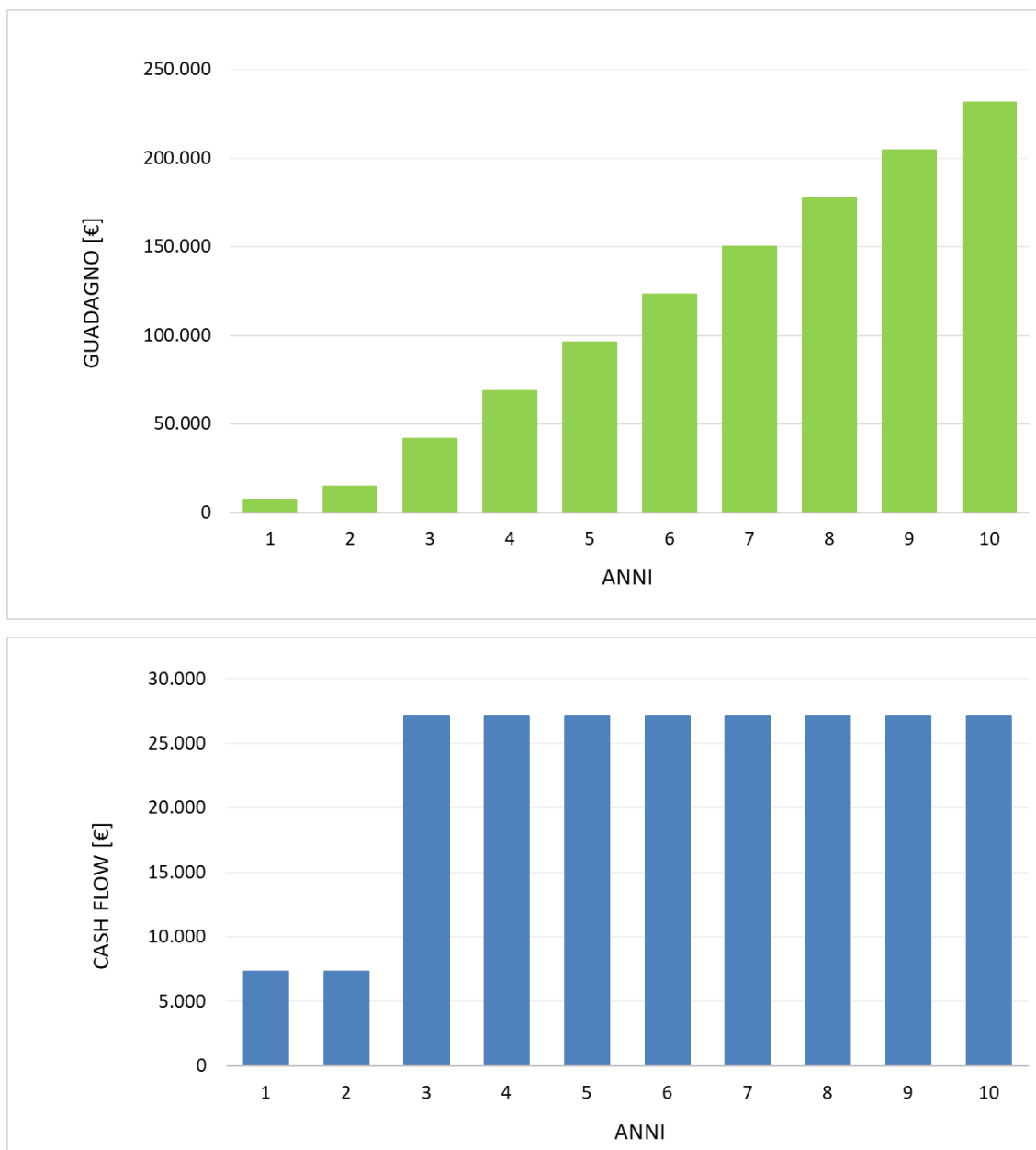


Figura 174: Stima dell'andamento economico e finanziario a 10 anni a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

L'investimento iniziale, in questo caso, non è più pari a 35.000 €, bensì è pari a 19.801,90 € per il primo e il secondo anno in cui vige il noleggio operativo.

Di conseguenza, mantenendo invariato il tasso di interesse reale r al 2%, a 10 anni si ottiene un *Valore Attuale Netto (VAN)* inferiore di 4.603,79 € rispetto al caso precedente; infatti, come si evince dalla tabella seguente, il *VAN* in questo caso è pari a 203.748,41 €.

Tabella 23: Calcolo del Valore Attuale Netto VAN per un investimento a 10 anni con formula di noleggio operativo a 2 anni

Anno	r [-]	C ₀ [€]	F _t [€]	VAN cumulato [€]
1	0.02	19.801,90	27.112,82	- 13.026,51
2	0.02	19.801,90	27.112,82	13.025,83
3	0.02		27.112,82	38.563,58
4	0.02		27.112,82	63.596,91
5	0.02		27.112,82	88.135,78
6	0.02		27.112,82	112.189,96
7	0.02		27.112,82	135.769,02
8	0.02		27.112,82	158.882,34
9	0.02		27.112,82	181.539,14
10	0.02		27.112,82	203.748,41

Il Tasso Interno di Rendimento, *TIR* o *Internal Rate of Return (IRR)* è il tasso di interesse che determina il rendimento del capitale investito nel periodo di valutazione. E' il reale tasso di interesse per il quale il *Valore Attuale Netto* è nullo:

$$TIR = r \mid VAN = 0$$

Considerando i flussi di cassa F_t riportati nella precedente tabella e utilizzando la funzione di Excel per il calcolo del *TIR*, si ottiene che il *Valore Attuale Netto* è nullo per un *TIR* pari al 52%.

Nel metodo *VAN (Valore Attuale Netto)*, il *Periodo di rimborso scontato*, noto in inglese come *Discounted Payback Period DPP* rappresenta il numero di anni necessari affinché i flussi di cassa attualizzati ripaghino l'investimento iniziale. Il *DPP* è il primo anno in cui il *VAN* cumulato dei flussi di cassa scontati supera l'investimento iniziale.

$$DPP = n \mid VAN = 0$$

Anche in questo caso, il *Discounted Payback Period* è pari a 2.

Il *Valore Equivalente Annuo AEV* è un importo annuo uniforme che, sommato nel periodo di analisi, è uguale al valore netto totale del progetto. L'*AEV* viene utilizzato per

confrontare le opzioni di investimento in cui il ciclo naturale di sostituzione non può essere facilmente correlato direttamente al periodo di analisi.

Applicando la formula come nel precedente paragrafo, si ottiene che il *Controvalore Annuo (AEV)* al termine dei 10 anni è pari a 22.700,41 €. Vedasi tabella seguente.

Tabella 24: Calcolo del Valore Equivalente Annuale AEV per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	VAN cumulado [€]	AEV cumulate [€]
1	0.02	- 13.026,51	- 13.288,99
2	0.02	13.025,83	6.710,42
3	0.02	38.563,58	13.376,01
4	0.02	63.596,91	16.708,14
5	0.02	88.135,78	18.706,89
6	0.02	112.189,96	20.038,94
7	0.02	135.769,02	20.990,03
8	0.02	158.882,34	21.703,02
9	0.02	181.539,14	22.257,27
10	0.02	203.748,41	22.700,41

Come si evince dai risultati ottenuti, l'investimento è vantaggioso in entrambi i casi; in quanto il *Valore Attuale Netto - VAN* è positivo e l'investimento ha un *Periodo di Rimborso Scontato - DPP* di due anni, sia che si decida di adottare la soluzione finanziaria di acquisto o di noleggio a due anni.

Ovviamente, nel primo caso il *Tasso Interno di Rendimento - TIR* nel primo caso è superiore del 25% (77% per acquisto contro 52% per noleggio a due anni) poiché, nel caso di acquisto sono assenti gli oneri finanziari e quindi l'investimento ha un importo inferiore.

La migliore opzione di retrofit è quella che ha il *VAN* più alto e il *DPP* più basso, ecco quindi che la soluzione di acquisto è la più vantaggiosa in termini economici, perché a parità di *DPP*, ha un *VAN* superiore di 4.603,79 € (*VAN* pari a 208.352,20 € per la soluzione di acquisto contro *VAN* di 203.748,41 € per noleggio a due anni).

6.2.5 Analisi ambientale

Grazie al suddetto intervento, mediante la tecnologia a LED, si avrà un risparmio di energia annuo pari a 85.756,70 kWh.

In Italia, a seguito del mix energetico nazionale ⁴⁶, le emissioni di anidride carbonica sono circa pari a 0,255 kg/kWh ⁴⁷.

Pertanto, il risparmio di energia annuo conseguito da parte del cliente grazie all'intervento di relamping, corrisponde a 21,87 tonnellate di anidride carbonica non immesse.

$$M_{CO_2}[\text{ton}] = \frac{\text{consumi risparmiati [kWh]} \cdot 0,255 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}}{1000}$$

Un albero adulto può assorbire tra 25 e 100 kg di CO₂ all'anno ⁴⁸. Per compensare una tonnellata di CO₂ all'anno, servono circa dai 10 ai 40 alberi, a seconda della specie e delle condizioni ambientali.

Se si considera, che un albero adulto può compensare 50 kg di anidride carbonica, le 21,87 tonnellate di anidride carbonica non immesse (derivanti dai 85.756,70 kWh risparmiati di energia) equivalgono al lavoro svolto annualmente da 437 alberi.

$$\text{n° alberi} = \frac{\text{consumi risparmiati [kWh]} \cdot 0,255 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}}{50 \text{ kg}}$$

⁴⁶ Il mix energetico italiano per l'anno 2024 secondo i dati pubblicati dal GSE si compone come segue:

Fonte energetica	Percentuale (%)	Energia immessa (TWh)
Fonti rinnovabili	51,83%	118,44 TWh
Gas naturale	42,01%	96,01 TWh
Carbone	1,52%	3,46 TWh
Prodotti petroliferi	0,47%	1,06 TWh
Altre fonti	4,17%	9,53 TWh
Nucleare	0%	—

Fonte: <https://www.gse.it/servizi-per-te/news/fuel-mix-pubblicata-la-composizione-del-mix-energetico-per-l-anno-2024>

⁴⁷ Fonte: <https://finestrainformativa.com/biblioteca/articolo/read/42147-come-si-calcola-la-co2-equivalente>

⁴⁸ Fonte: <https://www.xclimate.net/blog/quanta-co2-assorbe-un-albero/>

Se si vuole interpretare diversamente lo stesso valore, un campo da calcio alberato (con circa 200 alberi) può assorbire tra le 5 e le 10 tonnellate di CO₂ all'anno ⁴⁹, a seconda delle specie. Quindi per compensare 100 tonnellate di CO₂, servirebbero tra i 10 e i 20 campi da calcio pieni di alberi.

In questo caso, le 21,87 tonnellate di CO₂, corrispondono alla non emissione di 2 - 4 campi da calcio a seconda della densità e del tipo di alberi presenti.

⁴⁹ Fonte: <https://www.figc.it/it/federazione/news/presentato-il-uefa-carbon-footprint-calculator-il-calcolatore-ufficiale-per-il-calcolo-delle-emissioni-prodotte-dalle-attivita0-calcistiche/>

6.3 Progetto edificio 2 - società di trasporti e logistica

6.3.1 Introduzione

Il cliente interessato al relamping LED è un'azienda multinazionale del settore logistica e trasporti che offre soluzioni versatili e affidabili per il trasporto terrestre, marittimo e aereo, rispondendo con precisione alle diverse necessità della supply chain dei clienti. L'azienda collabora da anni con il Würth Group, fornendo, insieme ad altri competitor, servizi di trasporto internazionale e nazionale tra le varie sedi logistiche del gruppo. Venendosi a creare questa sinergia tra le società, non è un caso che da anni ci sia una collaborazione anche in merito al relamping delle varie sedi sul suolo italiano. Ultimo progetto portato a termine nel 2024 riguarda un hub logistico di discrete dimensioni (oltre 25.000 mq) sito in Nord Italia. La presente tesi analizzerà quindi suddetto progetto, in quanto di maggior valore economico. Al fine di comprendere la bontà dell'investimento si vedranno due soluzioni: acquisto e noleggio operativo.

6.3.2 Analisi tecnica dello stato di fatto

Al fine di redigere il progetto, si è rilevato lo stato di fatto dell'intero sito mediante sopralluogo, come da prassi. Il sito oggetto dell'intervento in questione è composto da due capannoni, comunicanti mediante un passaggio coperto, e annesse palazzine uffici (vedere allegato Tavola 4 - Stralcio planimetrico edificio 2 in scala 1:200).

Il rilievo è consistito nell'annotazione delle varie tipologie di lampade esistenti (potenza, dimensione, grado IP, ecc.), delle altezze di fissaggio di quest'ultime, delle altezze dei locali dei vari corpi di fabbrica, della tipologia dei soffitti, dell'impianto elettrico (il magazzino è alimentato mediante linee blindo), delle destinazioni d'uso dei vari ambienti e degli eventuali ingombri, quali ad esempio gli scaffali, gli arredi degli uffici, i macchinari fissi di elevate dimensioni (nastro trasportatore presente per l'etichettatura dei pacchi).

Trattandosi di un hub logistico, entrambi i capannoni sono adibiti a magazzino di stoccaggio di prodotti di spedizione di vario genere, accatastati principalmente su scaffali alti quasi quanto l'edificio: 8 metri contro i 9,8 metri di altezza interna dell'edificio.

Entrambi i lati longitudinali (lato nord e lato sud) dei due capannoni sono muniti di vari portelloni di carico e scarico materiale mediante camion, anch'esse oggetto di relamping. I portelloni di carico del lato nord sono coperti da una tettoia in cemento armato prefabbricato, posta ad una altezza 4,5 metri dal pavimento, alla quale sono fissate delle lampade stagne. I portelloni di carico del lato sud, diversamente da quelli nord, non sono coperti e sono illuminati solamente grazie ad un'illuminazione esterna perimetrale e da quella interna del magazzino.

L'area interna del magazzino non è allestita unicamente con scaffali: tra i portoni di carico della zona sud e le file di scaffali, vi è un'area aperta in cui i prodotti sono stoccati su bancali a terra. Infine, entrambi i capannoni, presentano sul lato sud una palazzina uffici composta da tre piani fuori terra oggetto anch'essi dell'intervento di relamping.

La copertura dei due capannoni è in cemento armato prefabbricato precompresso con una altezza tra pavimento e intradosso soletta di metri 9,8. Gli uffici presentano invece soffitti di altezza metri 3 dal pavimento e sono composti da pannelli in cartongesso 60x60 cm.

Oggetto dell'intervento è anche l'illuminazione di emergenza dei magazzini, ma non della zona uffici; quindi, per tale zona è stato effettuato il rilievo della sola illuminazione ordinaria.

Lo stabilimento ha un impianto di emergenza gestito mediante gruppo di continuità detto anche UPS ⁵⁰ e le lampade adibite all'emergenza sono lampade al neon stagne dedicate, collegate alla linea blindo, che alimenta anche la linea di illuminazione ordinaria.

Infine, dal rilievo, è emersa la presenza di lampade al neon, di proiettori agli ioduri metallici e di proiettori stradali SAP per la zona esterna. Per una visione del rilievo si rimanda all'allegato Tavola 5 - Stralcio del rilievo edificio 2.

⁵⁰ UPS (acronimo di Uninterruptible Power Supply, letteralmente "fornitura di energia ininterrottibile", è un'apparecchiatura elettronica utilizzata per ovviare a repentine anomalie nella fornitura di energia elettrica normalmente utilizzata.

In tabella si riporta lo stato di fatto, suddiviso per ambienti con indicazione della tipologia e numero delle lampade, della potenza, delle ore di funzionamento stimate su indicazione del committente.

Tabella 25: Stima stato attuale sistema di illuminazione del cliente

Stima stato attuale sistema di illuminazione								
Rilievo / Dati forniti dal committente						Dati ricavati dai calcoli		
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Tipologia lampada ⁵¹	Potenza [W]	Nr. Lampade	Ore/anno di funzionamento [h]	Potenza tot. [kW]	Stima consumo annuo [kWh]	Stima costo manutenzione annua [€]
Magazzino A	Proiettore JM 400 W	JM	440	133	3300	58,52	193116	1.755,60
Locali. Carica batt	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	14	3300	1,79	5895	57,75
Loc. Ristoro	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	3300	0,32	1045	19,47
WC	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	3000	0,32	950	17,70
Magazzino B	Proiettore JM 400 W	JM	440	143	3300	62,92	207636	1.887,60
Loc. Carica batt	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	14	3300	1,79	5895	57,75
Loc. Ristoro	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	3000	0,32	950	17,70
WC	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	1000	0,32	317	5,90
Magazzino C	Proiettore JM 400 W	JM	440	146	3300	64,24	211992	1.927,20
Loc. Carica batt	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	14	3300	1,79	5895	57,75
Loc. Ristoro	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	3000	0,32	950	17,70
WC	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	1000	0,32	317	5,90
Deposito PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	2500	0,08	198	3,69
Corridoio PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	6	2500	0,48	1188	22,13
AntiWC PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	12	1000	0,95	950	17,70
WC PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	9	1000	0,71	713	13,28
Spogliatoi PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	10	2500	0,79	1980	36,88
Uffici 2 PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	2500	0,32	792	14,75

⁵¹ Si riporta la legenda del tipo di lampada.

Legenda tipo lampada

FLUO	Lampada fluorescente
ALO	Lampada alogena
DICR	Lampada dicroica
SAP	Sodio alta press.
MER	Vapori di mercurio
LED	Light emitting diode
INC	Lampada ad incandescenza
JM	Ioduri metallici

Stima stato attuale sistema di illuminazione								
Rilievo / Dati forniti dal committente						Dati ricavati dai calcoli		
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Tipologia lampada	Potenza [W]	Nr. Lampade	Ore/anno di funzionamento [h]	Potenza tot. [kW]	Stima consumo annuo [kWh]	Stima costo manutenzione annua [€]
WC disabili PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	1000	0,08	79	1,48
Ingresso PT A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	8	2500	0,46	1144	30,00
WC PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	2	1000	0,16	158	2,95
Loc Tec PT A+B	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	1	1000	0,13	128	1,25
Ufficio 1 PT A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	2500	0,32	792	14,75
Archivio P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	11	2500	0,87	2178	40,56
WC P1 A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	1	1000	0,06	57	1,50
WC P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	1000	0,08	79	1,48
WC disabili P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	1000	0,08	79	1,48
Corridoio P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	2	2500	0,16	396	7,38
Corridoio P1 A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	3	2500	0,17	429	11,25
Ufficio 1-6 P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	18	2500	1,43	3564	66,38
Corridoio P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	3	2500	0,24	594	11,06
Loc Tec P1 A+B	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	2	1000	0,26	255	2,50
WC disabili P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	1000	0,08	79	1,48
WC P1 A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	1	1000	0,06	57	1,50
WC P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	1	1000	0,08	79	1,48
Break 1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	3	2500	0,24	594	11,06
Archivio P1 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	3	2500	0,24	594	11,06
Uffici P2 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	34	2500	2,69	6732	125,38
WC P2 A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	2	1000	0,11	114	3,00
WC P2 A+B	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	4	1000	0,32	317	5,90
Loc Tec P2 A+B	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	2	1000	0,26	255	2,50
Corridoio P2 A+B	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	3	2500	0,17	429	11,25
Loc Tec PT C	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	1	1000	0,13	128	1,25
Corridoio +Uff PT C	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	7	2500	0,55	1386	25,81
SpoglWC+WC PT C	Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	15	1000	1,19	1188	22,13
Esterno	Proiettore JM 400 W	JM	440	28	4300	12,32	52976	481,60
Banchine	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	129	3000	16,46	49381	483,75
Tettoia	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	3	3000	0,38	1148	11,25
CT+CAB EL	Plafon stagna 2X58 W	FLUO	127,6	7	1000	0,89	893	8,75
Scale + Ingresso	Faretto incasso 2X26 W	FLUO	57,2	11	2000	0,63	1258	33,00

Stima stato attuale sistema di illuminazione								
Rilievo / Dati forniti dal committente						Dati ricavati dai calcoli		
Ambiente - Locale	Descrizione lampada	Tipologia lampada	Potenza [W]	Nr. Lampade	Ore/anno di funzionamento [h]	Potenza tot. [kW]	Stima consumo annuo [kWh]	Stima costo manutenzione annua [€]
Vialetto	Plafoniera 1X55 W	FLUO	60,5	6	4300	0,36	1561	32,25
Totale				849		237,90	769885	7.404,82

Come si evince dalla tabella, è stato possibile stimare il “consumo annuo” di ogni lampada, grazie al prodotto tra la potenza della lampada e le ore di funzionamento annuo della lampada stessa.

$$\text{Consumo annuo[kWh]} = \text{Potenza[kW]} \cdot \text{Ore di funzionamento annuo[h]}$$

Infine, la stima del “costo di manutenzione annua” è una stima prudenziale basata sul life time delle lampade, a seconda della tipologia, parametrizzata sulle ore di funzionamento. La “durata” delle ore di funzionamento delle lampade è derivante dai datasheet dei maggiori produttori.

$$\text{Costo annuo manutenzione[€]} = \frac{\text{Ore funzionamento[h]}}{\text{Durata[h]} \cdot \text{Totale costo[€]}} \text{Numero lampade}$$

Il costo totale, invece, è dato dalla somma del costo medio di mercato dei ricambi e del costo di manodopera programmata per la sostituzione dello stesso. Il suddetto importo dipende principalmente dalla quota a cui sono ubicate le lampade. Si stima un costo pari a € 5,00 qualora la lampada sia raggiungibile mediante scala, pari a € 30,00, se necessaria PLE.

$$\text{Totale costo[€]} = \text{costo ricambi[€]} + \text{costo manodopera[€]}$$

Per ogni tipologia di lampada presente, ai fini del calcolo del “costo di manutenzione annua”, si tenga conto della seguente tabella:

Tabella 26: Estratto dei costi di manutenzione per ogni tipologia di corpo illuminante

Descrizione	Tipo lampada	Potenza [W]	Durata [h]	Costo dei ricambi [€]	Costo Manodopera [€]	Totale Costo [€]
Proiettore JM 400 W	JM	440	15000	30,00	30,00	60,00
Proiettore JM 250 W	JM	275	15000	30,00	30,00	60,00
Plafoniera stagna 1X58 W	FLUO	63,8	8000	2,50	5,00	7,50
Plafoniera stagna 2X58 W	FLUO	127,6	8000	5,00	5,00	10,00
Plafoniera 4X18 W	FLUO	79,2	8000	6,80	5,00	11,80
Plafoniera 2X18 W	FLUO	39,6	8000	3,40	5,00	8,40
Faretto da incasso 2X26 W	FLUO	57,2	8000	7,00	5,00	12,00

6.3.3 Progettazione

Le fasi progettuali dell'illuminazione ordinaria sono le stesse applicate per il progetto precedente. Grazie al software DIALux Evo, si è ricreato l'intero edificio in 3D, si sono posizionati i corpi illuminanti reputati idonei per portare il corretto apporto di luce, in funzione della destinazione d'uso, secondo normativa e si sono verificati i calcoli.

Per ogni ambiente interno si sono inseriti gli elementi strutturali quali tramezzi, pilastri, controsoffitti, ma anche finestre o scale. Inoltre, per ogni stanza si sono definiti i colori dei muri, dei pavimenti e del soffitto perché essi influiscono sul coefficiente di riflessione. Infine, per gli uffici si sono inseriti alcuni elementi di arredo, quali scrivanie, armadi, ecc., mentre per il magazzino si sono inseriti tutti gli scaffali divenendo così l'ambiente unico in varie zone: le corsie tra gli scaffali e le zone aperte.

In merito alla palazzina uffici, trattandosi di ambienti strutturalmente uguali a quelli del cliente precedente, con stessa destinazione d'uso e quindi stessa normativa, si sono applicati gli stessi criteri di progettazione e, come si potrà evincere dalla lista lampade del relamping, sono state scelte le stesse tipologie di lampade, dal momento che soddisfano i criteri di progettazione richiesti.

Nel seguente paragrafo si pone invece l'accento alle zone adibite a magazzino, alla banchina di carico del lato nord del fabbricato e alla tettoia che collega i due capannoni, in quanto per esse è richiesta una gestione dell'illuminazione ordinaria mediante sensori. Si riportano di seguito i valori secondo Normativa dell'ambiente di lavoro adibito a magazzino.

Tabella 27: Requisiti di illuminazione per interni (zone), compiti e attività EN 12464-1:2011

N° rif	Tipo di interno, compito o attività	E_m [lx]	UGRL [-]	U_o [-]	Ra [-]
5.4.1	Magazzini, zone di stoccaggio	100	25	0,40	60
5.4.2	Zone di movimentazione, imballaggio, spedizione	300	25	0,60	60
5.5.4	Magazzini con scaffali	200	-	0,40	60

Definite le corsie tra gli scaffali e le zone aperte, si sono create due differenti tipologie di aree di calcolo: per le corsie si è applicata la normativa che prevede di garantire un compito visivo minimo di 150 lx con uniformità di 0.4, in quanto trattasi di zona di stoccaggio su scaffali; mentre per le zone aperte, si è applicata la normativa che prevede di garantire un compito visivo minimo di 300 lx con uniformità di 0.4, in quanto trattasi non solo di zona di stoccaggio a pavimento, ma anche di area di transito a piedi, con muletti e di confezionamento (sono presenti dei nastri trasportatori). Le due aree sono all'interno di uno stesso ambiente, pertanto si è scelto di utilizzare la stessa tipologia di lampada (proiettore a UGR controllato sospeso e alimentato dalla linea blindo), ma di differente potenza: per le corsie tra gli scaffali, si è scelta una potenza di 100 W, mentre nelle aree aperte di 200 W; in questo modo, non solo si raggiungono i valori minimi imposti dalla normativa, ma si superano persino.

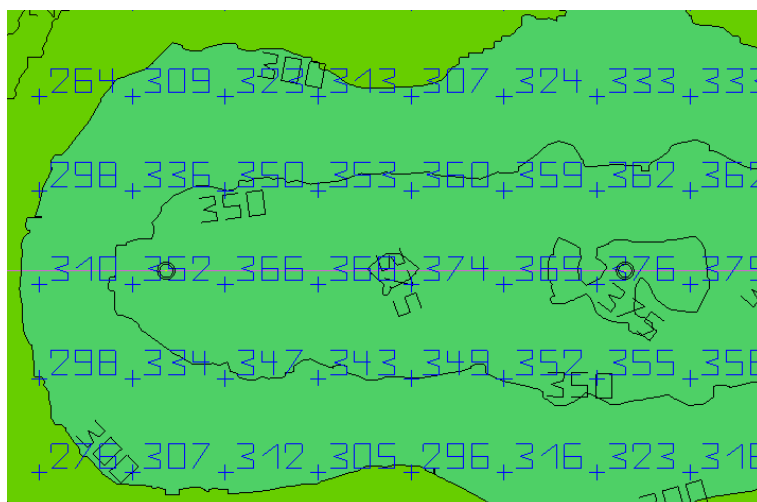


Figura 25: Area di calcolo per zona aperta del magazzino

Fonte: DIALux Evo

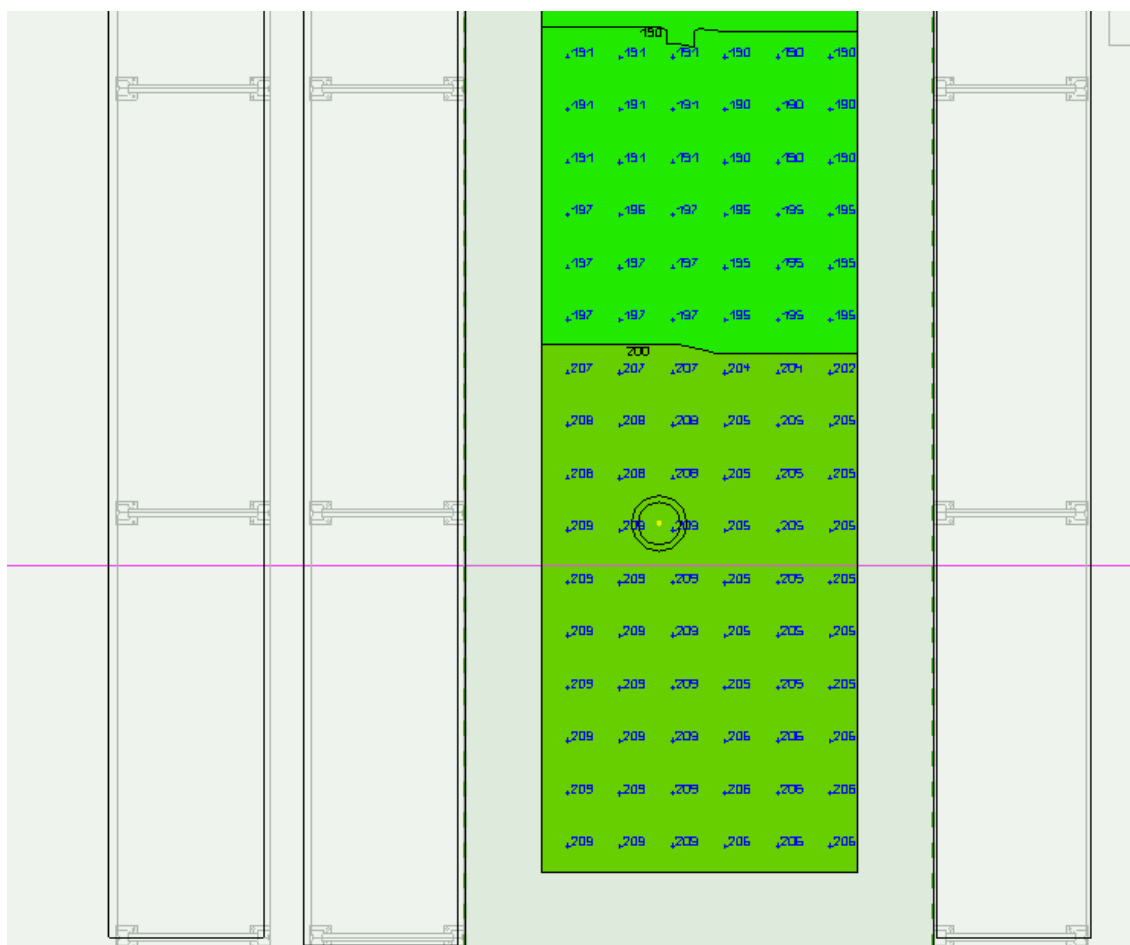


Figura 26: Area di calcolo per corsia di magazzino

Fonte: DIALux Evo

Per la zona di magazzino, come detto, è stato richiesto da parte del cliente, una gestione e controllo intelligente dei corpi illuminanti presenti nei tre magazzini (A, B e C) al fine di ottenere un incremento dell'efficienza energetica, garantendo al contempo un migliore comfort visivo.

Secondo la Normativa UNI EN 12464-1:202, particolare attenzione è da porre per evitare l'abbagliamento quando la direzione di osservazione è significativamente al di sopra della direzione di osservazione orizzontale, per esempio i casi in cui un aspetto regolare del lavoro prevede il guardare verso l'alto negli apparecchi di illuminazione come nel caso di scaffali di immagazzinaggio, ecc. Si è quindi eseguita anche la verifica dell'UGR che grazie alla scelta del corpo illuminante "WLED Mir modello S5" avente UGR inferiore a 25 (vedere scheda tecnica allegata), ha permesso di ottenere valori di UGR inferiori a 24, garantendo un elevato comfort visivo. Si riporta in figura il calcolo eseguito per una corsia del magazzino, posta tra due scaffali.

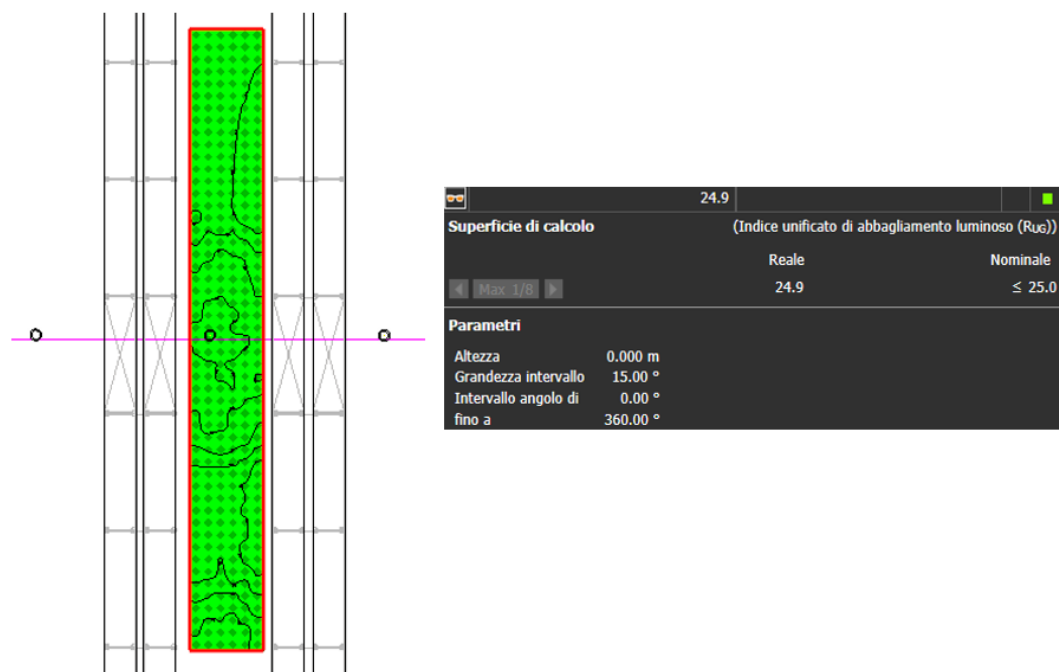


Figura 18: Calcolo dell'UGR per corsia magazzino

Fonte: DIALux Evo

Affinché i sistemi di gestione possano dialogare con i proiettori, questi devono essere DALI e, al fine di garantire un'efficienza elevata del sistema di gestione, il progetto prevede che ogni proiettore sia collegato ad un sensore mediante cavo bus DALI 220 V. Il sistema di regolazione del flusso luminoso, grazie ai sensori, che rilevano la quantità di luce naturale disponibile, regola l'intensità delle lampade artificiali, riducendo il flusso luminoso quando c'è abbastanza luce naturale e aumentandolo quando la luce solare diminuisce, senza mai scendere al di sotto dei requisiti minimi di illuminamento imposti dalla Normativa.

I prodotti hardware possono essere configurati e gestiti via software mediante applicazioni App e WebApp che permettono di configurare i sistemi utilizzando i dispositivi mobili come smartphone e tablet e di gestirli in remoto tramite soluzioni on-premises o cloud.

I sensori, al termine dell'installazione, vengono programmati mediante app in dotazione: vengono tarati e raggruppati in gruppi con un numero massimo di 32 oggetti e successivamente configurati da remoto mediante software dalla società fornitrice. Affinché l'impianto sia gestibile da remoto da parte della società terza, è necessario che in fase di progettazione, si predispongano anche 3 antenne poste equidistanti tra loro ad un'altezza di almeno 4 metri che dialogano con il pannello di gestione installato all'interno dell'edificio. Quest'ultimo, mediante rete internet dialogherà con il software di gestione della società fornitrice che, come detto, si occupa della programmazione e del monitoraggio dei sensori da remoto.

In questo caso si è imposto che le corsie tra gli scaffali avessero al suolo sempre 150 lx, mentre le zone aperte 300 lx. Infine, si è programmata sia l'accensione che lo spegnimento di tutti i corpi illuminanti all'unisono, la riduzione del 50% dell'apporto di luce del singolo proiettore dopo 10 minuti dall'ultimo movimento percepito e lo spegnimento se non viene percepito movimento dopo ulteriori 10 minuti.

Le lampade presenti nella banchina di carico e nella tettoia erano lampade stagne IP65 con tubi al neon di potenza 2x58 W. Trattandosi di ambienti esposti alle intemperie è necessario scegliere un articolo che dal punto di vista delle caratteristiche IP sia paritetico, quindi sempre una lampada stagna, ma a tecnologia LED. Poiché il committente chiedeva che si spegnessero dopo un tempo prestabilito se non si percepiva movimento si è scelta

una lampada stagna “WLED Eva Hp Radar Sensor”, la cui dicitura Radar Sensor (o sensori radar) indica la presenza di un sensore alloggiato all’interno del corpo lampada il cui funzionamento si basa sull’utilizzo di onde elettromagnetiche a specifica frequenza. Tale sensore gestisce l’accensione della lampada in modo più rudimentale della tecnologia presentata precedentemente; è privo di software per la gestione remota, ma permette comunque di incrementare il risparmio energetico già conseguibile mediante tecnologia LED. Percepito il movimento, la lampada si accende. Regolando manualmente in modo appropriato i DIP switch ⁵² presenti nel circuito integrato del driver della lampada, è possibile, ritardare lo spegnimento della stessa e ridurre anche di una certa percentuale il flusso luminoso. Poiché ogni lampada è munita di sensore radar e dei DIP switch, in fase installativa sarà da programmare singolarmente prima di collegarla all’alimentazione. Qualora si desiderasse modificare i parametri impostati, non essendoci un software di gestione, sarà necessario smontare ogni corpo lampada e modificare manualmente i DIP switch. E’ bene quindi testare prima alcune lampade, verificato che funzionano correttamente, secondo i parametri desiderati, si può procedere con il regolare le successive. Anche in questo caso, durante la fase installativa, si è impostata una riduzione del 50% dell’apporto di luce della singola lampada dopo 10 minuti dall’ultimo movimento percepito e lo spegnimento se non viene percepito movimento dopo ulteriori 10 minuti.

La scelta dei corpi illuminanti alla base della progettazione è quindi principalmente frutto del rispetto dei requisiti normativi e delle necessità installative.

Scelti i corpi illuminanti da installare, che per ogni ambiente rispettano i requisiti imposti dalla normativa di settore, si redige la seguente tabella. In essa si riportano, per ogni ambiente rilevato, la nuova tipologia di lampada LED identificata dal progetto, la sua potenza e le quantità e, in base alle ore di funzionamento lasciate invariate, si calcola il risparmio che ne consegue.

⁵² Il DIP switch è un componente impiegato nei circuiti elettronici. È formato da un gruppo di interruttori incapsulati in un singolo contenitore di tipo dual in-line package (DIP), dotato di terminali disposti su due file a distanza normalizzata. Solitamente viene saldato sul circuito insieme agli altri componenti.

Tabella 28: Stima stato attuale sistema di illuminazione del cliente

Stima sistema di illuminazione a LED								
Ambiente - Locale	Descrizione	Attenuazione	Potenza [W]	Nr. Lampade	Potenza tot. [kW]	Ore/anno di funzionamento [h]	Stima consumo annuo [kWh]	Riduzione % dei consumi
Magazzino A	WLED MIR 120W 4000K CRI>80 mod.S5 UGR<25 + DALI	50%	120,0	174	20,88	3300	34452	-82,2%
Locali. Carica batt	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	14	0,66	3300	2171	-63,2%
Loc. Ristoro	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	3300	422	-59,6%
WC	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	3000	384	-59,6%
Magazzino B	WLED MIR 120W 4000K CRI>80 mod.S5 UGR<25 + DALI	50%	120,0	182	21,84	3300	36036	-82,6%
Loc. Carica batt	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	14	0,66	3300	2171	-63,2%
Loc. Ristoro	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	3000	384	-59,6%
WC	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	1000	128	-59,6%
Magazzino C	WLED MIR 120W 4000K CRI>80 mod.S5 UGR<25 + DALI	50%	120,0	182	21,84	3300	36036	-83,0%
Loc. Carica batt	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	14	0,66	3300	2171	-63,2%
Loc. Ristoro	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	3000	384	-59,6%
WC	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	1000	128	-59,6%
Deposito PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	2500	80	-59,6%
Corridoio PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	6	0,19	2500	480	-59,6%
AntiWC PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	12	0,38	1000	384	-59,6%
WC PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	9	0,29	1000	288	-59,6%
Spogliatoi PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	10	0,32	2500	800	-59,6%
Uffici 2 PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	2500	320	-59,6%
WC disabili PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	1000	32	-59,6%
Ingresso PT A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	8	0,21	2500	520	-54,5%
WC PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	2	0,06	1000	64	-59,6%
Loc Tec PT A+B	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	1	0,05	1000	47	-63,2%
Ufficio 1 PT A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	2500	320	-59,6%
Archivio P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	11	0,35	2500	880	-59,6%
WC P1 A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	1	0,03	1000	26	-54,5%
WC P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	1000	32	-59,6%
WC disabili P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	1000	32	-59,6%

Stima sistema di illuminazione a LED								
Ambiente - Locale	Descrizione	Attenuazione	Potenza [W]	Nr. Lampade	Potenza tot. [kW]	Ore/anno di funzionamento [h]	Stima consumo annuo [kWh]	Riduzione % dei consumi
Corridoio P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	2	0,06	2500	160	-59,6%
Corridoio P1 A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	3	0,08	2500	195	-54,5%
Ufficio 1-6 P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	18	0,58	2500	1440	-59,6%
Corridoio P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	3	0,10	2500	240	-59,6%
Loc Tec P1 A+B	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	2	0,09	1000	94	-63,2%
WC disabili P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	1000	32	-59,6%
WC P1 A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	1	0,03	1000	26	-54,5%
WC P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	1	0,03	1000	32	-59,6%
Break 1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	3	0,10	2500	240	-59,6%
Archivio P1 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	3	0,10	2500	240	-59,6%
Uffici P2 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	34	1,09	2500	2720	-59,6%
WC P2 A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	2	0,05	1000	52	-54,5%
WC P2 A+B	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	4	0,13	1000	128	-59,6%
Loc Tec P2 A+B	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	2	0,09	1000	94	-63,2%
Corridoio P2 A+B	WLED STELLA 26W 4000K CRI>80 mod.24 UGR<19		26,0	3	0,08	2500	195	-54,5%
Loc Tec PT C	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	1	0,05	1000	47	-63,2%
Corridoio +Uff PT C	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	7	0,22	2500	560	-59,6%
SpoglWC+ WC PT C	WLED QUADRA HP 32W 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19		32,0	15	0,48	1000	480	-59,6%
Esterno	WLED POLAR 3 150W 4000K CRI>80 mod.RR		150,0	28	4,20	4300	18060	-65,9%
Banchine	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD + RADAR SENSOR	50%	47,0	129	6,06	3000	9095	-81,6%
Tettoia	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD + RADAR SENSOR	50%	47,0	3	0,14	3000	212	-81,6%
CT+CAB EL	WLED EVA HP 47W 4000K CRI>80 mod.LD		47,0	7	0,33	1000	329	-63,2%
Scale + Ingresso	WLED ZOE 24W 4000K CRI>80 mod.B3		24,0	11	0,26	2000	528	-58,0%
Vialetto	WLED STILO 15W 4000K mod.AM - L=1000mm		15,0	6	0,09	4300	387	-75,2%
Totale				1.514	84,04		154759	-79,9%

Per la gestione del sistema di controllo e gestione dell'illuminazione invece, sono da considerare gli articoli riportati nella seguente tabella (vedasi allegati per schede tecniche):

Tabella 29: Stima stato attuale sistema di illuminazione del cliente

Articoli per il controllo e la gestione dell'impianto di illuminazione della zona del magazzino	
Descrizione articolo	Quantità
Z-SENSOR-MB R1	538
Z-GWETH v1	6
ZQxSERVER-LTE	1
ZQ-TOUCH-10PDVX	1
ZQ-STAFF-PDVX ⁵³	1
xDASHBOARD TOUCH ⁵⁴	1
ENG-REMOTE-PACK ⁵⁵	1
Totale	549

Confrontando le due tabelle (Tabella 26 e 28) e confrontando per ogni ambiente il numero di corpi illuminanti, si può notare come, a differenza del caso precedentemente analizzato, non si ha una riduzione del numero di lampade, bensì un aumento: si è passati da 849 a 965 corpi illuminati. Ciò è dovuto al fatto che i tre magazzini (Magazzino A, B e C) erano sotto illuminati quindi è stato necessario aumentare il numero di corpi illuminanti. Ciò non ha comportato elevati costi installativi in quanto le linee blindo erano già presenti e correttamente funzionanti. E' stato necessario solo inserire a budget l'acquisto di 116 spine blindo paritetiche al numero di corpi illuminanti aggiunti.

Al contempo non c'è stata una diminuzione del numero delle altre lampade per differenti motivi:

- In entrambe le palazzine uffici le lampade presenti erano distribuite in modo da garantire già un corretto apporto di luce e uniformità; non era quindi strettamente necessario modificarne la disposizione. In tutti gli ambienti si è preferito mantenere lo stesso numero di corpi illuminati e diminuirne la potenza piuttosto che ridurre il numero poiché il costo totale che si avrebbe avuto tra numero ridotto di lampade, ma ad elevata potenza, rispetto al numero di lampade superiore, ma

⁵³ Staffa di fissaggio del Touch panel ZQ-TOUCH-10PDVX

⁵⁴ Engineering del Touch panel ZQ-TOUCH-10PDVX

⁵⁵ Attività di configurazione da parte della società che fornisce il sistema di gestione DALI

di minore potenza era pressoché paritetico. Inoltre, mantenendo invariato il numero e il posizionamento dei corpi illuminanti rispetto alla situazione antecedente, ha permesso anche una riduzione dei costi installativi perché la sostituzione uno ad uno richiede un minor tempo di installazione e non comporta modifiche all'impianto elettrico se questo è correttamente funzionante. Infine, se si fossero ridotti i numeri dei corpi illuminanti si sarebbe dovuto provvedere al rimpiazzo degli stessi con pannelli in cartongesso (e quindi prevederne l'acquisto con relativo aumento dei costi), poiché il soffitto di entrambe le palazzine uffici è realizzato mediante pannelli in cartongesso 60x60 cm.

- La zona dei portelloni di carico del lato nord del fabbricato (in tabella denominata banchina) e la tettoia di comunicazione tra i due capannoni (in tabella denominata tettoia) erano state anch'esse correttamente progettate; quindi, una riduzione dei corpi illuminanti avrebbe portato al non superamento del corretto valore di uniformità stabilito da normativa. Al fine di ottenere una riduzione dei consumi è stato sufficiente eseguire una sostituzione paritetica e dotarle di sensoristica come visto precedentemente.
- Per le zone esterne tendenzialmente non si esegue mai una riduzione dei corpi illuminanti poiché sono sempre in numero esiguo; anzi, è più probabile dover considerarne un aumento che però spesso implica costi onerosi installativi (soprattutto se si tratta di aggiungere pali con ottica stradale). In questi casi, se l'illuminazione presente non è sufficiente, si preferisce utilizzare corpi illuminati di maggior potenza e con ottica ad ampio fascio che permetta di garantire una maggiore uniformità grazie alla somma dei contributi luminosi dei corpi illuminanti adiacenti.

Come si evince dalla Tabella 28, nonostante ci sia stato un aumento dei corpi illuminanti si è ottenuta comunque una riduzione dei consumi del 79,9%, questo grazie al fatto che le lampade a LED hanno a parità di lumen emessi, minore potenza delle lampade di vecchia tecnologia e grazie ai sensori installati a bordo delle lampade dei portelloni di carico e dei proiettori installati nei tre magazzini (magazzino A, B e C).

Come riportato in Tabella 28, grazie al sistema di gestione DALI applicato ai proiettori “WLED Mir” presenti nel magazzino e ai sensori di presenza alloggiati all’interno di ogni lampada “WLED Eva Hp Radar Sensor”, installate negli ambienti denominati banchina e tettoia, si ottiene un’attenuazione del 50%⁵⁶ della potenza della lampada che comporta quindi una riduzione ulteriore dei consumi. Si evince infatti che grazie all’attenuazione del 50% è possibile ottenere una riduzione dei consumi del 82.2% per i “WLED Mir” e del 81,6% per le lampade “WLED Eva Hp Radar Sensor”.

Il valore di attenuazione del 50% è basato su dati statistici. Generalmente, per i committenti per i quali non si sono eseguiti altri impianti nelle medesime condizioni di fabbricato, apporto di luce naturale, lavorazioni, impianto di gestione e controllo mediante sensori, ecc., si fissa un valore cautelativo di attenuazione, pari al 30%. Per il suddetto cliente, invece, avendo eseguito negli anni svariate commesse e, avendo avuto modo di visionare la riduzione dei consumi ottenuti grazie allo stesso sistema di gestione, si è potuto aumentare il valore dell’attenuazione, che risulta essere comunque cautelativo. Suddetto valore di attenuazione dipende da vari fattori, quali:

- dalla media stagionale dell’apporto di luce solare;
- dalle ore di accensione delle lampade;
- dal rilevamento PIR per lo spegnimento delle lampade a seguito dell’assenza di personale - per il quale sarebbe necessario avere dati statistici da parte del committente;
- variabili di ambiente, quali riflessioni, presenza di finestre e/o lucernai.

Per una visione dei risultati del progetto si rimanda all’allegato Tavola 6 – Risultati illuminotecnici edificio 2.

⁵⁶ Secondo dati statistici cautelativi forniti dal produttore

6.3.4 Offerta economico finanziaria

Sulla base dei dati rilevati e delle scelte progettuali si identifica l'analisi economica e finanziaria della situazione attuale e futura.

Come si evince dalla seguente tabella (Tabella 30), il cliente per l'illuminazione dell'intera sede sostiene una spesa annuale di energia elettrica di 207.868,82 € a seguito di un consumo di 769.844,50 kWh. Al costo energetico, si somma inoltre la spesa manutentiva annua di circa 7.404,82 €, quindi il costo sostenuto ogni anno per l'illuminazione ammonta a 215.273,64 €.

Grazie al relamping LED, la spesa manutentiva si annulla e il consumo di energia elettrica si riduce di quasi cinque volte, scendendo a 154.758,60 kWh; ne consegue quindi un risparmio dei consumi annuo di 615.085,9 kWh. Ciò porta, mantenendo i costi di energia al kWh invariati (pari a 0,27 €/kWh), a poco più di 41.84,82 € di bolletta energetica annua per la sola illuminazione.

Tabella 30: Business plan illuminazione a LED

Business plan illuminazione a LED	
Stima situazione attuale	
Potenza nominale impianto attuale	237,90 kW
Spesa energia elettrica annua	207.868,82 €
Consumo attuale annuo	769.844,50 kWh
Costo attuale di un Kwh	0,27 €
Costi di manutenzione annui	7.404,82 €
Aumento annuo costo energia	-
Stima soluzione con riqualificazione a LED	
Potenza futura nominale impianto	84,04 kW
Spesa futura energia elettrica annua	41.784,82 €
Consumo futuro annuo	154.758,60 kWh
Costo fornitura corpi illuminanti LED	206.487,50 €
Progettazione impianto e direzione lavori	19.925,67 €
Costo rimozione, smaltimento e installazione impianto	64.610,00 €
Costo Totale di rinnovamento	291.023,17 €

Il cliente per effettuare il relamping LED deve sostenere un costo pari a 291.023,17 € così suddiviso:

- 206.487,50 € ca. per la fornitura dei corpi illuminanti;
- 19.925,67 € ca. di progettazione e direzione lavori;
- 64.610,00 € ca. per l'installazione del nuovo impianto e la rimozione lo smaltimento dei vecchi corpi illuminati.

Gli importi di progettazione e direzione lavori sono stabiliti dallo studio esterno di progettazione previo progetto preliminare effettuato da Würth.

In merito all'importo relativo all'installazione invece, Würth richiede offerta ai suoi fornitori accreditati per la prestazione di mano d'opera mediante confronto concorrenziale.

Il cliente ha inoltre la possibilità di scegliere se finanziare o meno l'intera operazione, mediante noleggio operativo o Leasing.

Soluzione finanziaria di acquisto

Di seguito di mostra la stima della situazione di spesa che si avrebbe nei 10 anni successivi, qualora non si procedesse con l'intervento di relamping LED, supponendo che il costo energetico al kWh rimanga invariato.

Tabella 31: Stima dei costi ad oggi sostenuti e per i successivi 10 anni

Stima situazione attuale						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi manutenzione [€]	Totale costi [€]
1	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
2	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
3	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
4	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
5	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
6	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
7	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
8	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
9	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64
10	0,27	237,9	769.844,50	207.868,82	7.404,82	215.273,64

Procedendo invece con il relamping LED, sostenuto il costo totale di rinnovamento senza finanziamento, il primo anno il cliente spenderà, comprensivo di bolletta energetica per l'illuminazione, un importo pari a 332.807,99 €.

Dal secondo anno, invece sosterrà solamente il costo della spesa energetica, pari a 41.784,82 €. Di conseguenza, dal momento che la sua spesa per l'energia elettrica e la manutenzione annue prima di effettuare il relamping era di 215.273,64 €, il primo anno non avrà un guadagno, bensì una perdita di 117.534,35 €, ma dal secondo anno potrà invece, conseguire un cash flow di 55.954,46 € che, proiettato a 10 anni, mantenendo invariata la spesa €/kWh di 0,270, si traduce in un risparmio di 1.1443.864.96 €.

Tabella 32: Business Plan di relamping LED con formula di acquisto

Finanziario	
Modalità di finanziamento	NESSUNO
Anticipo sul capitale da finanziare	-
Capitale da finanziare	291.023,17 €
Durata finanziamento anni	
Rata finanziamento annuale	-

Risultati stimati	
Risparmio da energia non acquistata in 10 anni	1.660.839,93 €
Risparmio dai costi di manutenzione in 10 anni	74.048,20 €
Risparmio medio mensile di energia e manutenzione	14.475,40 €
Riduzione percentuale dei consumi	-79,90%
Risparmio totale con costi di installazione in 10 anni	1.443.864,96 €

Tabella 33: Stima dei costi da sostenere a seguito del relamping LED con formula di acquisto

Stima situazione futura						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi rinnovamento [€]	Totale costi [€]
1	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	291.023,17	332.807,99
2	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
3	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
4	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
5	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
6	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
7	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
8	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
9	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
10	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82

Tabella 34: Stima dell'andamento economico e finanziario a seguito del relamping LED con formula di acquisto

Stima andamento economico finanziario				
Anno	Costi attuali [€]	Costi futuri [€]	Cash flow [€]	Guadagno [€]
1	215.273,64	332.807,99	- 117.534,35	- 117.534,35
2	215.273,64	41.784,82	173.488,81	55.954,46
3	215.273,64	41.784,82	173.488,81	229.443,27
4	215.273,64	41.784,82	173.488,81	402.932,08
5	215.273,64	41.784,82	173.488,81	576.420,90
6	215.273,64	41.784,82	173.488,81	749.909,71
7	215.273,64	41.784,82	173.488,81	923.398,52
8	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.096.887,34
9	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.270.376,15
10	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.443.864,96

I valori riportati nella precedente tabella, relativi al guadagno cumulato e al cash flow, sono di seguito rappresentati graficamente.

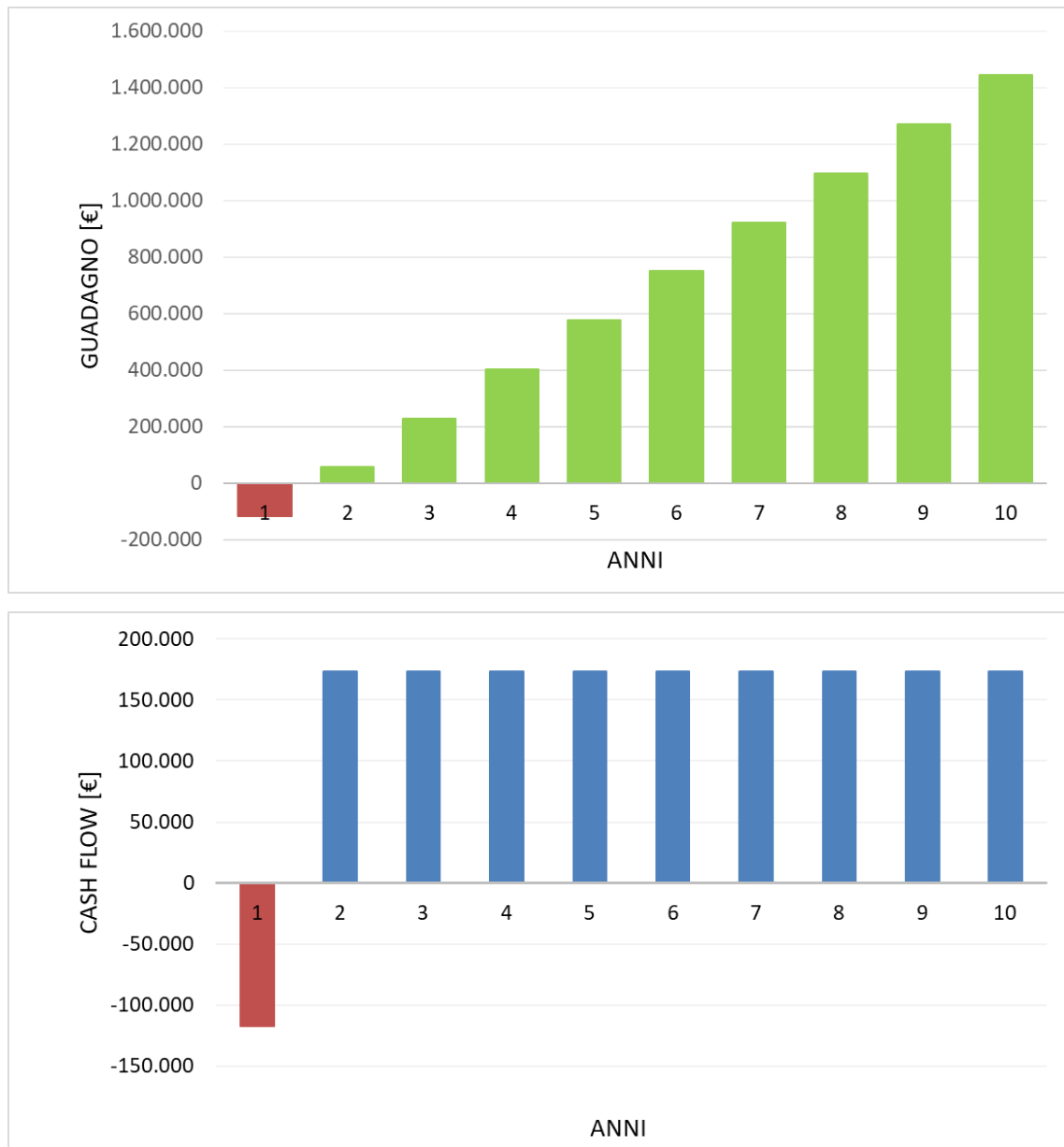


Figura 28: Stima dell'andamento economico e finanziario a 10 anni a seguito del relamping LED con formula di acquisto

L'indicatore economico *Valore Attuale Netto (VAN)* o *Net Present Value (NPV)* rappresenta la differenza tra il valore attuale dei flussi di cassa in entrata generati da un investimento e il valore attuale dei flussi di cassa in uscita (cioè, il costo dell'investimento).

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Dove:

- F_t è il flusso di cassa nel periodo di tempo t ;
- r è il tasso di sconto o rendimento richiesto o tasso di interesse reale;
- t è il periodo di tempo, pari a 10 anni;
- C_0 è il costo iniziale dell'investimento, pari a 291.023,17 €.

Se il VAN è maggiore di zero l'investimento è considerato vantaggioso, mentre se è minore di zero è preferibile evitarlo. Se il VAN è pari a zero, è in pareggio: si recupera esattamente il capitale investito con il rendimento richiesto. Le opzioni di retrofit con VAN positivo sono convenienti perché la somma dei ricavi è superiore alla somma dei costi attualizzati (compreso il costo di investimento C_0 al tempo zero) nel periodo di valutazione.

Il flusso di cassa F_t è pari alla somma di due componenti:

- la differenza tra la spesa dell'energia elettrica annua sostenuta prima dell'intervento (207.868,82 €) e quella che si continuerà a pagare per i futuri 10 anni a seguito del relamping (41.784,82 €);
- la spesa della manutenzione dell'impianto (7.404,82 €) che il cliente sostiene non avendo in impianto a LED.

Il flusso di cassa F_t è quindi pari a 173.488,81 €

$$F_t = (207.868,82 - 41.784,82 + 7.404,82)€ = 173.488,81 €$$

Il tasso di interesse reale r è calcolabile mediante la formula:

$$r = \frac{r_m - r_{in}}{1 + r_{in}}$$

Dove:

- r_m è il tasso di interesse di mercato, è il tasso concordato dal prestatore. E' il valore medio atteso del tasso di interesse nel periodo di calcolo.
- r_{in} è il tasso di inflazione che prende in considerazione il deprezzamento annuale della valuta. E' ottenuto o stimato dai dati economici disponibili in un periodo di calcolo medio. Come per il caso studio precedente si stimato il tasso di inflazione, calcolando la media del tasso di inflazione medio annuo degli ultimi 20 anni che risulta essere pari a 1,985%.

Considerando ragionevolmente a favore di sicurezza un tasso di interesse di mercato r_m del 4%, il tasso di interesse reale risulta essere pari al 3%:

$$r = \frac{0,04 - 0,01985}{1 + 0,01985} = 0,02015 \cong 2\%$$

Di conseguenza il VAN a 10 anni, ossia il valore attualizzato sottratto al costo iniziale dell'investimento C_0 di pari a 291.023,17 € è pari a 1.266.132,51 € come da calcoli riportati nella seguente tabella:

Tabella 35: Calcolo del Valore Attuale Netto VAN per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	C_0 [€]	F_t [€]	VAN cumulado [€]
1	0.02	291.023,17	173.488,81	- 120.961,10
2	0.02		173.488,81	45.741,89
3	0.02		173.488,81	209.152,17
4	0.02		173.488,81	369.334,77
5	0.02		173.488,81	526.353,45
6	0.02		173.488,81	680.270,69
7	0.02		173.488,81	831.147,76
8	0.02		173.488,81	979.044,70
9	0.02		173.488,81	1.124.020,39
10	0.02		173.488,81	1.266.132,51

Il *Tasso Interno di Rendimento*, *TIR* o *Internal Rate of Return (IRR)* è il tasso di interesse che determina il rendimento del capitale investito nel periodo di valutazione. E' il reale tasso di interesse per il quale il *Valore Attuale Netto* è nullo:

$$TIR = r \mid VAN = 0$$

$$0 = -C_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Considerando i flussi di cassa F_t riportati nella precedente tabella e utilizzando la funzione di Excel per il calcolo del *TIR*, si ottiene che il *Valore Attuale Netto* è nullo per un *TIR* pari al 59%.

Nel metodo *VAN (Valore Attuale Netto)*, il *Periodo di rimborso scontato*, noto in inglese come *Discounted Payback Period DPP* rappresenta il numero di anni necessari affinché i flussi di cassa attualizzati ripaghino l'investimento iniziale.

$$DPP = n \mid VAN = 0$$

È una variante del periodo di recupero (*Payback Period*), ma tiene conto del valore temporale del denaro.

Il *DPP* è il primo anno in cui il *VAN* cumulato dei flussi di cassa scontati supera l'investimento iniziale, pertanto è pari a 2.

Il *Valore Equivalente Annuo AEV* è un importo annuo uniforme che, sommato nel periodo di analisi, è uguale al valore netto totale del progetto. L'*AEV* viene utilizzato per confrontare le opzioni di investimento in cui il ciclo naturale di sostituzione non può essere facilmente correlato direttamente al periodo di analisi.

$$AEV = \frac{VAN}{f_{pv}(t)} = VAN \cdot a(t)$$

Dove:

- $f_{pv}(t)$ è il fattore di valore attuale;
- $a(t)$ è il fattore di rendita.

$$f_{pv}(t) = \frac{1}{a(t)} = \frac{(1+r)^{t-1}}{r(1+r)^t}$$

Tabella 36: Calcolo del Valore Equivalente Annuale AEV per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	VAN cumulato [€]	AEV cumulate [€]
1	0.02	- 120.961,10	- 123.398,47
2	0.02	45.741,89	23.564,52
3	0.02	209.152,17	72.545,68
4	0.02	369.334,77	97.031,39
5	0.02	526.353,45	111.718,92
6	0.02	680.270,69	121.507,36
7	0.02	831.147,76	128.496,32
8	0.02	979.044,70	133.735,61
9	0.02	1.124.020,39	137.808,45
10	0.02	1.266.132,51	141.064,78

Il Controvalore Annuo (AEV) al termine dei 10 anni è pari a 141.064,78 €.

Soluzione finanziaria di noleggio operativo

Come si evince dai dati riportati a seguire, sottoscrivendo un finanziamento di soli 2 anni, si può conseguire un guadagno già dal primo anno d'investimento, avendo un risparmio a 10 anni quasi pari alla soluzione di acquisto. Per i primi due anni si dovrà sostenere una spesa pari a 201.187,22 €, data dalla somma della spesa energetica e dagli oneri di sistema (41.784,82 € più 159.402,40 €), tuttavia essendo l'importo comunque inferiore al costo attualmente sostenuto di 215.273,64 € (somma della spesa energetica e dei costi di manutenzione), si avrà un risparmio anche durante il primo anno di sottoscrizione del contratto di noleggio, pari a poco più di 14.000 €.

Conseguendo già dal terzo anno il valore massimo di risparmio economico, pari a 201.661,63 € (dato dalla differenza tra spesa attuale e futura spesa energetica), al termine dei 10 anni, si otterrà un risparmio di 1.416.083,32 €, inferiore solo di 27.781,64 € rispetto alla soluzione senza finanziamento (il cui risparmio a 10 anni conseguito è pari a 1.443.864,96 €).

Tabella 37: Business Plan di relamping LED con formula di noleggio operativo a 2 anni

Finanziario	
Modalità di finanziamento	NOLEGGIO
Anticipo sul capitale da finanziare	-
Capitale da finanziare	291.023,17 €
Durata finanziamento anni	2
Rata finanziamento annuale	- 159.402,40 €
Risultati stimati	
Risparmio da energia non acquistata in 10 anni	1.660.839,93 €
Risparmio dai costi di manutenzione in 10 anni	74.048,20 €
Risparmio medio mensile di energia e manutenzione	14.475,40 €
Riduzione percentuale dei consumi	-79,90%
Risparmio totale con costi di installazione in 10 anni	1.416.083,32 €

Tabella 38: Stima dei costi da sostenere a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

Stima situazione futura						
Anno	Costo del Kwh [€]	Potenza A inst. [kW]	Consumo annuo [Kwh]	Spesa annua energia [€]	Costi rinnovamento [€]	Totale costi [€]
1	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	159.402,40	201.187,22
2	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	159.402,40	201.187,22
3	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
4	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
5	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
6	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
7	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
8	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
9	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82
10	0,27	84,0	154.758,6	41.784,82	-	41.784,82

Per i primi due anni, in cui è in vigore il noleggio operativo, si dovrà sostenere una spesa pari a 201.187,22 €, data della spesa energetica annua di 41.784,82 € a cui si sommano i costi di rinnovamento (comprensivi degli oneri di sistema) per un importo di 159.402,40 €; ma, come detto, essendo l'importo inferiore al costo attualmente sostenuto di 215.273,64 € (somma della spesa energetica e dei costi di manutenzione), si avrà un

risparmio anche durante il periodo di sottoscrizione del contratto di noleggio. Per i primi due anni sarà possibile avere un cash flow pari a poco più di 14.000 €.

Dal terzo anno, conclusosi il noleggio operativo, e divenuto proprietario dei corpi illuminanti, si raggiungerà il valore massimo di risparmio economico, pari a 173.488,81 € (dato dalla differenza tra spesa attuale e futura spesa energetica). Il cliente dovrà solamente sostenere a spesa dell'energia elettrica, pari a 41.784,82 €, mantenendo invariata la spesa €/kWh di 0,27.

Tabella 39: Stima dell'andamento economico e finanziario a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

Stima andamento economico finanziario				
Anno	Costi attuali [€]	Costi futuri [€]	Cash flow [€]	Guadagno [€]
1	215.273,64	201.187,22	14.086,41	14.086,41
2	215.273,64	201.187,22	14.086,41	28.172,82
3	215.273,64	41.784,82	173.488,81	201.661,63
4	215.273,64	41.784,82	173.488,81	375.150,45
5	215.273,64	41.784,82	173.488,81	548.639,26
6	215.273,64	41.784,82	173.488,81	722.128,07
7	215.273,64	41.784,82	173.488,81	895.616,89
8	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.069.105,70
9	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.242.594,51
10	215.273,64	41.784,82	173.488,81	1.416.083,32

Proiettando a 10 anni tale investimento sarà possibile conseguire un risparmio di 1.416.083,32 €.

Di seguito di riportano i valori presenti alla precedente tabella di guadagno cumulato e cash flow sottoforma di istogrammi.

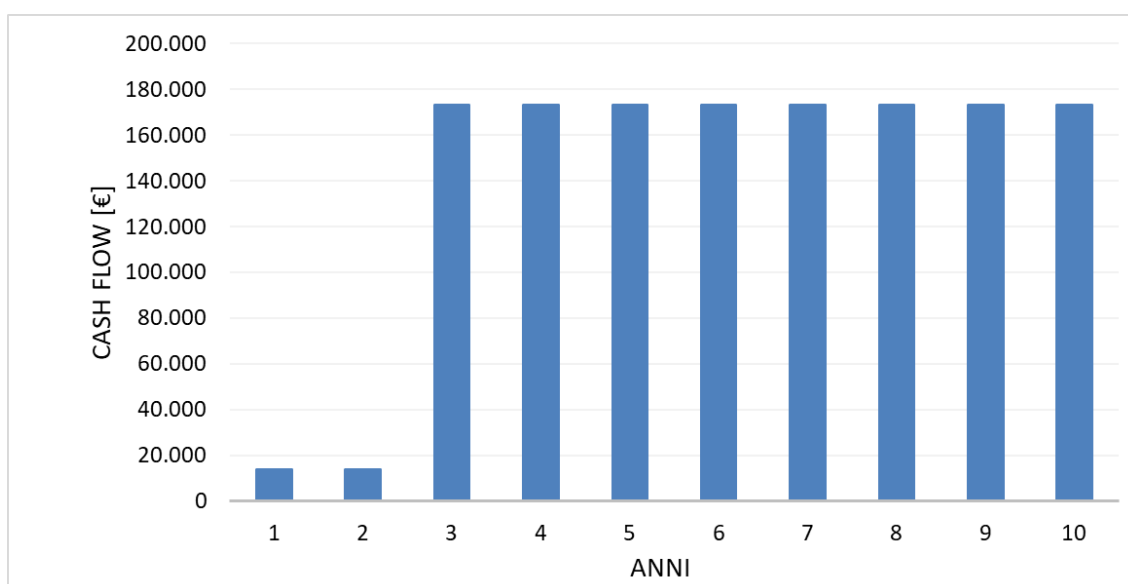
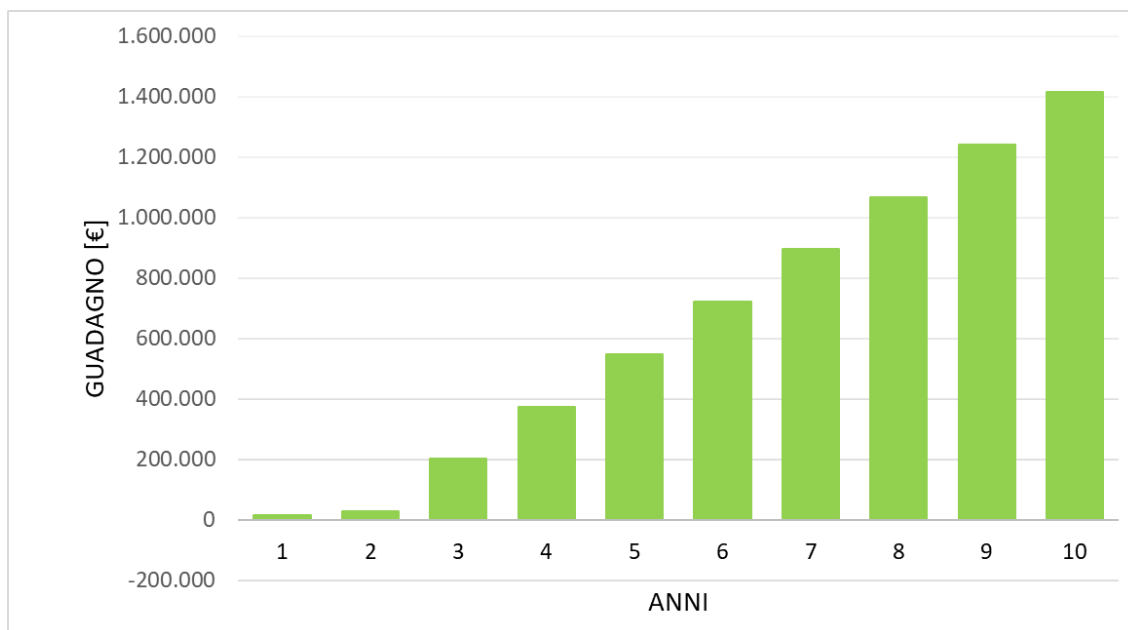


Figura 29: Stima dell'andamento economico e finanziario a 10 anni a seguito del relamping LED con formula di noleggio a 2 anni

L'investimento iniziale, in questo caso, non è più pari a 291.023,17 €, bensì è pari a 159.402,40 € per il primo e il secondo anno in cui vige il noleggio operativo.

Di conseguenza, mantenendo invariato il tasso di interesse reale r al 2%, a 10 anni si ottiene un Valore Attuale Netto (VAN) inferiore di 27.781,64 € rispetto al caso precedente (VAN pari a 1.266.132,51 €); infatti, come si evince dalla tabella seguente, il VAN in questo caso a 10 anni è pari a 1.238.350,88 €.

Tabella 40: Calcolo del Valore Attuale Netto VAN per un investimento a 10 anni con formula di noleggio operativo a 2 anni

Anno	r [-]	C ₀ [€]	F _t [€]	VAN cumulato [€]
1	0.02	159.402,40	173.488,81	- 148.742,74
2	0.02	159.402,40	173.488,81	17.960,25
3	0.02		173.488,81	181.370,53
4	0.02		173.488,81	341.553,13
5	0.02		173.488,81	498.571,81
6	0.02		173.488,81	652.489,05
7	0.02		173.488,81	803.366,12
8	0.02		173.488,81	951.263,06
9	0.02		173.488,81	1.096.238,75
10	0.02		173.488,81	1.238.350,88

Il Tasso Interno di Rendimento, *TIR* o *Internal Rate of Return (IRR)* è il tasso di interesse che determina il rendimento del capitale investito nel periodo di valutazione. E' il reale tasso di interesse per il quale il *Valore Attuale Netto* è nullo:

$$TIR = r \mid VAN = 0$$

Considerando i flussi di cassa F_t riportati nella precedente tabella e utilizzando la funzione di Excel per il calcolo del *TIR*, si ottiene che il *Valore Attuale Netto* è nullo per un *TIR* pari al 42%.

Nel metodo *VAN (Valore Attuale Netto)*, il *Periodo di rimborso scontato*, noto in inglese come *Discounted Payback Period DPP* rappresenta il numero di anni necessari affinché i flussi di cassa attualizzati ripaghino l'investimento iniziale. Il *DPP* è il primo anno in cui il *VAN* cumulato dei flussi di cassa scontati supera l'investimento iniziale.

$$DPP = n \mid VAN = 0$$

Anche in questo caso, il *Discounted Payback Period* è pari a 2.

Il *Valore Equivalente Annuo AEV* è un importo annuo uniforme che, sommato nel periodo di analisi, è uguale al valore netto totale del progetto. L'*AEV* viene utilizzato per confrontare le opzioni di investimento in cui il ciclo naturale di sostituzione non può essere facilmente correlato direttamente al periodo di analisi.

$$AEV = \frac{VAN}{f_{pv}(t)} = VAN \cdot a(t)$$

Dove:

- $f_{pv}(t)$ è il fattore di valore attuale;
- $a(t)$ è il fattore di rendita.

$$f_{pv}(t) = \frac{1}{a(t)} = \frac{(1+r)^{t-1}}{r(1+r)^t}$$

Tabella 41: Calcolo del Valore Equivalente Annuale AEV per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Anno	r [-]	VAN cumulado [€]	AEV cumulate [€]
1	0.02	- 148.742,74	- 151.739,91
2	0.02	17.960,25	9.252,45
3	0.02	181.370,53	62.909,46
4	0.02	341.553,13	89.732,62
5	0.02	498.571,81	105.822,25
6	0.02	652.489,05	116.545,11
7	0.02	803.366,12	124.201,25
8	0.02	951.263,06	129.940,69
9	0.02	1.096.238,75	134.402,34
10	0.02	1.238.350,88	137.969,52

Il *Controvalore Annuo (AEV)* al termine dei 10 anni è pari a 137.969,52 €.

Come si evince dai risultati ottenuti, l'investimento è vantaggioso in entrambi i casi; in quanto il *Valore Attuale Netto - VAN* è positivo e l'investimento ha un *Periodo di Rimborso Scontato - DPP* di due anni, sia che si decida di adottare la soluzione finanziaria di acquisto o di noleggio a due anni. Ovviamente, nel primo caso il *Tasso Interno di*

Rendimento - TIR nel primo caso è superiore del 17% poiché mancano gli oneri finanziari del noleggio e quindi l'investimento ha un importo inferiore.

La migliore opzione di retrofit è quella che ha il VAN più alto e il DPP più basso, ecco quindi che la soluzione di acquisto è la più vantaggiosa in termini economici, perché a parità di DPP, ha un VAN superiore del 2.19%, di 27.781,64 € (VAN pari a 1.266.132,51 € per la soluzione di acquisto contro VAN di 1.238.350,88 € per il caso di noleggio a due anni).

6.3.5 Analisi ambientale

Grazie al suddetto intervento, mediante la tecnologia a LED, si avrà un risparmio di energia annuo pari a 615.125,90 kWh.

In Italia, a seguito del mix energetico nazionale ⁵⁷, le emissioni di anidride carbonica sono circa pari a 0,255 kg/kWh ⁵⁸.

Pertanto, il risparmio di energia annuo conseguito da parte del cliente grazie all'intervento di relamping, corrisponde a 156,86 tonnellate di anidride carbonica non immesse.

$$M_{CO_2}[\text{ton}] = \frac{\text{consumi risparmiati [kWh]} \cdot 0,255 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}}{1000}$$

Un albero adulto può assorbire tra 25 e 100 kg di CO₂ all'anno ⁵⁹. Per compensare una tonnellata di CO₂ all'anno, servono circa dai 10 ai 40 alberi, a seconda della specie e delle condizioni ambientali.

Se si considera, che un albero adulto può compensare 50 kg di anidride carbonica, le 156,86 tonnellate di anidride carbonica non immesse (derivanti dai 615.125,90 Kwh risparmiati di energia) equivalgono al lavoro svolto annualmente da 3137 alberi.

⁵⁷ Vedasi nota numero 46

⁵⁸ Fonte: <https://finestrainformativa.com/biblioteca/articolo/read/42147-come-si-calcola-la-co2-equivalente>

⁵⁹ Fonte: <https://www.xclimate.net/blog/quanta-co2-assorbe-un-albero/>

$$\text{n° alberi} = \frac{\text{consumi risparmiati [kWh]} \cdot 0,255 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}}{50 \text{ kg}}$$

Se si vuole interpretare diversamente lo stesso valore, un campo da calcio alberato (con circa 200 alberi) può assorbire tra le 5 e le 10 tonnellate di CO₂ all'anno ⁶⁰, a seconda delle specie. Quindi per compensare 100 tonnellate di CO₂, servirebbero tra i 10 e i 20 campi da calcio pieni di alberi.

In questo caso, le 156,86 tonnellate di CO₂, corrispondono alla non emissione di 16 - 31 campi da calcio a seconda della densità e del tipo di alberi presenti.

⁶⁰ Fonte: <https://www.figc.it/it/federazione/news/presentato-il-uefa-carbon-footprint-calculator-il-calcolatore-ufficiale-per-il-calcolo-delle-emissioni-prodotte-dalle-attivita-calcistiche/>

7 CANTIERE E COLLAUDO

Sottoscritta l'offerta da parte del cliente, Würth procede a ordinare ai propri fornitori i corpi illuminanti e sensoristica correlata, risultanti dal progetto esecutivo (illuminazione ordinaria e di emergenza, se presente) e a sottoscrivere contratto di subappalto dei lavori con la ditta installatrice scelta.

Allo studio esterno di progettazione, con il quale il gruppo di lavoro Würth collabora, si affidano, invece, la direzione lavori, che si occupa anche degli aspetti inerenti la sicurezza, e il collaudo dei lavori con rilascio delle certificazioni di legge.

Concordata con il cliente la data di inizio lavori, il team Würth si occupa di coordinare il direttore dei lavori, l'installatore e il committente. Inoltre, durante il cantiere il project manager, per questi due casi studio, si reca a supervisionare lo stato di avanzamento lavori.

Terminato il cantiere, si recepisce da parte della ditta installatrice la Di.Co⁶¹ che attesta la regolarità d'arte dell'impianto, secondo l'art. 7 del D.M. 37/08, e il verbale di smaltimento dei corpi illuminati secondo normativa; si procede quindi al collaudo, effettuato con il direttore lavori e il project manager di Würth. Vengono quindi rilasciati da parte dello studio esterno di progettazione, gli elaborati as-built unitamente al verbale di collaudo, in cui si evidenziano le misurazioni effettuate mediante luxmetro nei vari ambienti di lavoro: si riportano i valori dei lux medi rilevati e si verifica che essi siano rispondenti al progetto esecutivo. Vedasi negli allegati stralcio di verbale di collaudo per entrambi gli edifici.

⁶¹ Di.Co Dichiarazione di Conformità è un documento, o un insieme di documenti, con cui si dichiara che un bene (per esempio un impianto o un dispositivo o un materiale) rispetta gli standard imposti dalle norme tecniche e/o dalla legge.

8 CONCLUSIONI

Facendo riferimento a quanto riportato al capitolo 6, si evince come il relamping consenta un beneficio economico alle imprese, indipendentemente che l'investimento sia sottoscritto sottoforma di acquisto o noleggio. Il risparmio economico che si può trarre spiega come il settore dell'illuminazione LED abbia registrato una forte espansione negli ultimi anni.

Come rilevato dal primo caso studio, è possibile raggiungere un soddisfacente risparmio energetico, pari a 85.756,70 kWh annui semplicemente mediante la conversione dei corpi illuminanti alla tecnologia LED, senza quindi l'utilizzo di tecnologie a supporto della gestione dell'impianto di illuminazione. Tale riduzione dei consumi annui ha un risvolto non solo economico, ma anche di tutela ambientale poiché porta alla non immissione in atmosfera di quasi 22 tonnellate di anidride carbonica l'anno.

Come riportato nella seguente tabella, il risparmio economico che ne consegue dipende dalla scelta finanziaria: acquisto o noleggio operativo. Nel primo caso il risparmio economico è superiore di quasi 5 mila euro in dieci anni poiché non ci sono gli oneri di finanziamento. L'investimento è ugualmente vantaggioso poiché in entrambi i casi il *Valore Attuale Netto - VAN* è positivo e l'investimento ha un *Periodo di Rimborso Scontato - DPP* di due anni. Ovviamente, nel primo caso il *Tasso Interno di Rendimento - TIR* è superiore del 25% (77% per acquisto contro 52% per noleggio a due anni) per l'assenza degli oneri finanziari, l'investimento iniziale ha un importo inferiore.

La migliore opzione di retrofit è quella che ha il *VAN* più alto e il *DPP* più basso, ecco quindi che la soluzione di acquisto è la più vantaggiosa in termini economici, perché a parità di *DPP*, ha un *VAN* superiore di 4.603,79 € (*VAN* pari a 208.352,20 € per la soluzione di acquisto contro *VAN* di 203.748,41 € per noleggio a due anni).

Tabella 42: Tabella riassuntiva dell'analisi finanziaria dell'edificio 1

Edificio 1			
Stima situazione attuale			
Potenza nominale impianto Attuale		39,53 kW	
Spesa energia elettrica annua		37.539,15 €	
Consumo attuale annuo		125.130,50 kWh	
Costo attuale di un Kwh		0,30 €	
Costi di manutenzione annui		1.385,81 €	
Stima soluzione con riqualificazione a LED			
Potenza futura nominale impianto		12,72 kW	
Spesa futura energia elettrica annua		11.812,14 €	
Consumo futuro annuo		39.373,80 kWh	
Costo Totale di rinnovamento		35.000,00 €	
Riduzione percentuale dei consumi		-68,53%	
Risparmio energetico annuo		85.756,70 kWh	
Risparmio annuo di anidride carbonica		21,87 ton	
Soluzione finanziaria			
Acquisto		Noleggio operativo	
Capitale da finanziare	35.000,00 €	Capitale da finanziare	35.000,00 €
Durata finanziamento anni	-	Durata finanziamento anni	2
Rata finanziamento annuale	-	Rata finanziamento annuale	19.801,90 €
Risparmio totale in 10 anni ⁶²	236.128,22 €	Risparmio totale in 10 anni	231.524,43 €
VAN cumulato a 10 anni	208.352,20 €	VAN cumulato a 10 anni	203.748,41 €
TIR	77%	TIR	52%
DPP	2	DPP	2
AEV cumulato a 10 anni	23.213,33 €	AEV cumulato a 10 anni	22.700,41 €

Come si evince dal secondo caso studio, i sistemi di dimmerazione (la regolazione dell'intensità luminosa) incrementano il risparmio energetico conseguibile, ma non sempre, il loro costo ne giustifica l'installazione. I sistemi di dimmerazione richiedono componenti elettronici aggiuntivi (sensori, controller, software) che hanno un costo di acquisto e spesso anche di gestione e manutenzione. Richiedono inoltre un'installazione più complessa ed eventuali modifiche all'impianto elettrico esistente. In ambienti dove

⁶² Risparmio comprensivo dei costi di installazione

l'illuminazione è già ottimizzata o usata per poche ore al giorno, il beneficio che può derivare da tali sistemi è limitato.

L'applicazione del sistema di dimmerazione è sostenibile come importi solo per il secondo caso studio poiché il numero di corpi illuminanti che beneficerebbero del sistema è nettamente superiore (45 "WLED Mir" per l'edificio 1, contro 538 del secondo). Il costo dei componenti, della relativa installazione e della configurazione del sistema di gestione è quindi giustificato perché porta ad un'attenuazione dei consumi del 50%⁶³ per 670 (538 "WLED Mir" e 132 "WLED Eva Hp Radar Sensor") corpi illuminanti da esso gestiti. Si evince infatti (vedere Tabella 28), che grazie all'attenuazione del 50% è possibile ottenere una riduzione dei consumi del 82,2% per i "WLED Mir" e del 81,6% per le lampade "WLED Eva Hp Radar Sensor".

Tabella 42: Calcolo del Valore Equivalente Annuale AEV per un investimento a 10 anni con formula di acquisto

Edificio 2			
Stima situazione attuale			
Potenza nominale impianto Attuale		237,90 kW	
Spesa energia elettrica annua		207.868,82 €	
Consumo attuale annuo		769.844,50 kWh	
Costo attuale di un Kwh		0,27 €	
Costi di manutenzione annui		7.404,82 €	
Stima soluzione con riqualificazione a LED			
Potenza futura nominale impianto		84,04 kW	
Spesa futura energia elettrica annua		41.784,82 €	
Consumo futuro annuo		154.758,60 kWh	
Costo Totale di rinnovamento		291.023,17 €	
Riduzione percentuale dei consumi		-79,90%	
Risparmio energetico annuo		615.125,90 kWh	
Risparmio annuo di anidride carbonica		156,86 ton	
Soluzione finanziaria			
Acquisto		Noleggio operativo	
Capitale da finanziare	291.023,17 €	Capitale da finanziare	291.023,17 €
Durata finanziamento anni	-	Durata finanziamento anni	2
Rata finanziamento annuale	-	Rata finanziamento annuale	- 159.402,40 €

⁶³ Secondo dati statistici cautelativi forniti dal produttore

Soluzione finanziaria			
Acquisto		Noleggio operativo	
Risparmio totale in 10 anni ⁶⁴	1.443.864,96 €	Risparmio totale in 10 anni	1.416.083,32 €
VAN cumulato a 10 anni	1.266.132,51 €	VAN cumulato a 10 anni	1.238.350,88 €
TIR	59%	TIR	42%
DPP	2	DPP	2
AEV cumulato a 10 anni	141.064,78 €	AEV cumulato a 10 anni	137.969,52 €

Come per il primo edificio, anche per il secondo l'investimento è vantaggioso sia che si sottoscriva o meno un finanziamento a due anni.

La migliore opzione di retrofit è quella che ha il VAN più alto e il DPP più basso, ecco quindi che, anche in questo caso, la soluzione di acquisto è la più vantaggiosa in termini economici, perché a parità di DPP, ha un VAN superiore del 2.19%, c'è un delta di 27.781,64 €. Nel caso in cui si proceda con l'acquisto, ovviamente, anche il *Tasso Interno di Rendimento - TIR* è superiore del 17% poiché l'investimento ha un importo inferiore, mancando gli oneri finanziari del noleggio.

La soluzione di acquisto è pertanto in entrambi i casi la soluzione finanziaria più vantaggiosa, ma obbliga la società a stanziare l'intera cifra necessaria al rinnovamento dell'impianto illuminotecnico e spesso questo comporta il non poter affrontare nell'immediato altri investimenti, quali ad esempio il rinnovamento di macchinari, attrezzature produttive, impianti (elettrici, idraulici, di climatizzazione), ecc.

L'offerta finanziaria di noleggio operativo è autoliquidante, in quanto non ha impatto negativo sul bilancio societario essendo formulata in modo tale da spostare i costi della bolletta elettrica, relativi all'illuminazione, alla voce di relamping includendo gli oneri finanziari. Il noleggio consente alla società di non dover immobilizzare il capitale e, anzi, come visto, permette di avere un cash flow già dal primo anno di sottoscrizione dello stesso. Consente alle società di poter intraprendere la scelta di aggiornamento dell'impianto di illuminazione, senza dover inserire a budget alcuna spesa ulteriore,

⁶⁴ Risparmio comprensivo dei costi di installazione

consentendo altresì di poter beneficiare fin da subito del risparmio economico che ne consegue. I costi sono distribuiti nel tempo, rendendo la spesa più sostenibile.

Trattandosi di un noleggio operativo e non di un leasing, inoltre, per gli anni di sottoscrizione del noleggio, il bene non è di proprietà della società che ne beneficia, bensì della finanziaria. Infine, essendo considerato un costo operativo non ricade nei cespiti aziendali, quindi non incide sul rating creditizio come farebbe un investimento in cespiti e questo porta ad altri numerosi vantaggi: come:

- non aumenta l'attivo fisso dell'azienda poiché il bene non viene contabilizzato come immobilizzazione;
- migliora alcuni indicatori finanziari, come il ROI e il ROA.

In sintesi, il noleggio operativo è vantaggioso per le aziende che vogliono preservare liquidità, evitare immobilizzi e mantenere snello il bilancio. Evitare di immobilizzare un capitale, consente anche alle aziende, se posseggono più sedi operative, di poter eseguire contemporaneamente o a distanza di pochi anni più relamping sulle stesse. Il vantaggio per il fornitore del servizio di rinnovamento dell'impianto, in questo caso Würth, è quindi la fidelizzazione del cliente. Il noleggio operativo non è solo una formula finanziaria: è uno strumento di fidelizzazione, perché trasforma la vendita in un servizio continuativo, basato su fiducia, flessibilità e valore aggiunto.

Aspetto altrettanto importante del progetto è il tema della tutela ambientale perché grazie ad ogni relamping è possibile evitare che vengano immesse in atmosfera tonnellate di anidride carbonica. Come si evince confrontando i dati dei due edifici, l'adozione di corpi illuminati LED, porta alla riduzione delle emissioni in atmosfera di anidride carbonica perché LED (diodi a emissione luminosa), non bruciando combustibili, non producono CO₂ durante il funzionamento. Non sono quindi responsabili di emissioni dirette, ma solamente di indirette perché consumano pur sempre energia elettrica, e se questa energia proviene da fonti fossili, allora si generano emissioni di anidride carbonica. Tuttavia, grazie alla loro alta efficienza energetica, i LED consumano molta meno energia rispetto ad altre tecnologie (alogene, fluorescenti, a incandescenza), e quindi contribuiscono a ridurre le emissioni indirette.

Considerando un consumo annuo di riferimento, utilizzando lampade LED rispetto ad altre tecnologie, si hanno dai 200 kg (per le lampade fluorescenti) agli 800 kg (per le lampade ad incandescenza) di anidride carbonica in meno immessa in atmosfera ogni anno.

I due edifici, ogni anno grazie all'intervento di riqualificazione dell'impianto illuminotecnico non emettono in atmosfera rispettivamente quasi 22 e 157 tonnellate di anidride carbonica che corrispondono al lavoro svolto da 3574 alberi annualmente.

Secondo l'ISPRA, le emissioni totali di gas serra (CO₂ equivalente) in Italia sono diminuite del 26% tra il 1990 e il 2023, grazie alla riduzione dei consumi energetici, alla crescita delle fonti rinnovabili e al miglioramento dell'efficienza energetica. Nel 2022, l'Italia ha emesso circa 322,9 milioni di tonnellate di CO₂ da combustibili fossili, circa 0,84% delle emissioni mondiali.

Appare quindi evidente come, le 179 tonnellate di anidride carbonica non emesse ogni anno grazie a questi due interventi siano numericamente poco incisive, ma anche il più piccolo risparmio energetico contribuisce a un futuro più sostenibile, ogni gesto conta, la somma di piccoli contributi genera grandi cambiamenti.

Da quest'anno, grazie ai risultati estremamente positivi ottenuti nel corso del decennio e il know how del team, si è potuta ampliare la proposta di servizi offerti, includendo la progettazione e realizzazione anche di impianti fotovoltaici, di pompe di calore e colonnine di ricarica per consentire alle aziende una transizione energetica più completa. Continueremo con dedizione ad aiutare le società ad essere sempre più green e contribuire in modo ancora più significativo al benessere del nostro pianeta.

Svolgere tale attività è quindi gratificante per diverse ragioni, sia personali che collettive:

- Permette di contribuire a un bene più grande: aiutare il pianeta significa partecipare attivamente alla salvaguardia dell'ambiente e del clima. Sapere che il proprio lavoro ha un impatto positivo sulla salute della Terra dà un senso profondo di scopo e significato. È gratificante sapere che le proprie azioni aiutano a preservare le risorse naturali per le generazioni future.

- Permette di mantenere un forte legame con l'etica della sostenibilità. Lavorare in un ambito che rispecchia questi valori personali, rafforza l'identità e la coerenza interiore, generando soddisfazione e motivazione duratura.
- Ridurre le emissioni di anidride carbonica è un obiettivo concreto e misurabile. Vedere i risultati, come una diminuzione delle emissioni o un aumento dell'efficienza energetica, offre un senso di realizzazione e progresso.
- *“La più grande minaccia al nostro pianeta è la convinzione che lo salverà qualcun altro”*⁶⁵. Contribuire alla riduzione delle emissioni significa lasciare un'impronta positiva nel mondo. È un modo per costruire un'eredità che va oltre il successo individuale, influenzando positivamente la società e l'ambiente.

I grandi cambiamenti che stiamo vivendo riguardano tutti da vicino, influenzano la sopravvivenza dell'intera umanità e del nostro Pianeta come lo conosciamo. La soluzione è concentrare i nostri sforzi nel creare un nuovo futuro più sostenibile. La tutela dell'ambiente rappresenta una responsabilità collettiva: è nostro dovere agire con consapevolezza per preservare il pianeta e garantire un futuro sostenibile.

⁶⁵ Cit. Robert Swan

9 LEGISLAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel testo si fa riferimento ai seguenti documenti, in modo tale che il loro contenuto, in tutto o in parte, costituisca i requisiti per il presente documento.

D.lgs. 81/08	Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
D.M. 37/08	Decreto del ministero dello sviluppo economico 22 gennaio 2008, n. 37. Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici
UNI EN 12665:2018	Luce e illuminazione - Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici
UNI EN 12464-1:2021	Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni
UNI EN 12464-2:2014	Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno
EC 1-2012 UNI 11165:2005	Luce e illuminazione - Illuminazione di interni - Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR
UNI EN 17037:2022	Luce diurna negli edifici
ISO/CIE TS 22012:2019	Light and lighting - Maintenance factor determination - Way al working

UNI CEI EN 17463:2022	Valutazione degli investimenti relativi ad interventi nel settore energetico (VALERI)
UNI ISO/TS 50044:2022	Progetti di risparmio energetico (EnSP) - Linee guida per la valutazione economica e finanziaria

10 BIBLIOGRAFIA

G. Moncada Lo Giudice, A. de Lieto Vollaro. Illuminotecnica. Casa Editrice Ambrosiana. Seconda edizione.

Vincenzo Corrado. Appunti delle lezioni di "Fisica Tecnica" del corso di laurea Triennale in Ingegneria Civile presso il Politecnico di Torino. Rielaborazione a cura dell'autrice.

Arianna Astolfi e Vincenzo Corrado. Applicazioni di Illuminazione e Acustica. Celid, Edizione novembre 2012.

Paolo Oliaro e Vincenzo Corrado. Appunti delle Lezioni del corso di Laurea in Architettura – Fisica Tecnica e Impianti. Politecnico di Torino – Dipartimento di Energetica. Edizione marzo 1999.

Bruno Rossi. Ottica. Masson. Edizione 1991

Carlo Clerici. Quaderni di Elettrificazione Illuminotecnica – Principi di Fotometri. Editoriale Delfino – Milano. Seconda edizione.

Pietro Palladino e Paolo Spotti. Illuminare con i led – Principi e applicazioni della luce elettronica. Tecniche nuove. Edizione 2012.

Gianni Forcolini. Illuminazione led. Funzionamento, Caratteristiche, Prestazioni e Applicazioni. Hoepli. Seconda edizione 2012.

Vincenzo Corrado. Dispense “Technical and economic analysis of investments for energy renovation.” Master of Science in Energy And Nuclear Engineering / Building Engineering / Civil Engineering. Corso “Energy Audit and Certification of Buildings” presso il Politecnico di Torino. Anno accademico 2023/2024.

11 SITOGRAFIA

Dati ISTAT: [Edifici](#)

Fatturato LED: [Il settore dell'illuminazione in Italia: dati e statistiche | iCRIBIS](#)

Dati ISPRA: [Le emissioni di CO2 nel settore elettrico nazionale e regionale — Italiano](#)

Storia del Gruppo Würth: [History | Würth Group \(wuerth.com\)](#)

Reinhold Würth: [Reinhold Würth | Würth Group \(wuerth.com\)](#)

Management del Gruppo Würth: [Gruppo Würth - Würth srl \(wuerth.it\)](#)

Storia di Würth Italia: [Würth srl: storia, valori e innovazione \(wuerth.it\)](#)

Phygital Hub: [Wverse - Würth Phygital Hub \(wuerth.it\)](#)

Holo Maintenance: [Assistenza remota per aziende in AR e MR - Würth Phygital Hub \(wuerth.it\)](#)

Holo Project: [Piattaforma di progettazione in AR e MR - Würth Phygital Hub \(wuerth.it\)](#)

Sviluppo sostenibile Würth: [Bilancio di Sostenibilità e Bilancio d'esercizio 2023 - Würth News](#)

Fondazione Würth: [The Würth Foundation | Würth Group \(wuerth.com\)](#)

Sostenibilità Würth: [CSR e Sostenibilità - Würth srl \(wuerth.it\)](#)

Arte e Cultura: [Arts and culture | Würth Group \(wuerth.com\)](#)

Sponsorizzazioni sportive: [Sports sponsoring | Würth Group \(wuerth.com\)](#)

Definizione di luce: [Luce - Significato ed etimologia - Vocabolario - Treccani](#)

Excursus storico: [Luce - Enciclopedia - Treccani](#)

Excursus storico: [Le teorie sulla natura della luce - Matematicamente](#)

Excursus storico: Prof. Mara Bruzzi. Appunti del corso Fisica dei semi conduttori. Il dualismo onda - particella. Lezione n. 1. Università degli studi Firenze. [Diapositiva 1 \(unifi.it\)](#)

La luce come fenomeno percettivo: [Lambertiano: la superficie riflettente uniforme - \(lunam.it\)](#)

Excursus storico: [Storia dell'illuminazione artificiale e della sua evoluzione: dal fuoco ai moderni LED \(geopop.it\)](#)

I Led SMD: [Led SMD: Voltaggio, Caratteristiche e principali Differenze - LedLedITALIA.it](#)

I Led COB: [Led COB, Cosa Sono: Uso e Vantaggi di questa Tecnologia - LedLedITALIA.it](#)

Temperatura di giunzione: <https://www.progettazioneottica.it/determinare-la-temperatura-di-giunzione-di-un-led/1103>

Sistemi di illuminazione intelligente: [Cos'è l'illuminazione intelligente? Una guida completa | Philips Hue IT](#)

Sistemi di illuminazione intelligente [Il sistema di gestione dell'illuminazione più completo e aperto per una Smart City | Schröder](#)

Sistemi di illuminazione intelligente: [Cosa sono i sistemi di controllo dell'illuminazione? • Helvar](#)

Dali: [Sistema DALI per l'Illuminazione: Cos'è, Funzionamento e Schemi - Farelettronica](#)
[La guida definitiva a DALI - uPowerTek](#)

UGR: <https://www.luxemozione.com/2019/02/controllo-dellabbagliamento-ugr-unified.html>

Mix Energetico nazionale: <https://www.gse.it/servizi-per-te/news/fuel-mix-pubblicata-la-composizione-del-mix-energetico-per-l-anno-2024>

Analisi ambientale: <https://finestrainformativa.com/biblioteca/articolo/read/42147-come-si-calcola-la-co2-equivalente>

Analisi ambientale: <https://www.xclimate.net/blog/quanta-co2-assorbe-un-albero/>

Analisi ambientale: <https://www.gestireilverde.it/quanta-co2-viene-assorbita-da-un-albero/>

Analisi ambientale: <https://www.hqe.it/2023/04/07/riduzione-compensazione-emissioni-calcolo-assorbimento-co2-alberi/>

Analisi ambientale: <https://www.figc.it/it/federazione/news/presentato-il-uefa-carbon-footprint-calculator-il-calcolatore-ufficiale-per-il-calcolo-delle-emissioni-prodotte-dalle-attivita0-calcistiche/>

12 RINGRAZIAMENTI

La Employee Value Proposition di Würth Italia è *“Il futuro appartiene ai coraggiosi”* e, con coraggio, ad aprile 2023 ho accettato la nuova sfida. Ho approfondito l’argomento riguardante non solo l’illuminazione ambientale, ma anche la tecnologia LED, la normativa in vigore, ho imparato ad utilizzare un nuovo software per la progettazione e ho ampliato le mie conoscenze in ambito elettronico e dei sistemi di controllo intelligenti. Grazie ai cantieri ho anche potuto applicare le conoscenze apprese durante il corso di Sicurezza nei Cantieri tenutosi dal professor Alberto Lauria.

Ho avuto l’opportunità di confrontarmi con molte figure interne ed esterne all’azienda e di crescere non solo professionalmente, ma soprattutto personalmente. Ho accettato con entusiasmo le sfide quotidiane che mi venivano sottoposte non permettendo agli errori e ai problemi di abbattermi e demoralizzarmi. Reputo che questo sia una delle migliori scuole per il futuro professionale. Ringrazio non solo Würth Italia di avermi permesso di applicare le conoscenze apprese nei miei anni di studi, ma anche il Politecnico di Torino per avermi formato e avermi dato gli strumenti e l’apertura mentale necessari per intraprendere al meglio la mia vita lavorativa.

In particolar modo, ringrazio il professor Vincenzo Corrado, relatore della presente Tesi di Laurea, per il supporto, la disponibilità e la gentilezza dimostrati. La sua comprensione delle difficoltà legate alla stesura di una tesi mentre si lavora a tempo pieno e si viaggia frequentemente per motivi lavorativi è stata per me di grande conforto e motivazione. La sua competenza e il suo approccio umano hanno reso questo percorso non solo possibile, ma anche arricchente.

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine a Roberto Cavosi, Direttore Commerciale Würth, non solo per il contributo come correlatore, ma soprattutto per il ruolo che ricopre come manager e per l’esempio quotidiano di leadership che rappresenta. La sua visione, competenza e capacità di ispirare sono per me un costante punto di riferimento, e ambisco a seguire il suo esempio.

Ringrazio il direttore tecnico commerciale Massimo Peyronel per avermi voluto nel team e avermi trasmesso in tutti questi anni le sue competenze nei settori LED, energetico ed elettrico. Oggi possiedo competenze tecniche in ambiti che esulano dal mio percorso di studi per merito suo.

Ringrazio l'ing. Giovanni Brentari, responsabile del team Green Solution, che in qualità di manager, insieme a Massimo Peyronel, dimostrano ogni giorno fiducia nelle mie competenze, affidandomi responsabilità sempre maggiori. Il loro supporto e la loro guida sono per me fondamentali: la crescita che ho avuto in questi tre anni non sarebbe stata possibile senza il loro contributo.

Ringrazio i colleghi del team e i professionisti degli studi esterni; in particolar modo Luca Crudo, per il costante supporto, la collaborazione e lo spirito di squadra che hanno reso ogni sfida un'occasione di apprendimento e miglioramento.

Tra i colleghi aziendali desidero ringraziare in particolar modo Fabio Ferrarese, Head of Key Account Management, per la sua disponibilità, la competenza e il prezioso contributo che ha saputo offrirmi lungo il mio percorso di crescita professionale.

Ringrazio infine, Fabrizio Robbiano per aver accettato la mia candidatura in Würth, aver creduto nelle mie capacità e avermi guidato nelle scelte che ho dovuto affrontare in questi anni.

Un ringraziamento speciale va al mio compagno, Davide. Non è semplice esprimere quanto gli sia grata per tutto ciò che fa per me ogni giorno. Mi ha supportato e ha creduto in me durante tutti questi anni universitari. Ha avuto fiducia in me anche quando io stessa non la avevo e se oggi ho raggiunto questo traguardo è soprattutto grazie a lui. Mi ha spronata, sostenuta e incoraggiata in ogni momento, credendo in me e nelle mie capacità. Crede in me più di quanto io riesca a fare, ed è la mia bussola: è sempre grazie a lui se oggi sono in Würth e svolgo un'attività che mi appaga profondamente.

Non trovo le parole per ringraziare i miei genitori, ma riesco a esprimere la mia riconoscenza verso i miei nonni materni, i quali mi hanno trasmesso la capacità di superare le avversità che la vita ci riserva.

13 ALLEGATI

Tavole progettuali

Tavola 1 – Stralcio planimetrico edificio 1

Tavola 2 – Stralcio del rilievo edificio 1

Tavola 3 – Risultati illuminotecnici edificio 1

Tavola 4 – Stralcio planimetrico edificio 2

Tavola 5 – Stralcio del rilievo edificio 2

Tavola 6 – Risultati illuminotecnici edificio 2

Schede tecniche corpi illuminanti a LED

WLED POLAR 1 mod. RR 4000K CRI>80

WLED POLAR 2 mod. RR 4000K CRI>80

WLED POLAR 3 mod. RR 4000K CRI>80

WLED STILO mod. AM 4000K CRI>80

WLED MIR mod. S5 4000K CRI>80 UGR<25

WLED EVA HP mod. LD 4000K CRI>80

WLED QUADRA HP mod. QP 4000K CRI>80 UGR<19

WLED STELLA mod. 24 4000K CRI>80 UGR<19

WLED ZOE mod. B3 4000K CRI>80

WLED ZOE M 4000K CRI>80

WLED NUVOLA 4000K

Schede tecniche sistemi di gestione intelligenti

D- SENSOR - MB

Z- GWETH v1

ZQxSERVER v3.0

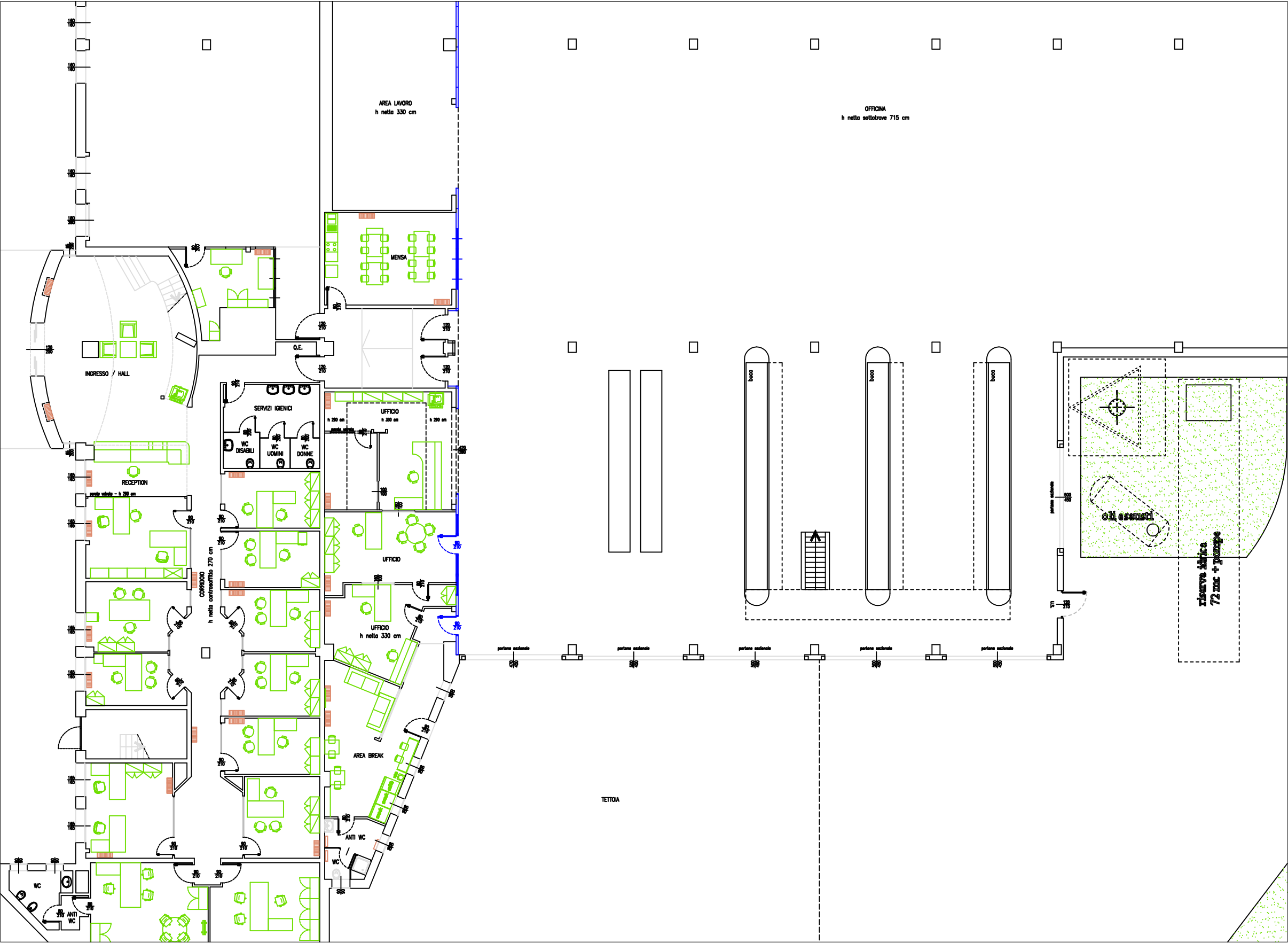
ZQ- TOUCH – 10PDVX

Verbali di collaudo

Verbale di collaudo della società di noleggio mezzi

Verbale di collaudo della società di trasporti e logistica

STRALCIO PLANIMETRICO EDIFICIO 1



SCALA 1:200



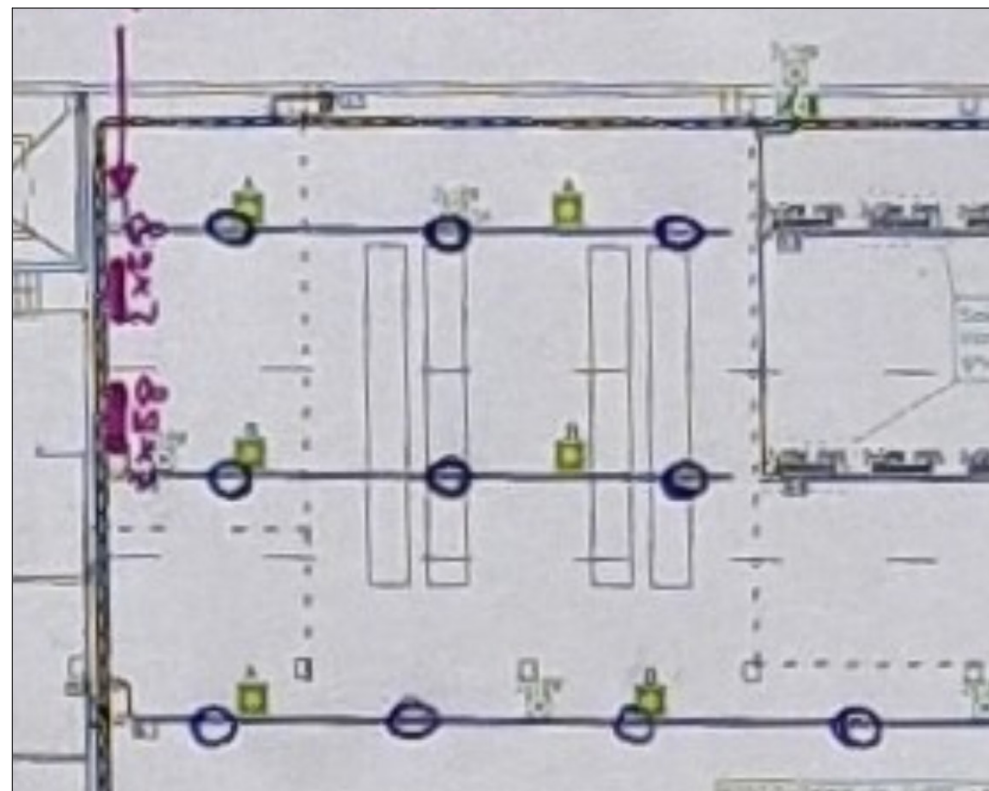
POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica
Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante

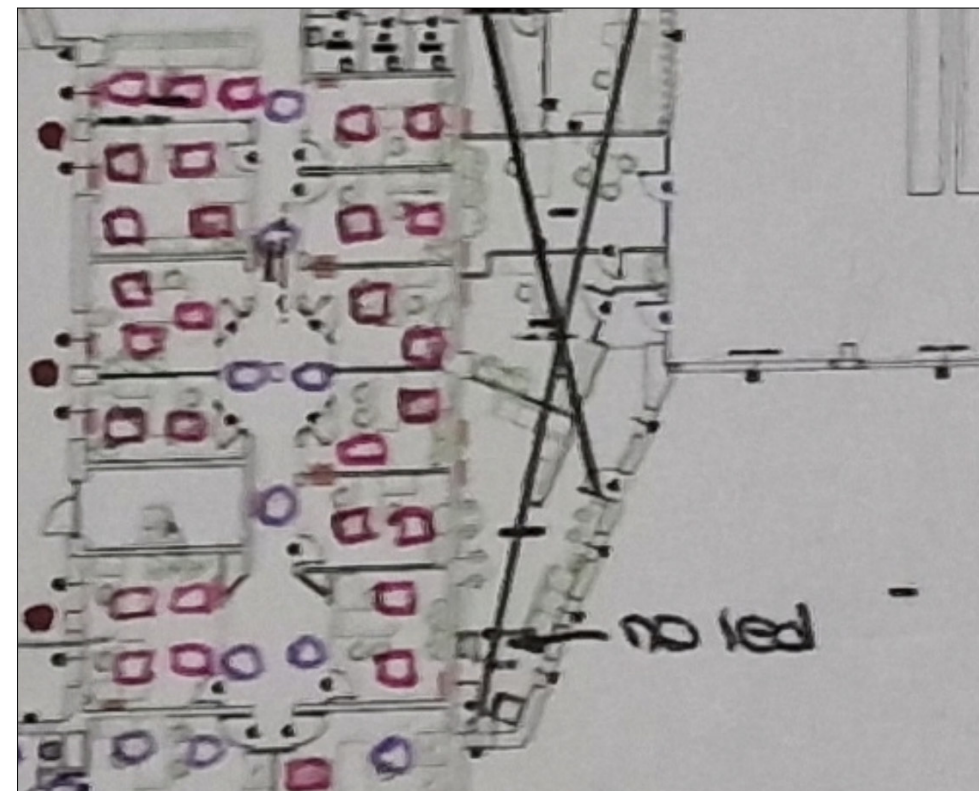
a.a. 2024/2025

Stralcio planimetrico edificio 1
in scala 1:200

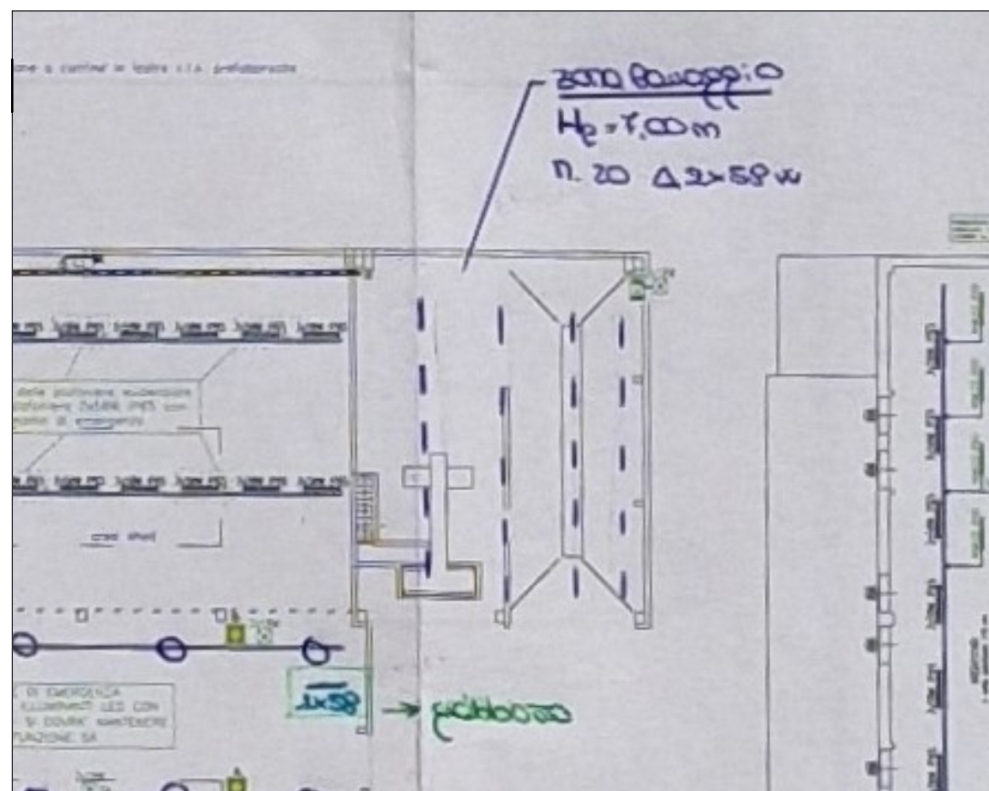
STRALCIO DEL RILIEVO EDIFICIO 1



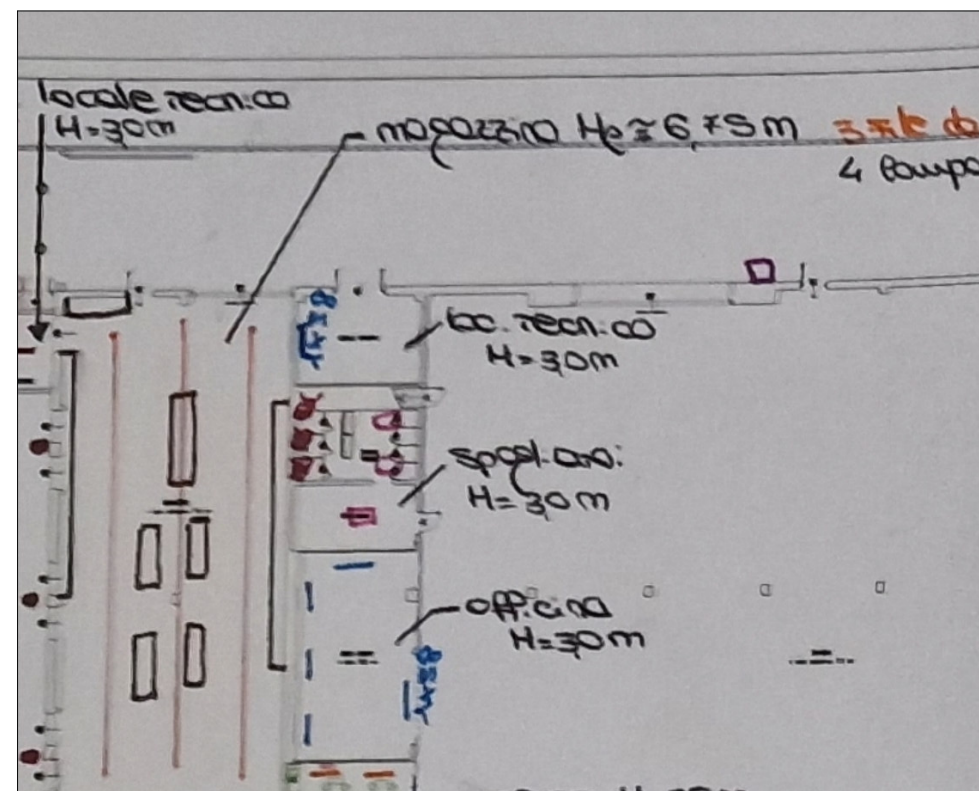
Stralcio del rilievo dell'officina



Stralcio del rilievo degli uffici e del corridoio



Stralcio del rilievo della zona lavaggio e dell'officina



Stralcio del rilievo del magazzino e altri locali

TAV. 2

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante

a.a. 2024/2025

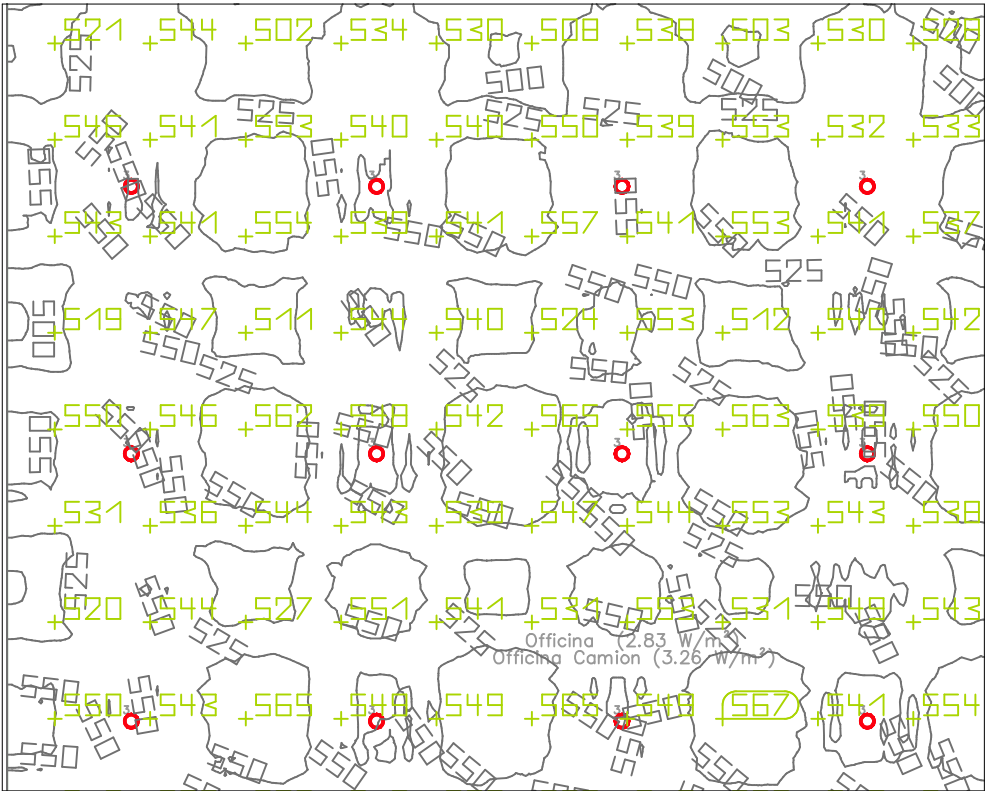
Stralcio del rilievo edificio 1
non in scala

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica

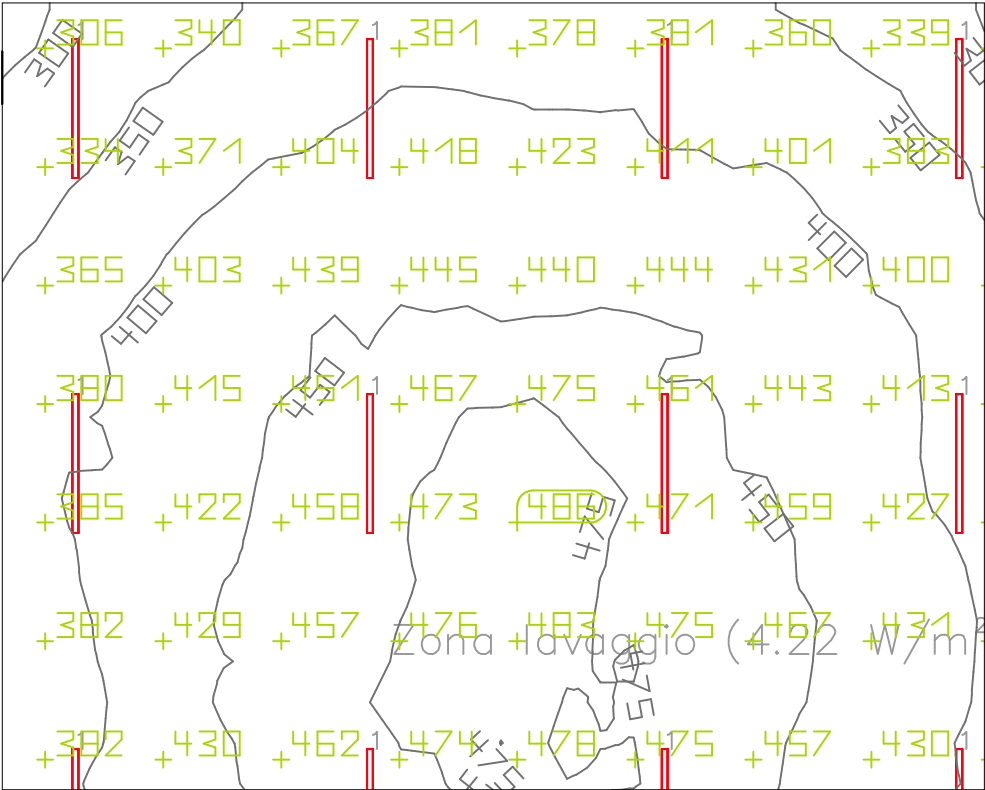
Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale



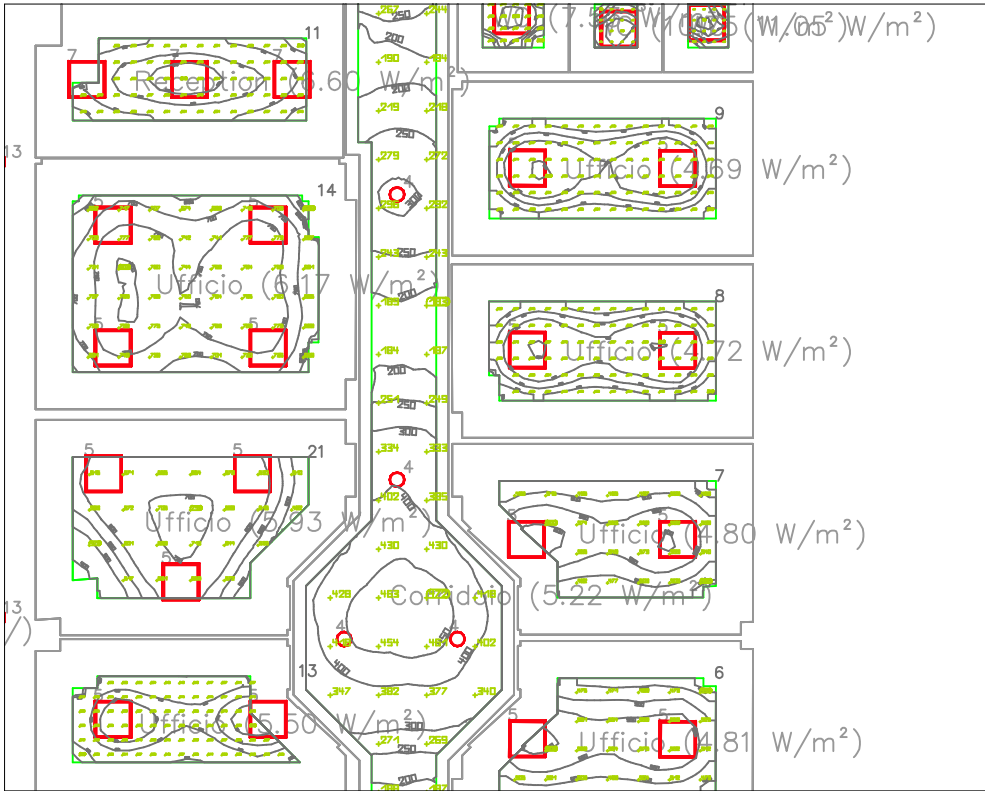
RISULTATI ILLUMINOTECNICI EDIFICIO 1



Stalcio zona officina



Stalcio zona lavaggio



Stralcio uffici e corridoio

LISTA LAMPADE

Simbolo	Nome Articolo	Dotazione	Flusso luminoso	Potenza allacciata
	EVA HP 47W 4000K mod. LD	160 x LED	8081 lm	47 W
	MIR 120W 4000K mod. S5 UGR<25	510 x LED	20348 lm	120 W
	STELLA 30W 4000K mod. 24 UGR<19	1 x LED	2975 lm	30 W
	QUADRA HP 32W 4000K mod. QP UGR<19	64 x LED	4158 lm	32 W
	QUADRA HP 27W 4000K mod. QP UGR<19	64 x LED	3555 lm	27 W

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante

a.a. 2024/2025

Risultati illuminotecnici edificio 1
non in scala

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica

Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale



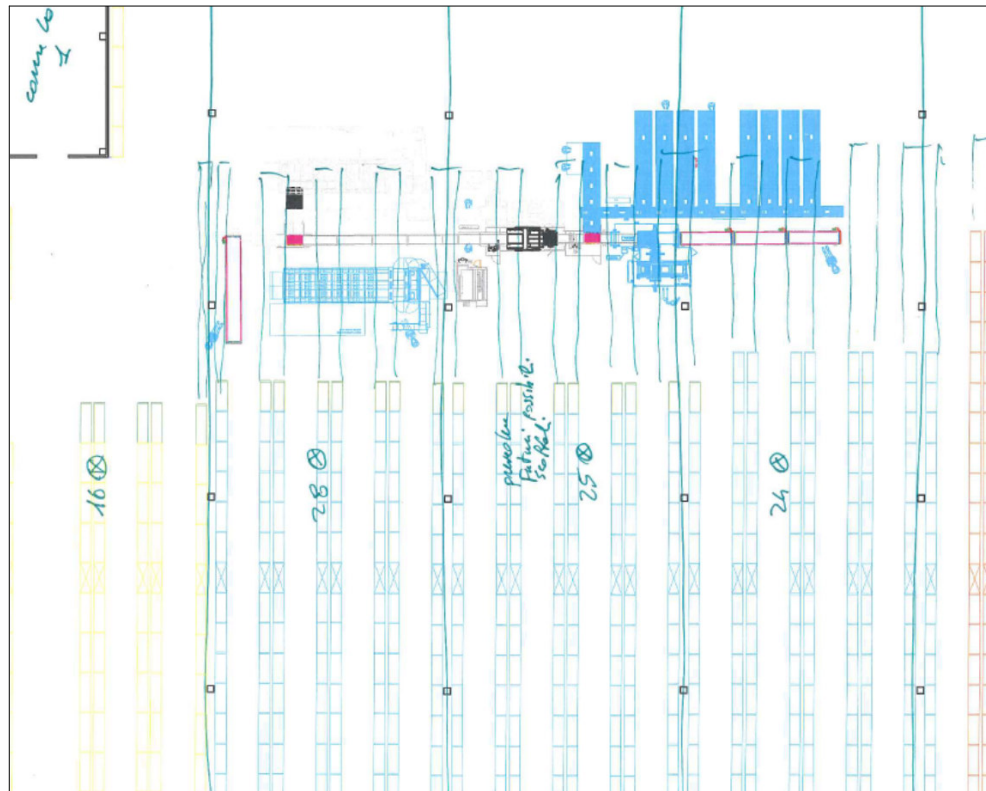
Architectural floor plan showing a layout of rooms and corridors. The plan includes a long corridor on the left with a series of rooms, each labeled '270' and '300'. A central area is labeled 'loc. pausa ristoro' (restroom) and 'area controllo bolle' (bubble control area). To the right, there is a large room labeled 'REI 120 400x500'. The plan also includes a staircase, a technical room ('LOCALE TECNICO'), and several other rooms labeled 'DEPOSITO', 'CORRIDOIO', 'ANTIBAGNO', and 'LOCALE TECNICO IMPIANTI'. Various symbols and dimensions are used throughout the plan to indicate room sizes, door types, and structural elements.

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante
a.a. 2024/2025

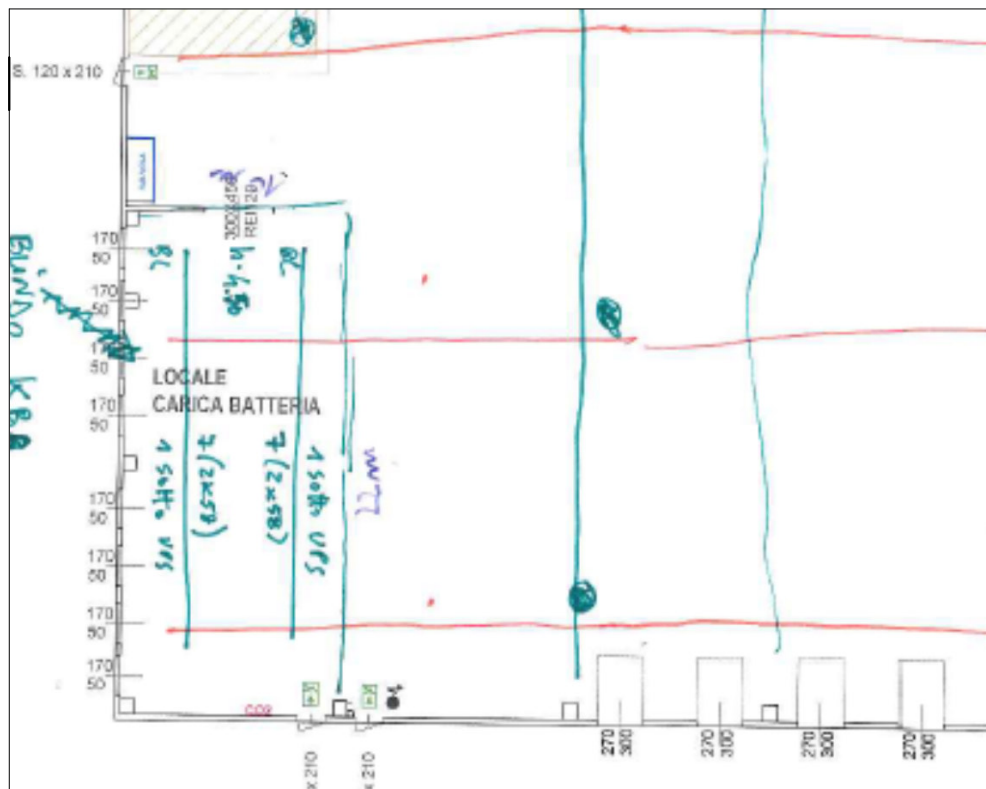
Stralcio planimetrico edificio 2
in scala 1:200

TAV. 4

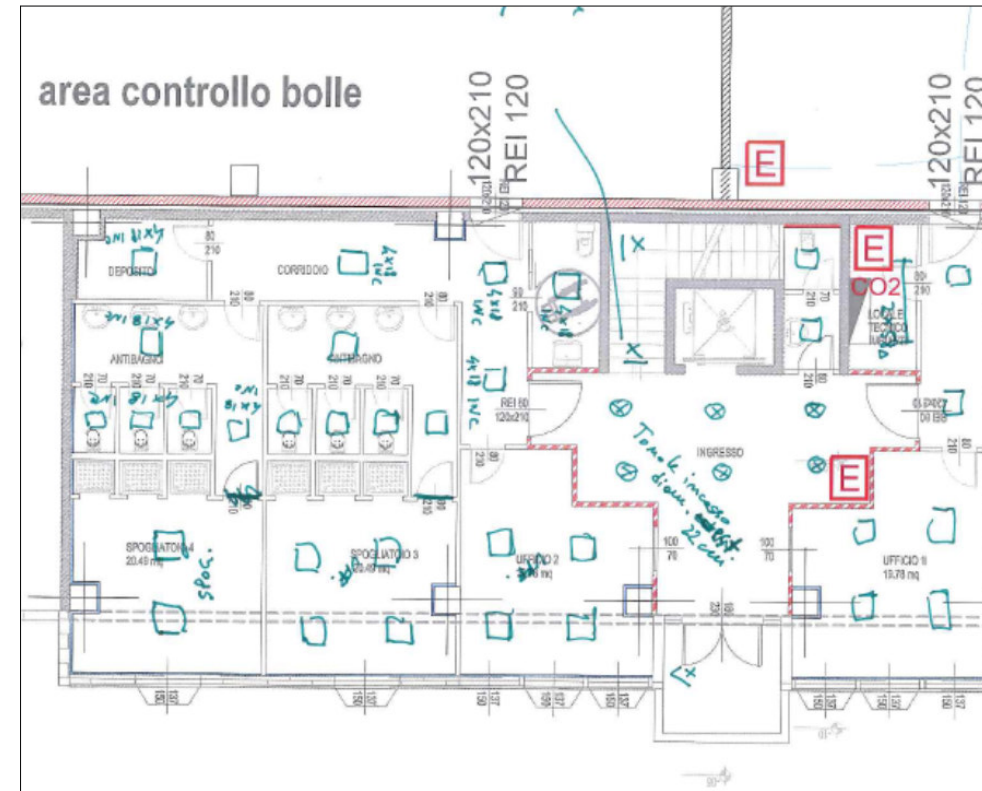
STRALCIO DEL RILIEVO EDIFICIO 2



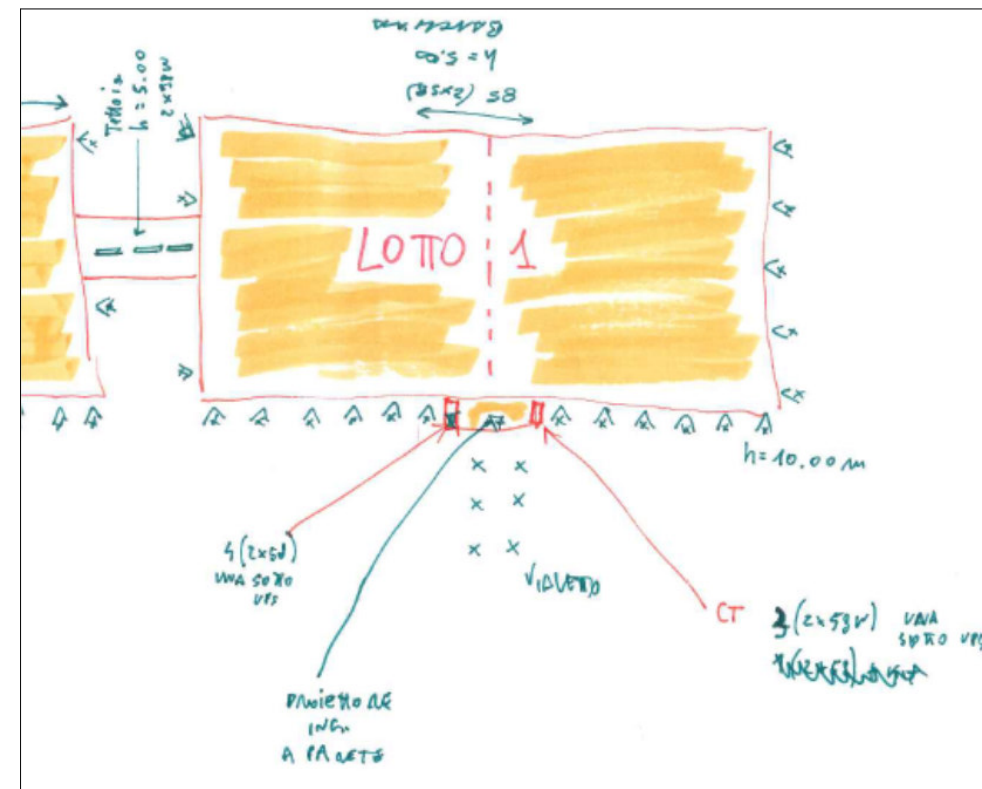
Stralcio del rilievo della zona magazzino



Stralcio del rilievo della zona di ricarica muletti



Stralcio del rilievo degli uffici piano terra



Stralcio del rilievo della zona esterna

TAV. 5

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante

a.a. 2024/2025

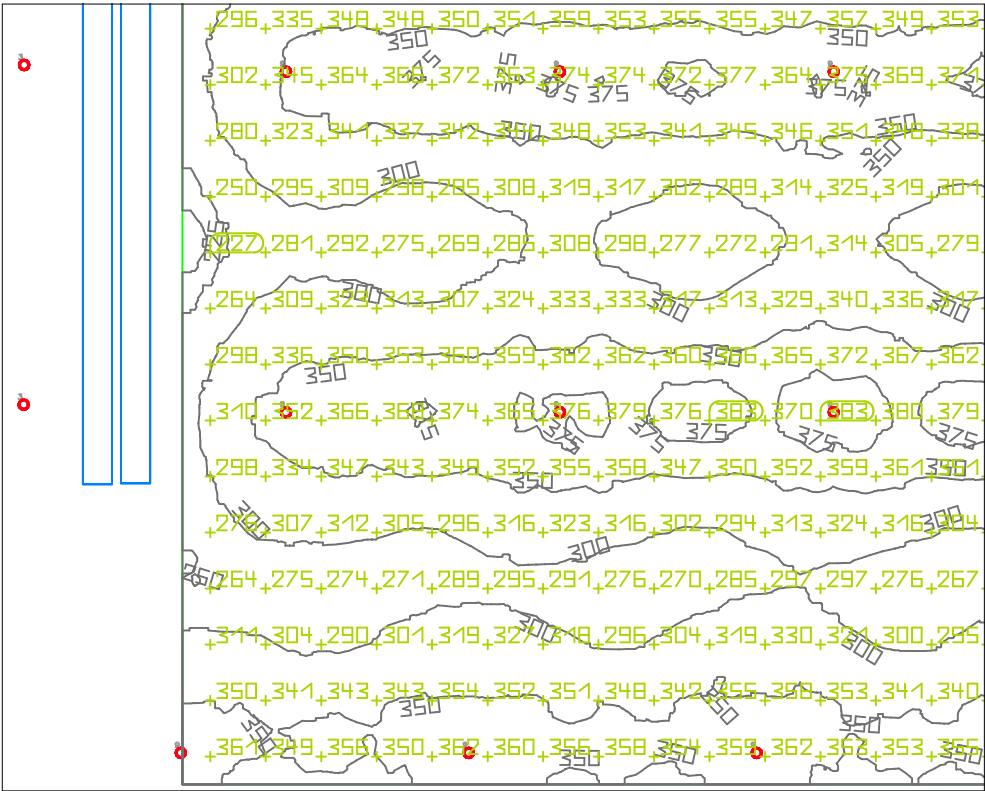
Stralcio del rilievo edificio 2
non in scala

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica

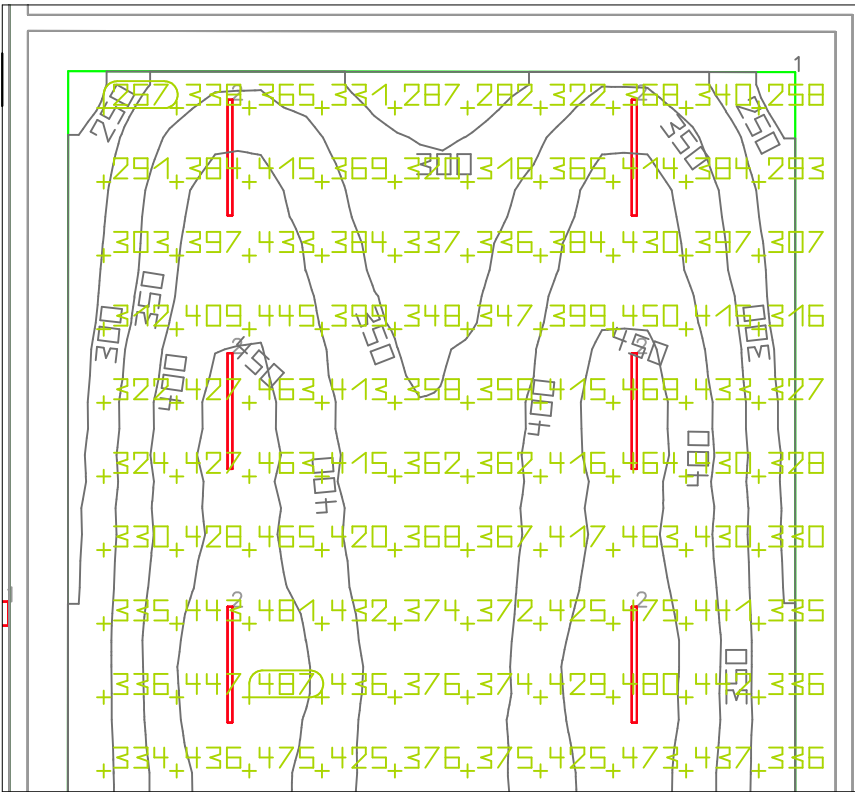
Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale



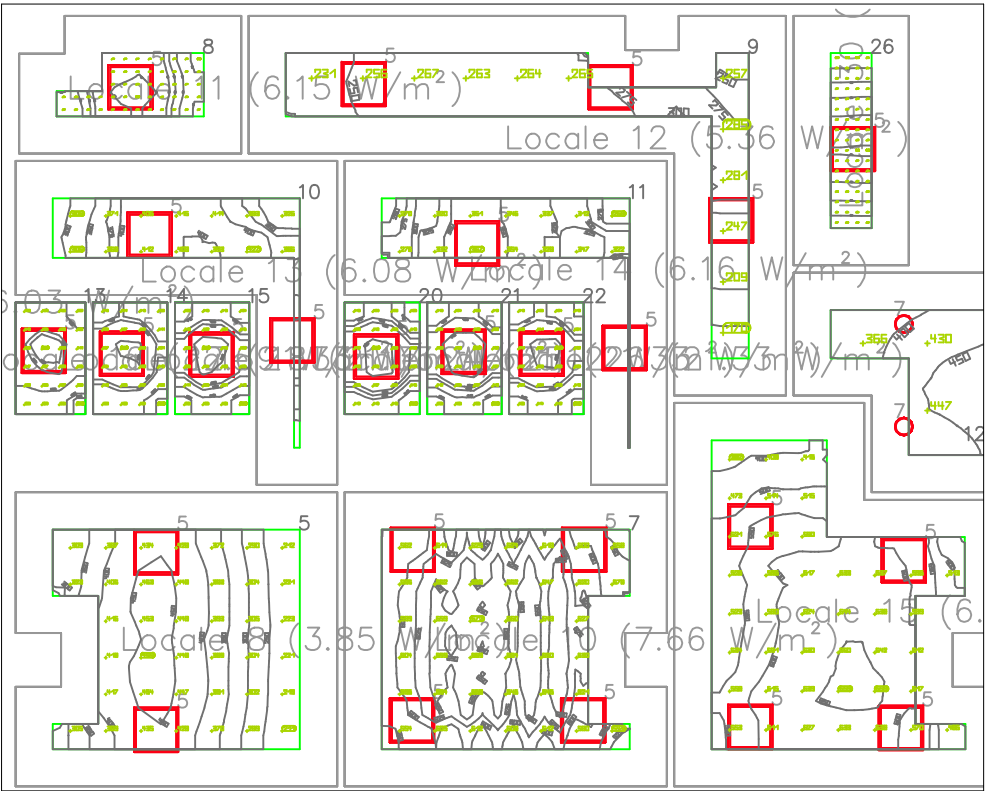
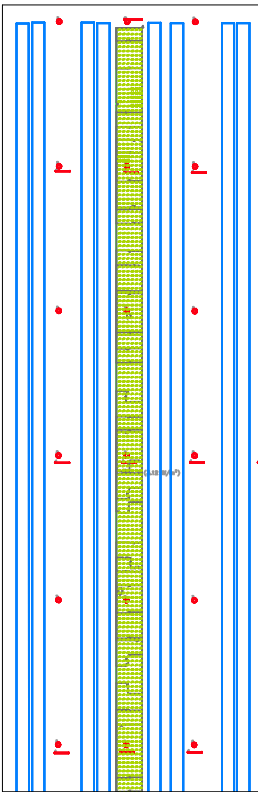
RISULTATI ILLUMINOTECNICI EDIFICIO 2



Stalcio zona aperta magazzino








Stalcio zona muletti



Stralcio uffici e corridoio

LISTA LAMPADE

Simbolo	Nome Articolo	Dotazione	Flusso luminoso	Potenza allacciata
	EVA HP 47W 4000K mod. LD Radar Sensor	160 x LED	8081 lm	47 W
	MIR 100W 4000K mod. S5 DALI UGR<25	510 x LED	17116 lm	100 W
	QUADRA HP 32W 4000K mod. QP UGR<19	64 x LED	4158 lm	32 W
	STELLA 26W 4000K mod. 24 UGR<19	1 x LED	3225 lm	26 W
	MIR 220W 4000K mod. S5 DALI UGR<25	510 x LED	35817 lm	220 W

Relatore: prof. Vincenzo Corrado
Correlatore: Roberto Cavosi
Candidato: Micol Chiara Ferrante

a.a. 2024/2025

Risultati illuminotecnici edificio 2
non in scala

POLITECNICO DI TORINO
Tesi di Laurea Magistrale
Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica

Progetto di relamping di edifici industriali
Applicazione della normativa vigente,
analisi economica e ambientale







WLED POLAR 1 mod.RR 4000K CRI>80



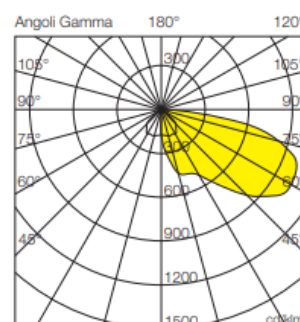
Proiettore led per interni ed esterni. Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore bianco, silver, antracite o marrone scuro. Vetro temperato trasparente spessore 4 mm, guarnizione in silicone, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe I Class I		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Terra Ground		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Parete Wall		IK 08		L90-B10 >100.000 h
	Palo Pole		IP 66		Ball Test DIN 18032-3
	Soffitto Ceiling		10 kV Surge Protection		7 YEARS WARRANTY
			Silver / Silver		
			Bianco opaco / Matt white		
			Antracite / Anthracite		
			Marrone scuro / Dark brown		
			100% rigenerabile 100% regenerable		

Ottica

Riflettore asimmetrico 65° in alluminio satinato



W tot.	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
30	4000K - CRI>80	3690	123	D1
40	4000K - CRI>80	5464	137	D1
50	4000K - CRI>80	6823	136	D1
54	4000K - CRI>80	7264	135	D1
68	4000K - CRI>80	7912	116	D1
73	4000K - CRI>80	10544	144	D1

Mod.	+ *K (CRI)	+ W. tot.	+ Options	○ Silver	Options ○ Bianco opaco	Options ● Antracite	Options ● Marrone scuro
PR	22 = ambra (CRI >80)	30	GL = on/off		BL = on/off	EL = on/off	CL = on/off
CR	30 = 3000*K (CRI >80)	40	GD = dali 2		BD = dali 2	LD = dali 2	CD = dali 2
AR	40 = 4000*K (CRI >80)	50	GV = vetro infrangibile / shatterproof glass		BV = vetro infrangibile / shatterproof glass	VI = vetro infrangibile / shatterproof glass	CV = vetro infrangibile / shatterproof glass
RR	50 = 5000*K (CRI >80)	54	GA = vetro acidato / acid-etched glass		BA = vetro acidato / acid-etched glass	VA = vetro acidato / acid-etched glass	CA = vetro acidato / acid-etched glass
	57 = 5700*K (CRI >80)	68					
	65 = 6500*K (CRI >80)	73					
	93 = 3000*K (CRI >90)						
	94 = 4000*K (CRI >90)						

Δ LUMEN

	*K	CRI	% Lm
22	ambra	> 80	-19.85%
30	3000	> 80	-5.28%
40	4000	> 80	standard
50	5000	> 80	+0.90%
57	5700	> 80	+1.00%
65	6500	> 80	0.00%
93	3000	> 90	-18.15%
94	4000	> 90	-14.33%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT



- Cavo in neoprene H07RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm.

- 1000 mm long H07RN-F 3x1mm² neoprene cable.

- Surge Protection da 10kV incluso.

- 10kV Surge Protection.

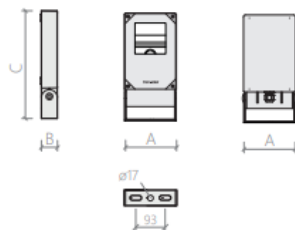


- Pressacavo con valvola anticondensa integrata.

- Cable gland with integrated anti-condensation valve.

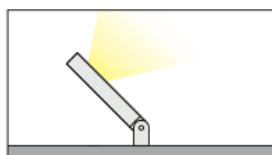
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg	P _{max}
D1	155	45	325	2,6	0,051 m ²



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

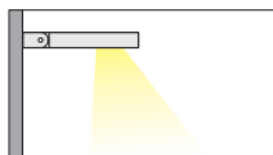
Installazione a terra Ground installation



Apparecchio adatto per installazione a terra.

Ground installation.

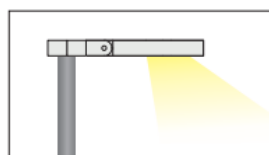
Installazione a parete Wall installation



Apparecchio adatto per installazione a parete.

Wall installation.

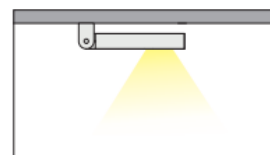
Installazione a palo Pole installation



Apparecchio adatto per installazione su palo Ø60 mm.

Top pole installation Ø60 mm.

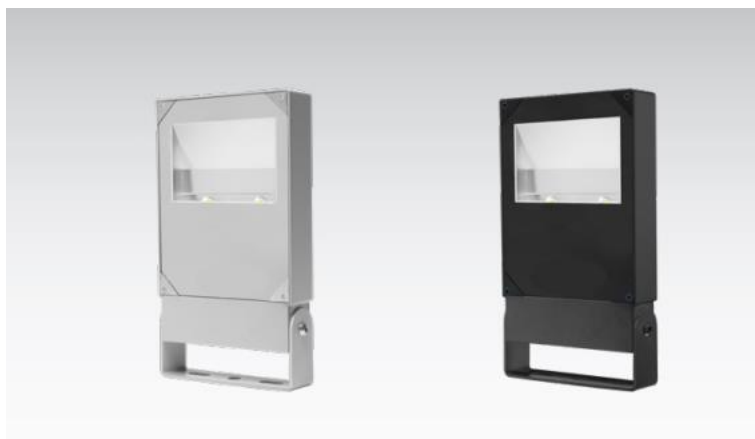
Installazione a soffitto Ceiling installation



Apparecchio adatto per installazione a plafone.

Ceiling installation.

WLED POLAR 2 mod.RR 4000K CRI>80



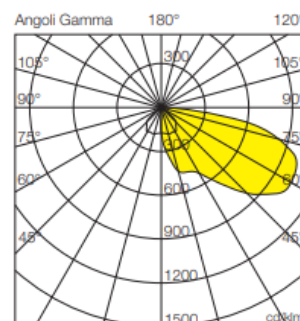
Proiettore led per interni ed esterni. Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoidurente poliestere anticorrosione colore silver o antracite, vetro temperato trasparente spessore 4 mm, guarnizione in silicone, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

Optica

Riflettore asimmetrico 65° in alluminio satinato

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe I Class I		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Terra Ground		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Parete Wall		IK 08		L90-B10 >100.000 h
	Palo Pole		IP 66		Ball Test DIN 18032-3
	Soffitto Ceiling		10 kV Surge Protection		7 YEARS WARRANTY
			○ Silver / Silver		
			● Antracite / Anthracite		
			100% rigenerabile 100% regenerable		



W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
30	4000K - CRI>80	4606	154	D1
40	4000K - CRI>80	6023	151	D1
50	4000K - CRI>80	7379	148	D1
60	4000K - CRI>80	7818	130	D1
70	4000K - CRI>80	10463	149	D1
80	4000K - CRI>80	11962	150	D1
90	4000K - CRI>80	13602	151	D1
100	4000K - CRI>80	14792	148	D1
120	4000K - CRI>80	16292	136	D1

Mod.	+ °K (CRI)	+ W. tot.	+ Options	○ Silver	Options	● Antracite
PR	2 = ambra (CRI >80)	030 080	GL = on/off		EL = on/off	
CR	3 = 3000°K (CRI >80)	040 090	GD = dali 2		LD = dali 2	
AR	4 = 4000°K (CRI >80)	050 100	GV = vetro infrangibile / shatterproof glass		VI = vetro infrangibile / shatterproof glass	
RR	5 = 5000°K (CRI >80)	060 120	GA = vetro acidato / acid-etched glass		VA = vetro acidato / acid-etched glass	
	6 = 6500°K (CRI >80)	070				
	7 = 5700°K (CRI >80)					
	9 = 4000°K (CRI >90)					

Δ LUMEN

	°K	CRI	% Lm
2	ambra	> 80	-19.85%
3	3000	> 80	-5.28%
4	4000	> 80	standard
5	5000	> 80	+0.90%
6	6500	> 80	0.00%
7	5700	> 80	+1.00%
9	4000	> 90	-14.33%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT



- Cavo in neoprene H07RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm.

- 1000 mm long H07RN-F 3x1mm² neoprene cable.



- Pressacavo con valvola anticondensa integrata.

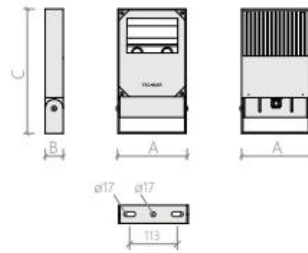
- Surge Protection da 10kV incluso.

- 10kV Surge Protection.

- Cable gland with integrated anti-condensation valve.

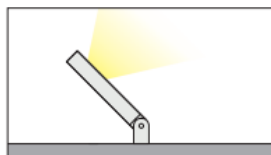
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg	β_{max}
D1	205	50	365	3,7	0,075 m ²



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

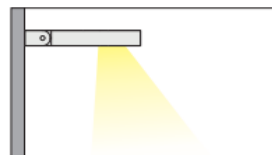
Installazione a terra Ground installation



Apparecchio adatto per installazione a terra.

Ground installation.

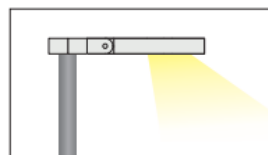
Installazione a parete Wall installation



Apparecchio adatto per installazione a parete.

Wall installation.

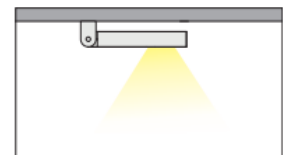
Installazione a palo Pole installation



Apparecchio adatto per installazione su palo Ø60 mm.

Top pole installation Ø60 mm.

Installazione a soffitto Ceiling installation



Apparecchio adatto per installazione a plafone.










Ceiling installation.

WLED POLAR 3 mod.RR 4000K CRI>80



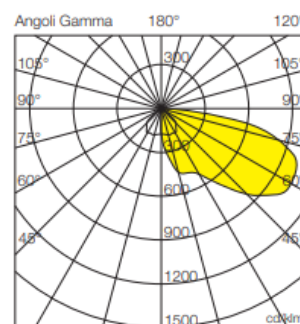
Proiettore led per interni ed esterni. Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver o antracite, vetro temperato trasparente spessore 4 mm, guarnizione in silicone, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe I Class I		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Terra Ground		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Parete Wall		IK 08		L90-B10 >100.000 h
	Palo Pole		IP 66		Ball Test DIN 18032-3
	Soffitto Ceiling		10 kV Surge Protection		7 YEARS WARRANTY
			○ Silver / Silver ● Antracite / Anthracite		
			100% rigenerabile 100% regenerable		

Ottica

Riflettore asimmetrico 65° in alluminio satinato



W tot.	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
125	4000K - CRI>80	16680	133	D1
130	4000K - CRI>80	18233	140	D1
148	4000K - CRI>80	19011	128	D1
150	4000K - CRI>80	22213	148	D1
175	4000K - CRI>80	23505	134	D1
190	4000K - CRI>80	25643	135	D1

Mod.	+ *K (CRI)		+ W. tot.	+ Options	○ Silver	Options	● Antracite
PR	2	= ambra (CRI >80)	125	GL	= on/off	EL	= on/off
CR	3	= 3000*K (CRI >80)	130	GD	= dali	LD	= dali
AR	4	= 4000*K (CRI >80)	148	GV	= vetro infrangibile / shatterproof glass	VI	= vetro infrangibile / shatterproof glass
RR	5	= 5000*K (CRI >80)	150	GA	= vetro acidato / acid-etched glass	VA	= vetro acidato / acid-etched glass
	6	= 6500*K (CRI >80)	175				
	7	= 5700*K (CRI >80)	190				
	8	= 5700*K (CRI >90)					
	S	= 4000*K (CRI >70)					

Δ LUMEN

	*K	CRI	% Lm
2	ambra	> 80	-19.85%
3	3000	> 80	-5.28%
4	4000	> 80	standard
5	5000	> 80	+0.90%
6	6500	> 80	+0.00%
7	5700	> 80	+1.00%
8	5700	> 90	-13.13%
S	4000	> 70	+5.85%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT



- Cavo in neoprene H07RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm.

- 1000 mm long H07RN-F 3x1mm² neoprene cable.

- Surge Protection da 10kV incluso.

- 10kV Surge Protection.

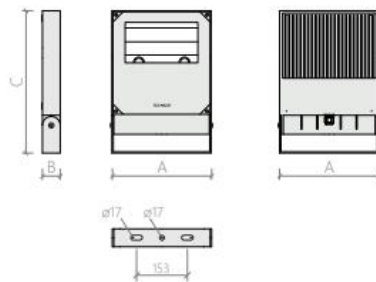


- Pressacavo con valvola anticondensa integrata.

- Cable gland with integrated anti-condensation valve.

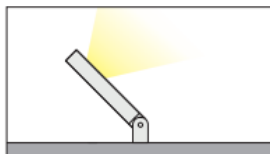
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg	$\lambda_{d,0}$
D1	295	55	425	5,6	0,126 m ²



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

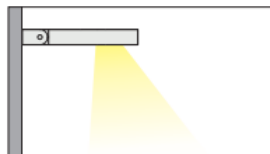
Installazione a terra Ground installation



Apparecchio adatto per installazione a terra.

Ground installation.

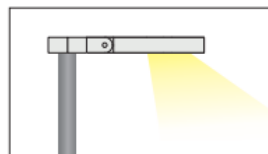
Installazione a parete Wall installation



Apparecchio adatto per installazione a parete.

Wall installation.

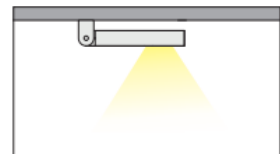
Installazione a palo Pole installation



Apparecchio adatto per installazione su palo Ø60 mm.

Top pole installation Ø60 mm.

Installazione a soffitto Ceiling installation



Apparecchio adatto per installazione a plafone.

Ceiling installation.

WLED STILO mod.AM 4000K CRI>80



Apparecchio led da esterno per installazione a terra. Corpo in alluminio pressofuso con struttura in alluminio estruso, verniciato con polveri epossidiche, colore bianco opaco, grigio opaco, antracite o marrone scuro. Scheda led in tensione di rete 220-240V, 50/60 Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES



Classe I
Class I



CRI >80



EN / IEC
60598-1



Terra
Ground



Mac Adams 3



RG0/RG1



IK 08



L80-B50 >75.000 h
L80-B20 >50.000 h



IP66



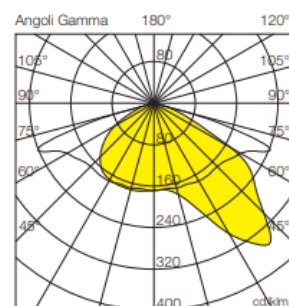
7 YEARS
WARRANTY



○ Bianco opaco / Matt white
○ Grigio opaco / Matt grey
● Antracite / Anthracite
● Marrone scuro / Dark brown

Ottica

Lente asimmetrica 45° in PMMA ad alto rendimento di flusso. Illuminazione monoemissione su singolo lato. Diffusore in vetro extra-chiaro



W tot.	Input	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
5	220-240Vac	4000K - CRI>80	581	116	D1
10	220-240Vac	4000K - CRI>80	1163	116	D1
15	220-240Vac	4000K - CRI>80	1744	116	D1

Mod.	+ *K (CRI)		W. tot.	+ Options	Options
AM	27	= 2700*K (CRI >80)	5	B1 = 500 mm	○ Bianco opaco N1 = 500 mm ● Antracite
AB	30	= 3000*K (CRI >80)	10	B2 = 1000 mm	○ Bianco opaco N2 = 1000 mm ● Antracite
	40	= 4000*K (CRI >80)	15	B3 = 1500 mm	○ Bianco opaco N3 = 1500 mm ● Antracite
			20	G1 = 500 mm	○ Grigio opaco C1 = 500 mm ● Marrone scuro
			30	G2 = 1000 mm	○ Grigio opaco C2 = 1000 mm ● Marrone scuro
				G3 = 1500 mm	○ Grigio opaco C3 = 1500 mm ● Marrone scuro

Δ LUMEN

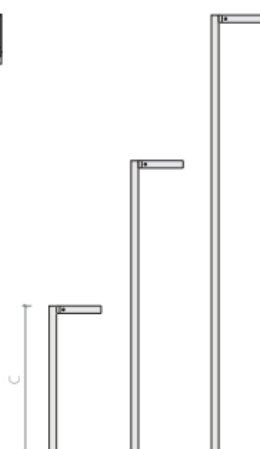
	*K	CRI	% Lm
27	2700	> 80	-5.30%
30	3000	> 80	-0.80%
40	4000	> 80	standard

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT

- Cavo in neoprene H05RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm.	- 1000 mm long H05RN-F 3x1mm² neoprene cable.
- Valvola osmotica anticondensa integrata.	- A nti-condensation osmotic valve.
- Alimentazione diretta AC con dimmerazione a taglio di fase.	- AC direct led board with phase cut dimming.

DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg
D1	95	165	500	1,8
D2	95	165	1000	2,5
D3	95	165	1500	3,7



WLED MIR mod. S5 4000K CRI>80 UGR<25



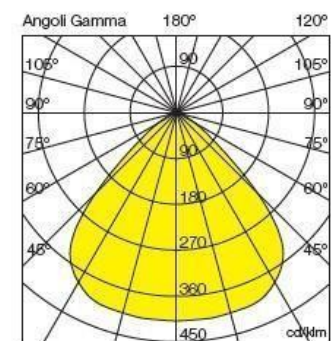
Riflettore led industriale e commerciale a sospensione. Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver. Lente IP66 in policarbonato, guarnizione in silicone, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe I Class I		CRI >80		EN / IEC 60598-1
	Sospensione Suspended		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Plafone Surface		UGR <25 UGR <22		L90-B10 >100.000 h
	Blindosbarra Busbar		IK 08		Ball Test DIN 18032-3
	IP 66		7 YEARS WARRANTY		
	10 kV Surge Protection				
	● Grafite / Graphite				

Ottica

Lente in policarbonato 90° UGR<25 ad alto rendimento di flusso, antiabbagliamento e antiriflesso



UGR<25

HIGH PERFORMANCE

W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
80	4000K - CRI>80	14513	181	D1
90	4000K - CRI>80	16339	182	D1
98	4000K - CRI>80	17590	179	D1
110	4000K - CRI>80	18973	172	D1
120	4000K - CRI>80	20348	170	D1
130	4000K - CRI>80	22166	171	D1
140	4000K - CRI>80	24487	175	D1
148	4000K - CRI>80	24936	168	D1
160	4000K - CRI>80	26652	167	D1
170	4000K - CRI>80	28423	167	D1
180	4000K - CRI>80	30182	168	D1
190	4000K - CRI>80	31493	166	D1
195	4000K - CRI>80	33704	164	D1
220	4000K - CRI>80	35817	163	D1
230	4000K - CRI>80	37527	163	D1
245	4000K - CRI>80	39311	160	D2

HIGH EFFICIENCY

W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
70	4000K - CRI>80	11975	171	D1
89	4000K - CRI>80	15212	171	D1
100	4000K - CRI>80	17116	171	D1
150	4000K - CRI>80	23873	159	D1
200	4000K - CRI>80	30346	152	D1
240	4000K - CRI>80	35529	148	D1

Mod.	+	°K (CRI)	+	W. tot.	+	Options
S5	3	= 3000°K (CRI >80)	070	150	GL	= on/off
S2	4	= 4000°K (CRI >80)	080	160	GD	= dali
	5	= 5000°K (CRI >80)	089	170	D1	= dali + em. 1h
	9	= 4000°K (CRI >90)	090	180	G1	= em. 1h
			098	190	G3	= em. 3h
			100	195		
			110	200		
			120	220		
			130	230		
			140	240		
			148	245		

Δ LUMEN

	°K	CRI	% Lm
3	3000	> 80	-1.47%
4	4000	> 80	standard
5	5000	> 80	+2.94%
9	4000	> 90	-14.70%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT



- Cablaggio esterno tramite connettore rapido IP66.

- External wiring via IP66 rapid connector.

- Surge Protection da 10kV incluso.

- 10kV Surge Protection.

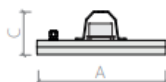
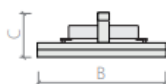


- Sistema di fissaggio sospensione e blindosbarra incluso.

- Suspension and busbar fixing system.

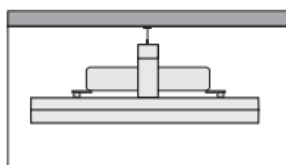
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A	B	C	Kg
D1	365	365	130	4,8
D2	365	365	130	5,2



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

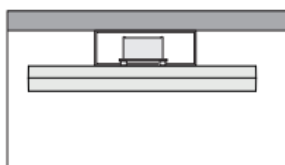
Installazione a sospensione Suspended installation



Apparecchio adatto per installazione a sospensione.

Suspended installation.

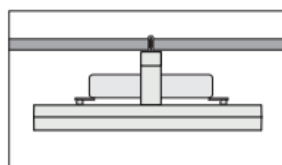
Installazione a plafone Surface mounting installation



Apparecchio adatto per installazione a plafone.

Surface mounting installation.

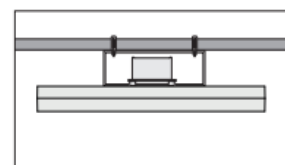
Installazione a blindosbarra Busbar installation



Apparecchio adatto per installazione a blindosbarra con singolo punto di fissaggio.

Busbar installation with single fixing point.

Installazione a blindosbarra Busbar installation



Apparecchio adatto per installazione a blindosbarra con doppio punto di fissaggio.

Busbar installation with double fixing point.

WLED EVA HP mod. LD 4000K CRI>80



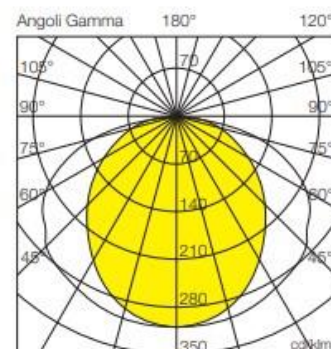
Apparecchio led stagno a plafone con installazione a soffitto, parete, blindosbarra e sospensione. Costruito in estrusione di policarbonato autoestinguente V2, riflettore porta componenti in lamiera preverniciata di colore bianco, tappi di chiusura in policarbonato con guarnizione silconica, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto in conformità alle vigenti norme EN/IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe I Class I		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Sospensione Suspended		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Plafone Surface		IK 08		L90-B10 > 100.000 h
	Fila continua Continuous row		IP 66		7 YEARS WARRANTY
	Blindosbarra Busbar		Grigio / Grey		

Ottica

Diffusore in policarbonato opale satinato estruso. Riflettore diffondente 120° in acciaio preverniciato bianco.



W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	L (mm)
9	4000K - CRI>80	1387	154	595
11	4000K - CRI>80	1660	151	595
13	4000K - CRI>80	2106	162	595
19	4000K - CRI>80	2949	155	595
20	4000K - CRI>80	3449	172	1155
21	4000K - CRI>80	3365	160	595
23	4000K - CRI>80	3478	151	1155
24	4000K - CRI>80	3606	150	1435
25	4000K - CRI>80	4292	172	1435
28	4000K - CRI>80	4386	157	1155
29	4000K - CRI>80	4262	147	595
30	4000K - CRI>80	4492	150	1435
33	4000K - CRI>80	5415	164	1435
34	4000K - CRI>80	5437	160	1155
36	4000K - CRI>80	5892	164	1155
37	4000K - CRI>80	5280	143	1435
39	4000K - CRI>80	6339	163	1155
44	4000K - CRI>80	6898	157	1155
47	4000K - CRI>80	8081	172	1435
49	4000K - CRI>80	8359	171	1155
59	4000K - CRI>80	9597	163	1435
62	4000K - CRI>80	9641	156	1155
64	4000K - CRI>80	10007	156	1435
70	4000K - CRI>80	10693	153	1435

+	Mod.	+ °K (CRI)	+	W. tot.	+ Options
	LD	30 = 3000°K (CRI >80)	09	25 39	EL = on/off
		40 = 4000°K (CRI >80)	11	28 44	LD = dali 2 / dali 2 push
		50 = 5000°K (CRI >80)	13	29 47	D1 = dali 2 + em. 1h
		65 = 6500°K (CRI >80)	19	30 49	E1 = em. 1h
		49 = 4000°K (CRI >90)	20	33 59	E3 = em. 3h
			21	34 62	FC = fila continua / continuous row
			23	36 64	IC = ice -30°
			24	37 70	SR = radar sensor on/off
					S1 = radar sensor 1-10V
					CS = casambi

Δ LUMEN

	*K	CRI	% Lm
30	3000	> 80	-5.15%
40	4000	> 80	standard
50	5000	> 80	+1.46%
65	6500	> 80	0%
49	4000	> 90	-15.08%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT



- Cablaggio rapido interno con pressacavo PG13,5.

- Internal quick wiring with PG13,5 cable gland.



- Sistema di fissaggio a plafone o sospensione a clip incluso.

- Surface or suspension clip mounting system.

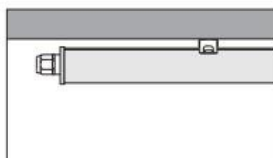
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	L (mm)	C (mm)	Kg
D1	62	595	62	0,8
D2	62	1155	62	1,3
D3	62	1435	62	1,5



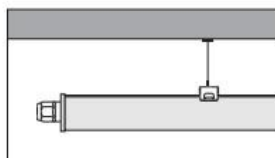
INSTALLAZIONE / INSTALLATION

Installazione a plafone Surface mounting installation



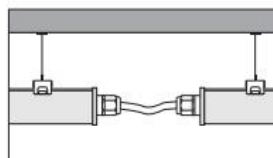
Apparecchio adatto per installazione a plafone

Installazione a sospensione Suspended installation



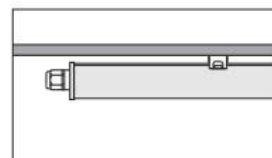
Apparecchio adatto per installazione a sospensione.

Installazione in fila continua Continuous row installation



Apparecchio adatto per installazione in fila continua (Opzione FC)

Installazione a blindosbarra Busbar installation



Apparecchio adatto per installazione a blindosbarra.

WLED QUADRA HP mod.QP 4000K CRI>80 UGR<19



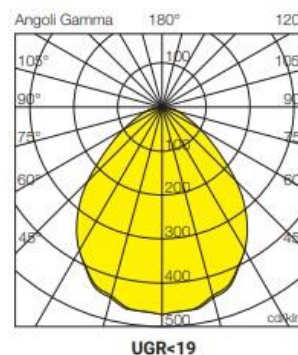
Apparecchio led BACKLIGHT multinstallazione, installabile ad incasso in appoggio per controsoffitti in pannelli aventi struttura portante a vista 15/24 mm o a plafone mediante apposito accessorio. Corpo costruito in lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliestere di colore bianco, antingiallente con finitura gofrata fine, pretrattamento di fosfatazione e sgrassaggio. Driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe II Class II		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Incasso Recessed		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Plafone Surface		UGR <19		L80-B50 >100.000 h L90-B10 > 60.000 h
	Sospensione Suspension		IK 06		7 YEARS WARRANTY
			IP 20/40		
			○ Bianco opaco / Matt white		

Ottica

Diffusore in polycarbonato microprismatico antiabbagliamento e antiriflesso



W tot.	°K - CRI	LUMEN OUTPUT	Lm/W	dimension
24	4000K - CRI>80	3223	134	D1
27	4000K - CRI>80	3555	132	D1
32	4000K - CRI>80	4158	130	D1
36	4000K - CRI>80	4642	129	D1
42	4000K - CRI>80	5113	122	D1
48	4000K - CRI>80	5795	121	D1

Mod.	+ °K (CRI)	+ W. tot.	+ Options
QP	03 = 3000°K (CRI >80)	24	EL = on/off
RP	04 = 4000°K (CRI >80)	27	LD = dali 2 / dali 2 push
	94 = 4000°K (CRI >90)	32	D1 = dali 2 + em. 1h
		36	E1 = em. 1h
		42	E3 = em. 3h
		48	

Δ LUMEN

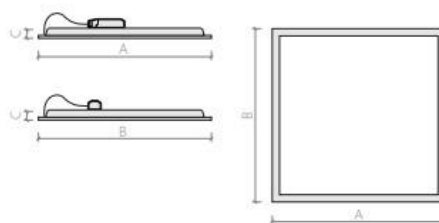
	°K	CRI	% Lm
03	3000	> 80	-7.20%
04	4000	> 80	standard
94	4000	> 90	-15.30%

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT

- Driver indipendente IP20 remotizzabile nel controsoffitto incluso. - IP20 independent driver that can be remotely installed in the false ceiling.

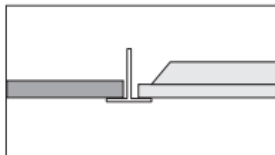
DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg
D1	595	595	35	2,2



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

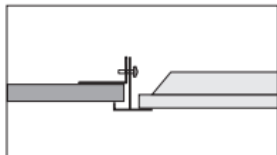
Installazione ad incasso in appoggio Recessed installation



Apparecchio adatto per installazione ad incasso in appoggio per controsoffitti con struttura a vista 15/24 mm.

False ceiling with visible structure installation 15/24 mm.

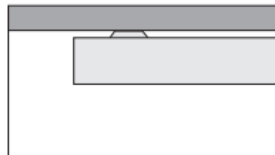
Installazione ad incasso per controsoffitti in cartongesso Plasterboard installation



Apparecchio adatto per installazione ad incasso per controsoffitti in cartongesso. Installazione con cornice.

Plasterboard ceiling installation with frame.

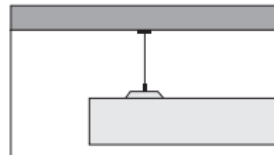
Installazione a plafone Surface mounting installation



Apparecchio adatto per installazione a plafone. Installazione con cornice.

Surface mounting installation. Installation with frame.

Installazione a sospensione Suspended installation



Apparecchio adatto per installazione a sospensione.

Suspended installation.

WLED STELLA mod. 24 4000K CRI>80 UGR<19



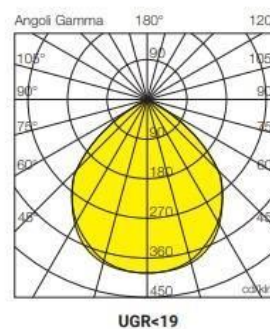
Apparecchio led da incasso per qualsiasi tipo di controsoffitto. Corpo costruito in lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliestere di colore bianco opaco o nero opaco, antingiallente con finitura goffrata fine, con pretrattamento di fosfatazione e sgrassaggio, alimentatore elettronico 220-240Vac 50/60Hz in doppio isolamento. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe II Class II		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Incasso Recessed		Mac Adams 3		RG0/RG1
	UGR <19		L90-B10 > 100.000 h		7 YEARS WARRANTY
	IK 07		IP 20 IP 44		○ Bianco opaco / Matt white ● Nero opaco / Matt black
	100% rigenerabile 100% regenerable				

Ottica

Riflettore 90° in alluminio anodizzato, diffusore in policarbonato microprismatico antiabbagliamento ed antiriflesso.



UGR<19

W tot.	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
11	4000K - CRI>80	1388	126	D13
13	4000K - CRI>80	1658	128	D13
18	4000K - CRI>80	2342	130	D14
20	4000K - CRI>80	2415	121	D14
26	4000K - CRI>80	3225	124	D14
30	4000K - CRI>80	2975	99	D14
40	4000K - CRI>80	4692	117	D15
55	4000K - CRI>80	6060	110	D15
75	4000K - CRI>80	7851	105	D15

Mod.	+ *K (CRI)	+ W. tot.	+ Options	○ Bianco opaco	Options	● Nero opaco
12	27 = 2700*K (CRI >80)	11 30	EL	= on/off	NL	= on/off
15	03 = 3000*K (CRI >80)	13 40	LD	= dali 2 / dali 2 push	ND	= dali 2 / dali 2 push
18	04 = 4000*K (CRI >80)	18 55	D1	= dali 2 + em. 1h	1N	= dali 2 + em. 1h
20	93 = 3000*K (CRI >90)	20 75	E1	= em. 1h	N1	= em. 1h
24	94 = 4000*K (CRI >90)	26	E3	= em. 3h	N3	= em. 3h

Δ LUMEN

	*K	CRI	% Lm
27	2700	> 80	-9.74%
03	3000	> 80	-4.91%
04	4000	> 80	standard
93	3000	> 90	-18.15%
94	4000	> 90	-14.33%

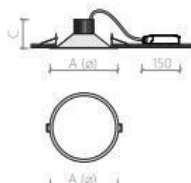
DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT

- Driver 220-240VAC 50/60 Hz incluso.

- 220-240Vac 50/60 Hz electronic driver.

DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg
D13	240	-	50	0,7
D14	240	-	60	0,8
D15	240	-	90	0,8

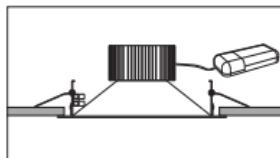


FORO INCASSO / HOLE

	Ø
D13	230
D14	230
D15	230



INSTALLAZIONE / INSTALLATION

**Installazione ad incasso per
controsoffitti in cartongesso**
Plasterboard installation

Apparecchio adatto per installazione
ad incasso per controsoffitti in
cartongesso.

Plasterboard false ceilings installation.

WLED ZOE mod.B3 4000K CRI>80



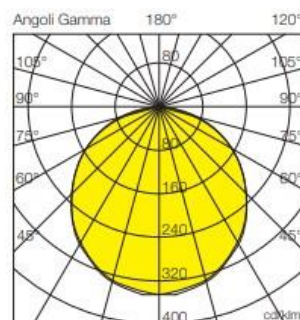
Apparecchio led per esterni ed interni con installazione a plafone o parete. Corpo in policarbonato autoestinguente colore bianco opaco, grigio opaco, nero opaco o opaco satinato, guarnizione siliconica con chiusura rapida. Schede led alimentate direttamente a 220-240V 50/60Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Classe II Class II		CRI >80		EN / IEC 60598-1
	Plafone Ceiling		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Parete Wall		IK 09		L80-B50 >100.000 h L90-B10 >60.000 h
			IP66		7 YEARS WARRANTY
			○ Bianco opaco / Matt white ○ Grigio opaco / Matt grey ● Nero opaco / Matt black ○ Opaco satinato / Matt satin		

Ottica

Diffusore diffondente in policarbonato opale satinato 120° antiabbagliamento ad alto rendimento di flusso. Corpo in policarbonato colore bianco opaco.



W tot.	Input	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
15	220-240Vac	4000K - CRI>80	1516	101	D1
20	220-240Vac	4000K - CRI>80	2021	101	D1
24	220-240Vac	4000K - CRI>80	2425	101	D1

Mod.	+ *K (CRI)		+ W. tot.	+ Options
B3	27	= 2700*K (CRI >80)	15	EL = on/off
G3	30	= 3000*K (CRI >80)	20	E1 = em. 1h
N3	40	= 4000*K (CRI >80)	24	EN = luce notturna / night light
D3				

Δ LUMEN

DOTAZIONE / STANDARD EQUIPMENT

	*K	CRI	% Lm
27	2700	> 80	-9.36%
30	3000	> 80	-5.15%
40	4000	> 80	standard

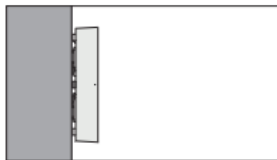
- Alimentazione diretta AC.
- AC direct.
- Dimmerazione a taglio di fase.
- Phase cut dimming.

DIMENSIONI / DIMENSIONS

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
D1	280	-	55	62	0,9

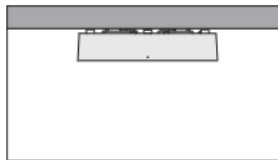


INSTALLAZIONE / INSTALLATION

Installazione a parete
Wall installation

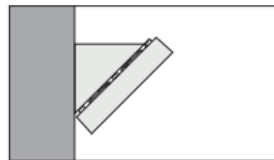
Apparecchio adatto per installazione a parete.

Wall installation.

Installazione a soffitto
Ceiling installation

Apparecchio adatto per installazione a soffitto.

Ceiling installation.

Installazione a parete a 45°
45° wall installation

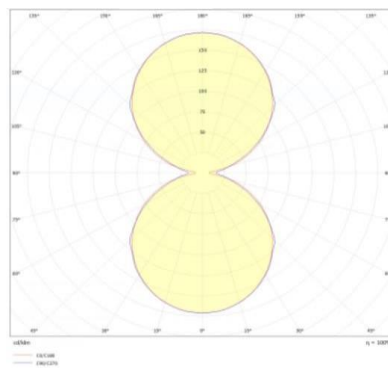
Apparecchio adatto per installazione a parete a 45°.

45° wall installation.

WLED ZOE M 4000K CRI>80

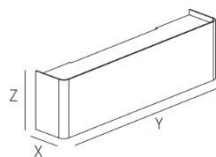


Apparecchio decorativo per installazione a parete. Base portacablaggio con sorgente luminosa LED multichip e schermo di chiusura in policarbonato opalino. Frontale in acciaio al carbonio pressopiegato intercambiabile con fissaggio magnetico. Verniciatura con polveri epossidiche antigraffio. Alimentatore incorporato.



Size	Lumen Out	Watt Tot	K	Beam angle	Driver Type	Driver no.
01	1735	22	4000	D	ON/OFF	1
02	3315	42	4000	D	ON/OFF	1
03	5125	65	4000	D	ON/OFF	1

Size	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Kg
01	70	225	115	1,1
02	70	395	115	1,8
03	70	595	115	2,7



01



02



03

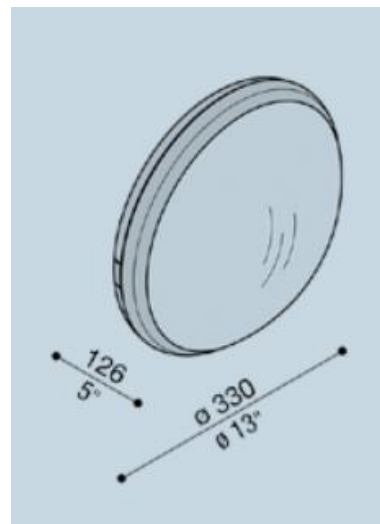
WLED NUVOLA 4000K



Plafoniera a led per interni ed esterni con installazione a parete e soffitto (IP65). Il suo utilizzo è particolarmente indicato nelle situazioni in cui può rivelarsi conveniente integrare l'illuminazione di emergenza in quella ordinaria, come ad esempio scale condominiali, servizi, ascensori, negozi. La plafoniera è predisposta al funzionamento sia permanente (SA) che non permanente (SE). La gamma risulta composta da modelli con funzionalità AutoDiagnosi, modelli dotati di sensori di presenza/movimento con funzione crepuscolare. L'utilizzo dei modelli più evoluti dotati di sensore di presenza con funzione crepuscolare permette di razionalizzare l'illuminazione ordinaria rendendola disponibile soltanto quando serve, disabilitando l'accensione di notte. Le funzionalità di emergenza sono comunque sempre garantite.

CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI

- Base in policarbonato, ottenuta da stampaggio ad iniezione
- Diffusore in policarbonato tripla stabilizzazione ai raggi UV, ottenuto da stampaggio ad iniezione.
- Guarnizioni in silicone per il mantenimento del grado IP65
- Conforme alle direttive CEE
- Doppio isolamento classe II
- Montaggio su superfici normalmente infiammabili
- Apparecchio a risparmio energetico
- Resistente agli agenti atmosferici
- Resistente agli urti
- Nessun rischio fotobiologico, RG0 gruppo di rischio esente (EN62471)
- Grado di protezione IP65
- Diffusione della luce ad alto rendimento grazie ai led ad alta efficienza
- Apparecchio tondo di dimensioni 330x330mm profondità 126mm
- Temperatura di esercizio -10 C +50 C
- Temperatura di stoccaggio -20 C +85 C
- Tempo di ricarica 12 h per la versione 1h.
- Funzionamento in presenza di 220V AC
- Funzionamento in black-out
- Batterie ricaricabili tipo Ni-Cd, Li
- Autonomia 1 ora e 3 ore



NUVOLA LED PLUS SE/SA

MODELLO	AUTONOMIA (h)	LAMPADA (W)	FLUSSO LUMINOSO IN EMERGENZA (%)	K
NUVOLA LED 20-5/1 SE/SA IP65	1	20	25%	4000
NUVOLA LED 20-5/3 SE/SA IP65	3	20	15%	4000
NUVOLA LED SENSOR 20-5/1 SE/SA IP65	1	20	25%	4000
NUVOLA LED SENSOR 20-5/3 SE/SA IP65	3	20	15%	4000

NUVOLA LED AUTODIAGNOSI SE/SA

MODELLO	AUTONOMIA (h)	LAMPADA (W)	FLUSSO LUMINOSO IN EMERGENZA (%)	K
NUVOLA LED 20-5/1 AD SE/SA IP65	1	20	25%	4000
NUVOLA LED 20-5/3 AD SE/SA IP65	3	20	15%	4000
NUVOLA LED SENSOR 20-5/1 AD SE/SA IP65	1	20	25%	4000
NUVOLA LED SENSOR 20-5/3 AD SE/SA IP65	3	20	15%	4000

NUVOLA LED CENTRAL BATTERY

MODELLO	AUTONOMIA (h)	LAMPADA (W)	FLUSSO LUMINOSO IN EMERGENZA (%)	K
NUVOLA LED 20 SA IP65	--	20	--	4000
NUVOLA LED SENSOR 20 SA IP65	--	20	--	4000

D-SENSOR-MB

D-SENSOR-HB



DALI-2 Multi-Master motion and light sensor for industrial and logistics applications.

Main features

- Occupies 1 DALI address
- Power from DALI bus
- Current consumption from DALI bus 6 mA
- Motion sensor for Mid Bay (10m) and High Bay (17m)
- Ambient light sensor
- IP52 protection degree

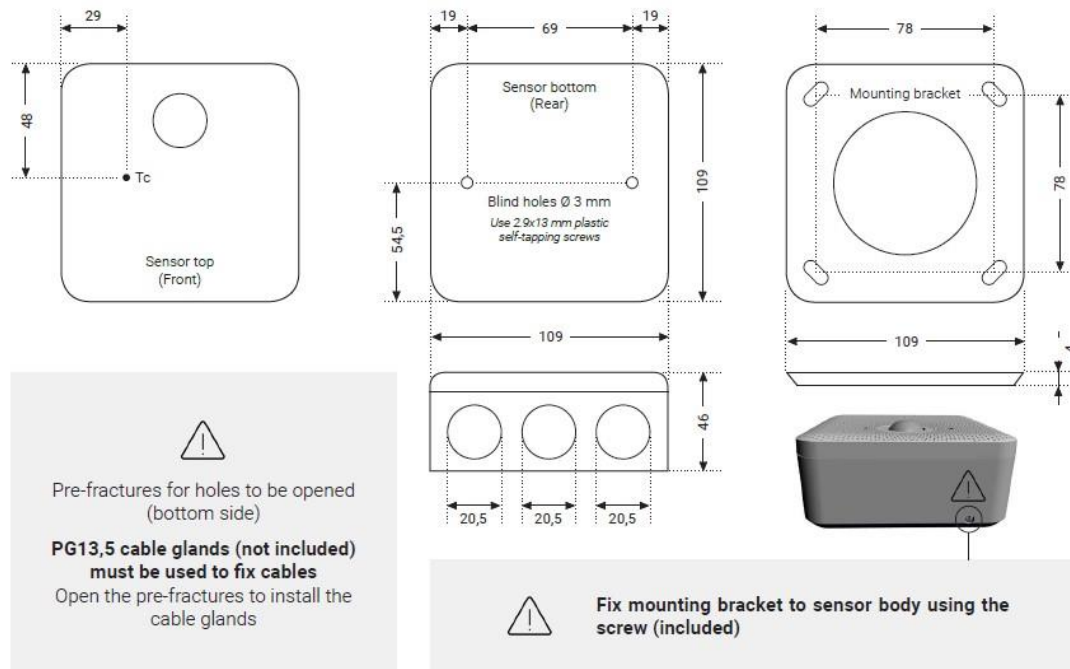
Models

Model	Code	Description
D-SENSOR-MB	ZQ19-01R0	DALI-2 Multi-Master sensor for industrial application (Mid Bay - Hmax 10m - FOV 108°)
D-SENSOR-HB	ZQ19-02R0	DALI-2 Multi-Master sensor for industrial application (High Bay - Hmax 17m - FOV 62°)

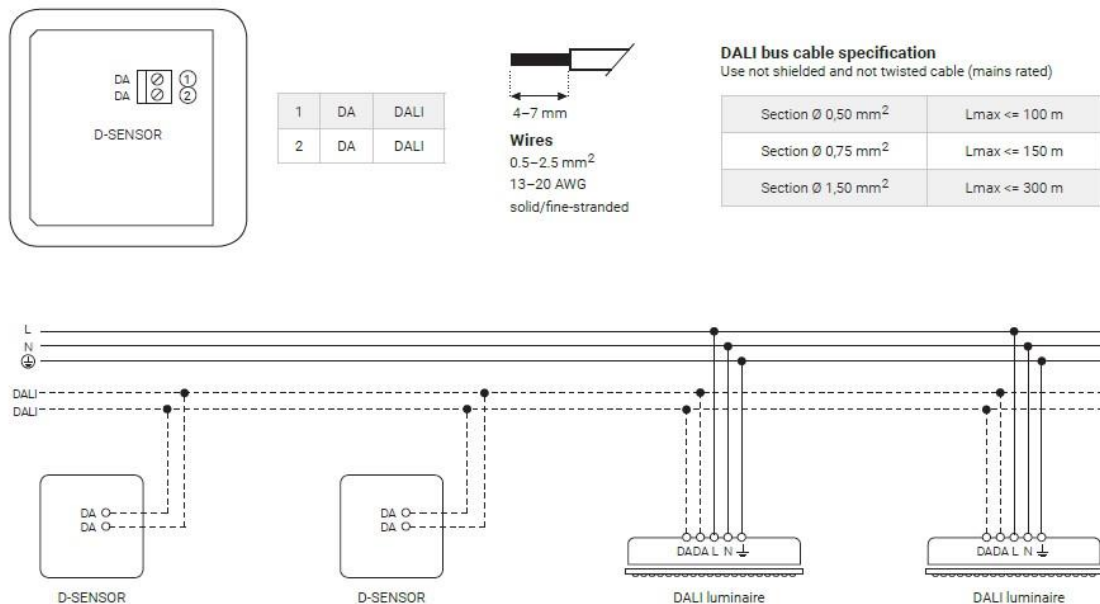
Technical specifications

Power supply	From DALI bus, 12-22,5 Vdc Current consumption from DALI bus 6 mA
DALI interface	DALI-2 Multi-Master (compliant to IEC62386 part 101, 103) 1 DALI address required Instance 0 provide information regarding movement detector (compliant to IEC62386 part 303) Instance 1 provide information regarding lux detector (compliant to IEC62386 part 304)
Motion sensor MB (Mid Bay)	Passive InfraRed, Hmax 10m - FOV 108° - 92 detection zones (cluster)
Motion sensor HB (High Bay)	Passive InfraRed, Hmax 17m - FOV 62° - 128 detection zones (cluster)
Light sensor	Range 5 lux to 500 lux (direct). Maximum recommended height for "closed loop" control 10-12m
Diagnostic LED	Identification for DALI addressing/Power/Activity
Connector block	Screw terminals. Wire cross section 0,5-2,5 mm ² (AWG 13-20)
Operating Environment	Ambient temperature (ta) -10°C to +55°C. Relative humidity 10% to 90% Max. housing temp. (tc) 65°C. Storage -20°C to +70°C
Housing	Plastic IP52
Dimensions	109 x 109 x 50 mm
Weight	200 g
Standards & Legislation	Compliant to IEC 62386 parts 101/103/303/304 SAFETY (LVD - 2014/35/EU): EN 61347-1, EN61347-2-11 EMC: EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55015, EN 61547, EN 301489-1, EN 301489-17 Environment: WEEE and RoHS directives

Dimensions (mm)



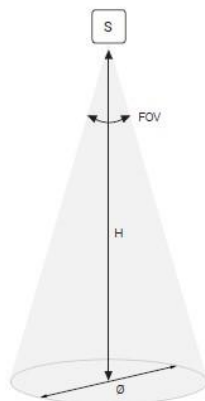
Wiring diagram



Motion sensor

Motion detection area

H	MB Ø FOV 108°	HB Ø FOV 62°
3 m	8,3 m	3,6 m
4 m	11,0 m	4,8 m
5 m	13,8 m	6,0 m
6 m	16,5 m	7,2 m
7 m	19,3 m	8,4 m
8 m	22,0 m	9,6 m
9 m	24,8 m	10,8 m
10 m	27,5 m	12,0 m
11 m	-	13,2 m
12 m	-	14,4 m
13 m	-	15,6 m
14 m	-	16,8 m
15 m	-	18,0 m
16 m	-	19,2 m
17 m	-	20,4 m



Motion sensor (PIR)

Sensor performance listed into *Motion detection area* table are referred to ambient temperature of 25°C and objects of size 70x25 cm (human body) moving at a speed of 1.0 m/s.

Maximum height with temperature difference between the target and the background of at least 4°C:

- D-SENSOR-MB: 10m
- D-SENSOR-HB: 17m

Detection zones within the field of view:

- D-SENSOR-MB: 92 cluster
- D-SENSOR-HB: 128 cluster

Notes:

- Usable ambient temperature -10°C..+55°C (do not use in the presence of ice or condensation).
- Time required to stabilize the signal from the start-up 30 sec.
- The sensor have not be located in the immediate vicinity of a warm air current, because that can trigger the motion detection.

Z-GWETH v1

2.4 GHz Zigbee/Bluetooth ethernet gateway



Gateway Ethernet per nodi wireless 2.4 GHz Zigbee/Bluetooth. RTC ed antenna integrata. Alimentazione PoE oppure 12-24Vdc.

Ethernet gateway for 2.4 GHz Zigbee/Bluetooth wireless nodes. Integrated RTC and antenna. PoE or 12-24Vdc power supply.

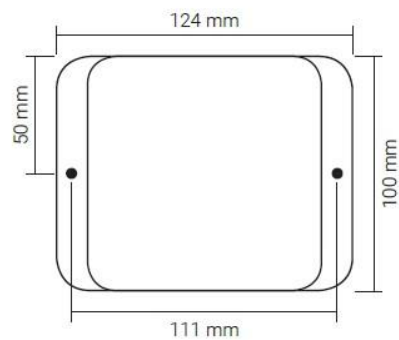
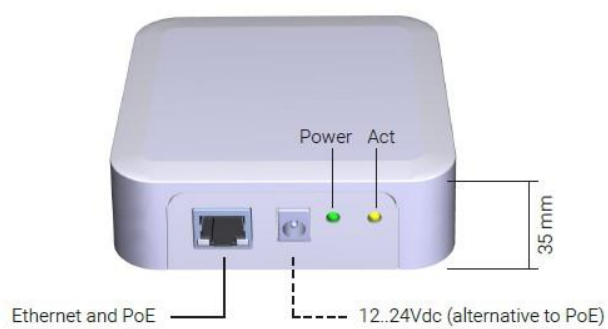
Modelli | Models

Model	Code	Description
Z-GWETH v1	ZQ24-01R0	2.4 GHz Zigbee/Bluetooth ethernet gateway, PoE or 12-24Vdc

Specifiche tecniche | Technical specifications

Input power	12..24Vdc or PoE, 8W
2.4 GHz radio interface	Bluetooth LE and Zigbee Home Automation protocols. Maximum TX power +10 dBm. BLE and Zigbee are active at the same time. Operating frequencies 2,402 GHz – 2,480 GHz
Ethernet	1 x Ethernet 10/100 BaseT, Default IP: 192.168.100.110, RJ45 plug Protocols: TCP/IP (TCP, UDP), HTTP, Modbus TCP
Diagnostic LED	Power (green), Act (yellow), Ethernet Act/Link (on RJ45 plug)
Real Time Clock	Internal battery-backed clock for time & date
Connector block	DC power jack Ethernet: 1 x RJ45. SMA female connector for external antenna (option).
Operating Environment	Ambient temperature (ta) -10°C to +50°C Storage -20°C to +60°C
Housing	Plastic (ABS), IP20
Dimensions	124 x 100 x 35 mm
Weight	155 g
Standards & Legislation	RED Directive 2014/53/EU EMC Directive 2004/108/EG Low Voltages Directive 2006/95/EG

Dimensioni e Cablaggio | *Dimensions and Wiring*



ZQxSERVER v3.0

ZQxSERVER-LTE

Multipurpose Lighting Server



Unità di controllo per la gestione dei sistemi ZETAQLAB. Interfacce Ethernet, RS232, RS485, USB, I/O. Orologio astronomico (RTC). Modem LTE integrato (SIM esclusa). Web server integrato ed applicazione xSETUP per la configurazione del sistema. Alimentazione 10-30Vdc. Scatola DIN 6 moduli. IP20.

Control unit for the management of ZETAQLAB systems. Ethernet, RS232, RS485, USB, I/O interfaces. Astronomical Clock (RTC). Integrated LTE modem (SIM excluded). Integrated web server and xSETUP application for system configuration. Power supply 10-30Vdc. 6-module DIN box. IP20.

Modelli | Models

Model	Code	Description
ZQxSERVER v3.0	ZQ05-03R0	Multipurpose Lighting Server. Linux OS. Ethernet, RS232, RS485, USB, I/O, RTC.
ZQxSERVER-LTE	ZQ05-05R0	Multipurpose Lighting Server. Linux OS. Ethernet, RS232, RS485, USB, I/O, RTC. LTE mdem.
USB Zigbee Key	ZQ05-04R0	USB Zigbee 3.0 dongle for ZQxSERVER module.

Specifiche tecniche | *Technical specifications*

Input power	10..30 Vdc - Typical Power Consumption 7-25W
Processor and Memory	Cortex-A72 @ 4x1.5GHz 1GB LPDDR4-3200 SDRAM, 8GB Flash
Operating System	Linux, with Apache Web Server
Ethernet	LAN1: 10/100 Mbps (Static IP: 192.168.100.100) LAN2: 10/100 Mbps (DHCP) Protocols: HTTP, TCP/IP, UDP, FTP, SSH, SNMP, SMTP, DHCP, MQTT, Modbus TCP
Serial	2x RS-232 (3 pins) 2x RS-485 (2 pins)
USB	2.0 (host), Type A
Inputs / Outputs	Digital inputs (DI): 4x DI (0..30V DC) Digital outputs (DO): 4x DO (0..30V), max. power eciency: 500 mA Analog inputs: 4x AI - range (0..10V) DC (18-bit resolution) Configurable I/Os: 4x DI/DO (0..30V DC), max. power eciency: 500 mA
Wireless interface (option)	2.4 GHz Zigbee USB dongle (mod. USB Zigbee Key) Compatibility: ZigBee Home Automation, ZigBee 3.0, ZigBee Light Link Dimension: 61x18x9 mm
LTE modem (option)	Only for model ZQxSERVER-LTE: LTE modem with external SMA antenna connector (ME 3630 E1C - Europe)
Real Time Clock	Internal battery-backed clock for time & date, Wath Dog Timer
Diagnostic LED	Power, User, Ethernet Act/Link
Operating Environment	Ambient temperature (ta) 0°C to +55°C, Relative humidity 5% to 95% (no condensation)
Housing	Plastic ABS DIN rail 6M, IP20
Dimensions	91 x 106 x 61 mm
Weight	280 g

ZQ-TOUCH-10PDVX

10" Touchpanel with Ethernet, WiFi and Bluetooth interface



Touchpanel 10" con interfaccia Ethernet, WiFi e Bluetooth. Risoluzione 1280x800 pixel. Alimentazione 12Vdc e PoE+. Attacco VESA e staffa per il montaggio a muro (opzionale).

10" Touchpanel with Ethernet, WiFi and Bluetooth interface. Resolution 1280x800 pixels. 12Vdc and PoE + power supply. VESA socket and wall mounting bracket (optional).

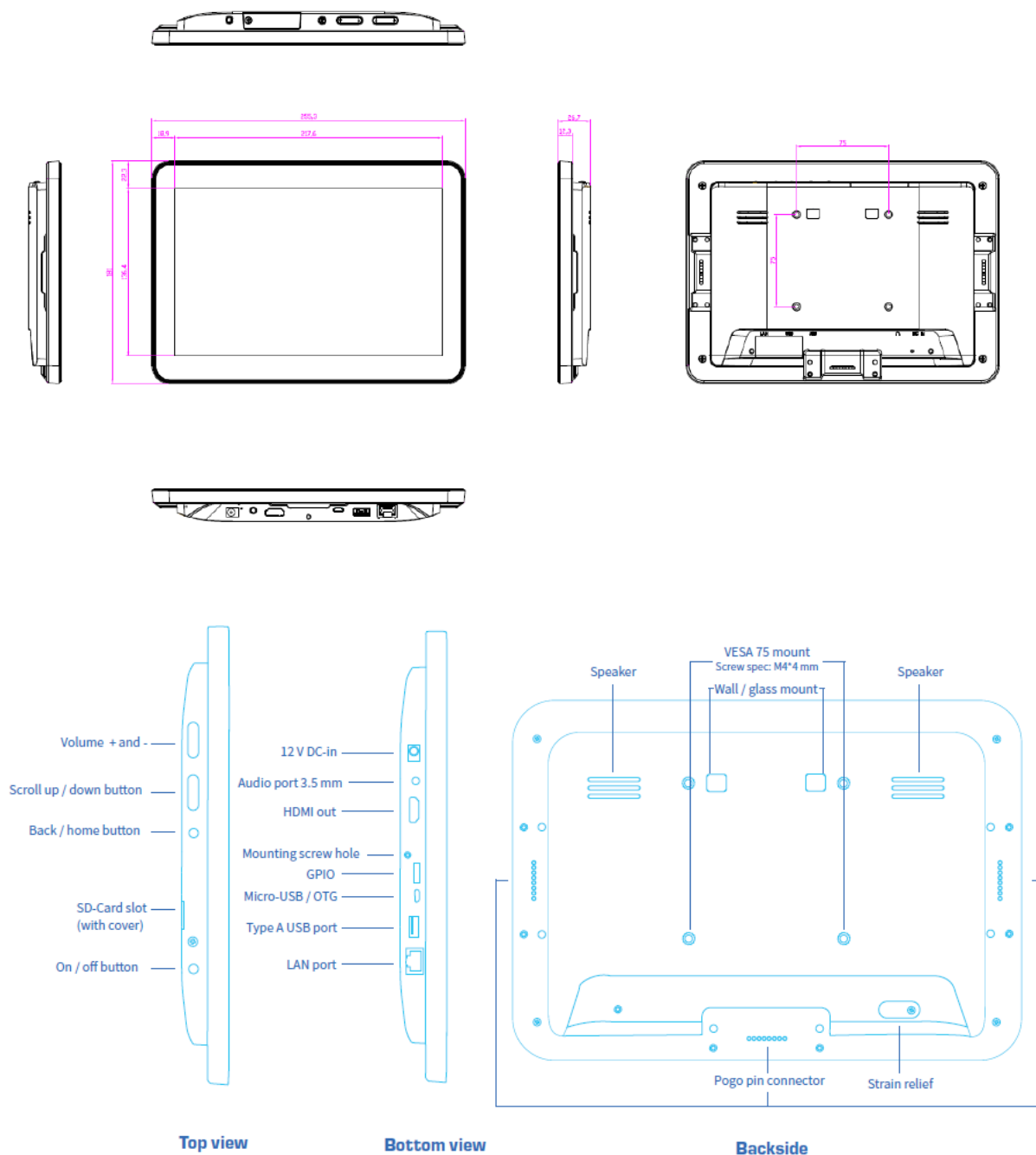
Modelli | Models

Model	Code	Description
ZQ-TOUCH-10PDVX	ZQ13-01R0	10" Touchpanel with Ethernet, WiFi and Bluetooth interface.
ZQ-STAFF-PDVX	ZQ13-02R0	VESA bracket for wall mounting.

Specifiche tecniche | Technical specifications

Input power	12Vdc 2A, PoE+, max 20W
Panel	Size 10.1" Resolution 1280 x 800 Brightness 500 cd/m2 Viewing Angle H 160° / V 160° Touch Type 10 point touch projected capacitive Contrast Ratio 800:1 Aspect Ratio 16:10 wide
System	CPU Cortex A17, Quad Core, RK3288 GPU MALI T764 / 3D Graphic Engine (4K) System Memory 2 GB DDR3 SDRAM Internal Storage 16 GB eMMC Flash OS Android 8
Ethernet	10/100/1000 Mps LAN Power over Ethernet IEEE 802.3at (PoE+)
I/O Ports	Micro-USB, USB, HDMI, GPIO Port, 3.5 mm audio-out, RJ45, 12 Vdc-in
Audio	Speakers 2x2 W, Microphone, Audio Jack Output 3.5
Wireless interface	WiFi 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth BT 4.2
Mounting/VESA	VESA 75
Operating Environment	Ambient temperature (ta) 0°C to +40°C Relative humidity 10% to 90%, Storage -10°C to +55°C
Housing	Plastic black, IP20
Dimensions	256 x 181 x 27 mm
Weight	650 g
EU/UK Declaration of Conformity	This device complies with the essential requirements of the Radio Equipment Directive (2014/53/EU). The following test methods have been applied in order to prove presumption of conformity with the essential requirements of the Radio Equipment Directive. This equipment is compliant with Class A of EN 55032. In a residential environment, this equipment may cause radio interference.

Dimensioni e connessioni | Dimensions and wiring



LUCA CRUDO
perito industriale

progettazione e consulenza globale
per l'impiantistica elettrica - energie rinnovabili
prevenzione incendi

via bonzanigo, 11 - 14100 asti tel/fax 0141/59.59.25 cell. 338/77.23.097 l.crudo@studiocrudo.it

Relazione descrittiva inerente il collaudo delle nuove apparecchiature illuminanti installate presso la sede

Collaudo effettuato presso la sede di

in data 03/04/2024 alla presenza:

- Responsabile
- Tecnici incaricati ditta installatrice
- Studio tecnico di Progettazione: Luca Crudo
- Referenti WURTH: Micol Chiara Ferrante, Massimo Peyronel

Principali caratteristiche delle apparecchiature LED

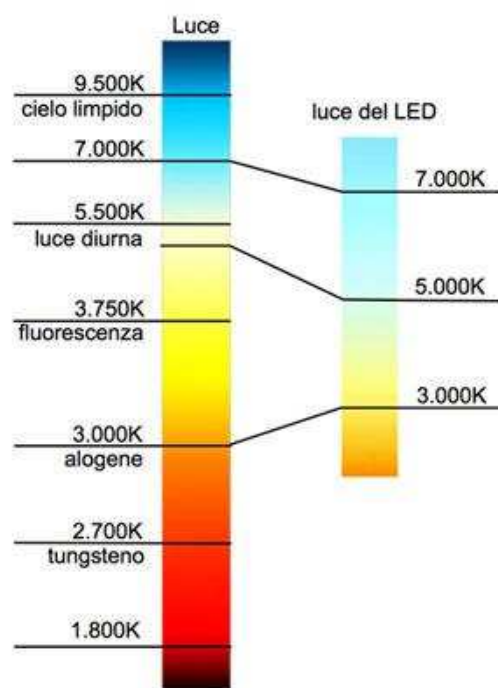
Illuminazione con i LED

Un Light - Emitting Diode (LED) è una sorgente di luce a semiconduttore. I LED sono utilizzati come indicatori luminosi in molti dispositivi, e sono sempre più utilizzate per l'illuminazione. Introdotto come componente elettronico nel 1962, i primi LED erano a bassa intensità di luce rossa, ma le versioni moderne sono disponibili in tutta la lunghezza d'onda visibile, ultravioletti e infrarossi, con una luminosità molto elevata. I LED presentano molti vantaggi rispetto alle fonti di luce tradizionali tra cui il minore consumo di energia, la robustezza migliorata, le dimensioni ridotte, la maggiore rapidità di accensione e una maggiore durata e di affidamento nel tempo. Tuttavia, essi sono relativamente costosi e richiedono più attenzione nella gestione del calore rispetto alle tradizionali fonti di luce. Dispositivi a stato solido, come i LED, sono soggetti ad usura molto limitata se impiegati a basse correnti e alle basse temperature. La loro vita media può variare da 25.000 a 100.000 ore, ma il calore e le impostazioni correnti possono ampliare o ridurre questo tempo in modo significativo.

Caratteristiche del fascio luminoso

Di norma si tende ad accumunare i prodotti LED come fonti di luce fredda. Possono invece emettere diverse tonalità di luce, andando a sostituire anche fonti di luce tradizionale con luce calda o gialla. Salendo di temperatura la luce si fa dapprima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta.

Tipicamente si è soliti raggruppare in tre gruppi le tonalità di luce emessa dai prodotti LED:

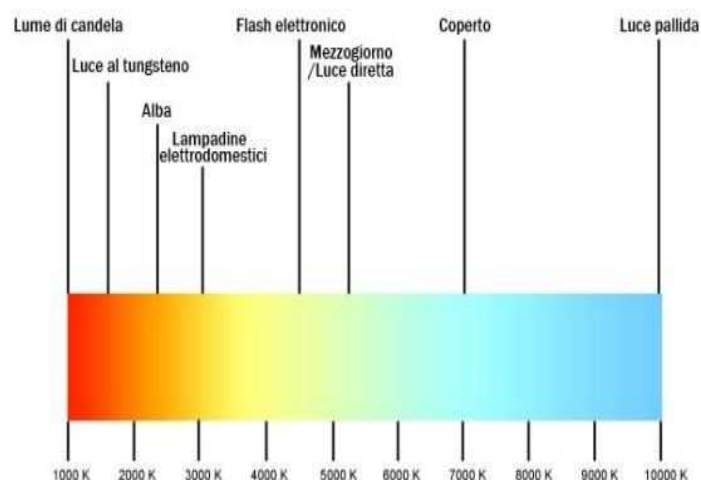


Grandezze fotometriche

In campo illuminotecnico si utilizzano grandezze e metodi di misura propri della fotometria, che è la disciplina che quantifica e qualifica la luce in termini di stimoli percepiti dall'occhio umano (e ponderati da un sistema di valutazione gestito dal cervello). Le grandezze fotometriche misurano quindi l'energia radiata nello spettro visibile, "pesata" secondo la sensibilità spettrale dell'occhio.

- Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente (primaria o secondaria) nell'unità di tempo. Dimensionalmente, il flusso luminoso può essere considerato una potenza: per la misurazione di tale quantità si potrebbe, quindi, utilizzare il watt. In realtà la sensibilità dell'occhio umano alle radiazioni assume un ruolo fondamentale: non è la medesima per tutte le lunghezze d'onda. Nel calcolo del flusso luminoso generato da una sorgente si tiene dunque in considerazione tale sensibilità dell'organo visivo.



Se si confrontano le fonti di luce artificiale con la luce del giorno, possiamo concludere che le luci LED rappresentano la scelta più vicina alla luce naturale.



Di norma si tende ad accumulare i prodotti LED come fonti di luce fredda. **Possono invece emettere diverse tonalità di luce**, andando a sostituire anche fonti di luce tradizionale con luce calda o gialla. La temperatura si misura in **gradi kelvin** e una temperatura bassa (intorno ai 2000 K) corrisponde ad un colore giallo-arancio. Salendo di temperatura la luce si fa dapprima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta.

Tipicamente si è soliti raggruppare in tre gruppi le tonalità di luce emessa dai prodotti LED:

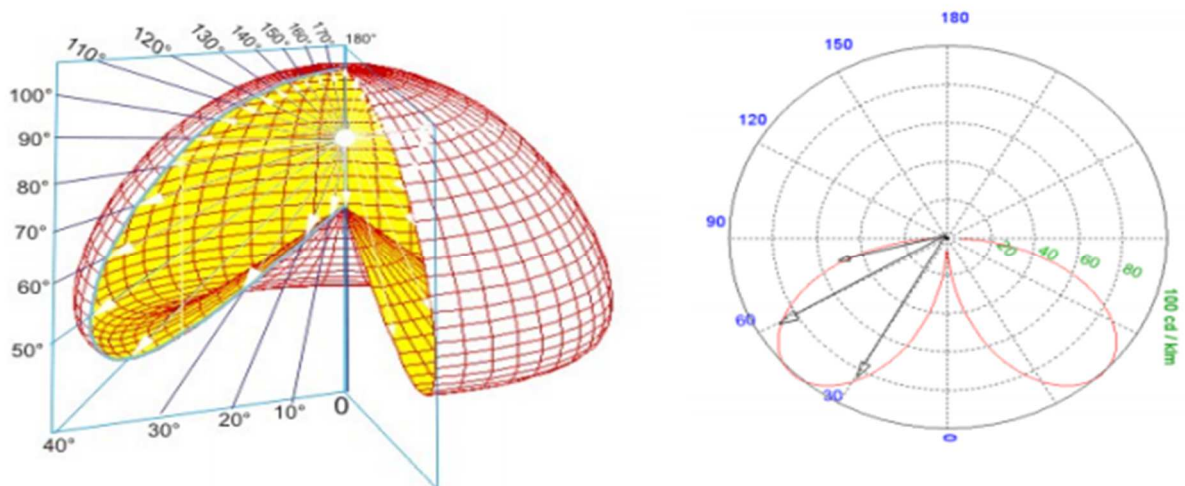
LUCE CALDA – WW Warm White (2700-3500K): Tonalità più vicina al colore delle tipiche lampadine ad incandescenza che ancora oggi troviamo nelle nostre case.

LUCE NATURALE – NW Natural White (4000K-5000K): Tonalità di colore più chiara rispetto alla luce calda. Non presenta la tipica componente di colore giallo

LUCE FREDDA – WH Cool White (6000-8000K): Temperatura colore spiccatamente bianca, tendente approssimativamente ad un tono bluastr.

- L'intensità luminosa

È l'unità base della fotometria nel Sistema Internazionale. L'intensità luminosa esprime il flusso luminoso emesso da una sorgente infinitesima, supposta puntiforme, nell'angolo solido elementare attorno a una data direzione r . L'unità di misura è la candela (cd), definita come l'intensità luminosa emessa da una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz ($\lambda = 555\text{nm}$) e con intensità in quella direzione di $1/683$ W/sr. La conoscenza dell'intensità luminosa emessa da una sorgente nelle diverse direzioni consente di costruire il solido fotometrico, che è quella figura geometrica delimitata da una superficie chiusa, formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa in quella direzione e centro nella sorgente. Se di una sorgente è noto il solido fotometrico, da esso è possibile risalire al valore dell'intensità luminosa nelle varie direzioni, il che è utile ai fini progettuali. Spesso i solidi fotometrici presentano delle simmetrie intorno a uno o più assi, in tal caso il solido fotometrico è completamente individuabile attraverso uno o più diagrammi polari piani, ottenuti intersecando la superficie fotometrica con uno o più piani passanti per l'asse di simmetria. Si ottengono così le curve fotometriche della sorgente in esame.



- L'illuminamento

L'illuminamento in un dato punto di una superficie è definito come il rapporto tra il flusso luminoso incidente sulla superficie elementare nell'intorno del punto considerato e la superficie elementare stessa. L'unità di misura è il lux (lx), ossia l'illuminamento di una superficie di 1 m^2 ricevente un flusso luminoso di 1 lm uniformemente ripartito. Per avere un'idea dei valori di illuminamento che si presentano in natura, si passa da un valore di 0.01 lux in una notte serena senza luna a 20000 lux nel caso di giornate con cielo coperto, fino a 100000 lux in una giornata estiva di sole.

- **La 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”. La sorgente può essere primaria o secondaria: in quest'ultimo caso, essa trasmette o riflette a luce proveniente da una sorgente primaria. E' rappresentata dal simbolo L , l'unità è la candela su metro quadrato. L'area apparente della superficie viene valutata proiettando la superficie su un piano perpendicolare alla direzione considerata. La luminanza è la grandezza fondamentale per la visione, perché è la luminanza degli oggetti che “vediamo”; le sue variazioni nel nostro campo visivo, unitariamente alle variazioni cromatiche, sono i fattori essenziali per il riconoscimento dei vari oggetti che percepiamo attorno a noi. La differenza relativa fra il valore della luminanza riferito a un oggetto e la luminanza media del campo visivo esterno si chiama fattore di contrasto. Il giusto equilibrio delle luminanze ha notevole importanza nella progettazione degli impianti di illuminazione.

- **La radianza**

La radianza M di un punto di una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie attorno a quel punto e l'area dell'elemento stesso. L'unità di misura della radianza è il lux.

Riferimenti Opere di Rilievo

Il rilievo presso lo stabilimento di Crespellano (BO) si è svolto all'interno delle aree denominate:

- **Uffici amministrativi**
- **Magazzino logistica**
- **Officina**
- **Depositi, attrezzerie**
- **Esterno**

In tale stabilimento le apparecchiature illuminanti esistenti sono principalmente costituite da proiettori/plafoni di potenza variabile installati a sospensione e su staffe, da apparecchiature stagne alimentate da blindo luce dedicati e da proiettori a staffa o stradali su palo. Nei locali uffici le lampade rilevate sono principalmente del tipo ad incasso nella controsoffittatura.

La tabella che segue indica i principali valori di illuminamento rilevati e quelli ottenibili mediante opere di adeguamento.

Zona di riferimento	Ill. Em da norma (lx)	Uo da norma	Ill. Em Progetto (lx)	Ill. Em Rilevato (lx)	Taratura sensori se presenti (tempo/lux)	Note
<u>Officina Riparazioni</u>	300	0,6	536	642		Con apporto di luce esterna
<u>Zona Lavaggio</u>	300	0,6	408	370		
<u>Spoqliatoio</u>	200	0,4	267	432		
<u>Mensa</u>	200	0,4	395	382		
<u>Reception</u>	500	0,6	628	793		
<u>Ufficio</u>	500	0,6	532	539		
<u>Ufficio</u>	500	0,6	554	635		
<u>Corridoio</u>	100	0,4	330	352		

Sulla base dei rilievi effettuati era emerso che le principali apparecchiature presenti nel sito erano le seguenti:

	<p>Apparecchiatura illuminante a plafone lineare a tenuta IP65 per lampade fluorescenti varie potenze (1x58W – 1x36W – 1x18W – 2x58W – 2x36W – 2x18W ecc) con installazione su blindo, a parete, a soffitto o su altra mensola o sostegno</p>
	<p>Sospensione industriale per grandi altezze con lampada joduri metallici 400W</p>
	<p>Proiettore a staffa varie ottiche per lampada a joduri metallici 400W</p>
	<p>Plafoniera incasso entro controsoffitto 60x60 (4x18W DL)</p>
	<p>Plafoniera a parete tipo circolina 60W</p>

Di seguito uno stralcio del report fotografico con alcuni esempi delle apparecchiature illuminanti sostituite







Di seguito uno stralcio del report fotografico con alcuni esempi delle apparecchiature illuminanti installate











WLED BALTIC 2 4000K CRI80 MOD. B4

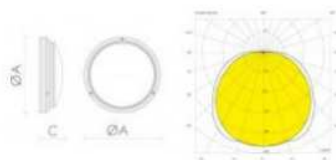


Modello	B4	Installazione	Apparecchio a plafone con installazione a soffitto o parete
Materiali	Corpo in nylon rinforzato con fibre di vetro bianco o grigio guarnizione silliconica	Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione Ta ambiente	IP65 -25 / +45 °C	Protezione contro gli urti Ottica	IK10 Riflettore in alluminio speculare, diffusore in policarbonato opale antiabbagliamento liscio
Tensione nominale	220-240Vac 50/60Hz	Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1:2015
Garanzia	7 ANNI	Indice di decadimento flusso	L90-B10 (60.000h)
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente	Angolo	150°
Flicker	Flicker free (minore del 3%)	Moduli LED	Rimovibili (Classe: D)
Cablaggio	Rimovibile		

PRESTAZIONI									
W tot.	N°led	LUMEN LED	LUMEN OUTPUT	Lm/W	REPLACE	A	B	C	Kg
8	54	1250	887	111	1x16W 2D	375	-	110	1,9
14	54	2130	1512	108	1x26W G24	375	-	110	1,9
22	54	3080	2186	99	2x18W FL-C	375	-	110	1,9

Il flusso luminoso e la potenza totale assorbita dal sistema hanno una tolleranza di $\pm 10\%$ rispetto ai valori indicati.

- 3000K - CRI80 = -4,54% lm - 4000K - CRI80 = standard - 4000K - CRI90 = -15,08% lm





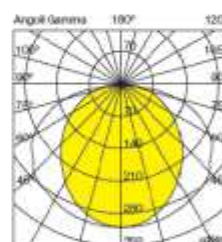
WLED EVA HP



Apparecchio led stagno a plafone con installazione a soffitto, parete, blindosbarra e sospensione. Costruito in estrusione di policarbonato autoestinguente V2, riflettore porta componenti in lamiera preverniciata di colore bianco, tappi di chiusura in policarbonato con guarnizione siliconica, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1. Ta ambiente -25 / 45 °C

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

	Class I		CRI 40		EN / IEC 60598-1
	Sospesa		Max. ACR 3		800/90
	Plafone		K 00		L90 D10 > 100.000 h
	Flu continuo		IP 60		7 YEARS WARRANTY
	Blindosbarra		0.75W/m		



Options

EL	= on/off
LD	= del 2 / del 2 push
Q1	= del 2 + on 1h
ET	= on 1h
E3	= on 3h
FO	= flu continuo / continuous on
IC	= ice 50°
SR	= radar sensor on/off
S1	= radar sensor 1-10V
CS	= casarici

DIMENSIONI / DIMENSIONS

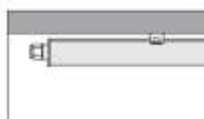
	A	B	C	H
mm	mm	mm	mm	mm
01	62	99	62	60
02	62	119	62	1,2
03	62	145	62	1,8





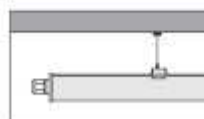
W tot.	*K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	L (mm)
9	4000K - CRI>80	1387	154	595
11	4000K - CRI>80	1660	151	595
13	4000K - CRI>80	2106	162	595
19	4000K - CRI>80	2949	155	595
20	4000K - CRI>80	3449	172	1155
21	4000K - CRI>80	3365	160	595
23	4000K - CRI>80	3478	151	1155
24	4000K - CRI>80	3606	150	1435
25	4000K - CRI>80	4292	172	1435
28	4000K - CRI>80	4386	157	1155
29	4000K - CRI>80	4262	147	595
30	4000K - CRI>80	4492	150	1435
33	4000K - CRI>80	5415	164	1435
34	4000K - CRI>80	5437	160	1155
36	4000K - CRI>80	5892	164	1155
37	4000K - CRI>80	5280	143	1435
39	4000K - CRI>80	6339	163	1155
44	4000K - CRI>80	6898	157	1155
47	4000K - CRI>80	8081	172	1435
49	4000K - CRI>80	8359	171	1155
59	4000K - CRI>80	9597	163	1435
62	4000K - CRI>80	9641	156	1155
64	4000K - CRI>80	10007	156	1435
70	4000K - CRI>80	10693	153	1435

Installazione a parete
Surface mounting installation



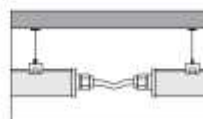
Apparecchio adatto per installazione a parete

Installazione a sospensione
Suspended installation



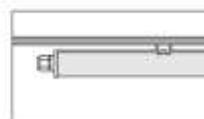
Apparecchio adatto per installazione a sospensione

Installazione in filo continuo
Continuous line installation



Apparecchio adatto per installazione in filo continuo (Opzione FC)

Installazione a bindestampa
Rebar installation



Apparecchio adatto per installazione a bindestampa



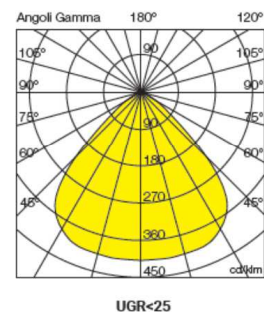
WLED MIR 4000K CRI>80 mod.S5 UGR<25



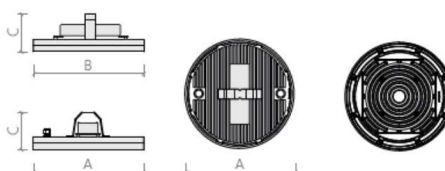
Riflettore led industriale e commerciale a sospensione. Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver. Lente IP66 in policarbonato, guarnizione in silicone, driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1 Lente in policarbonato 90° UGR<25 ad alto rendimento di flusso, antiabbagliamento e antiriflesso

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

- | | | | | | |
|--|--------------------------|--|---------------------------|--|--------------------------|
| | Classe I
Class I | | CRI >80 | | EN / IEC
60598-1 |
| | Sospensione
Suspended | | Mac Adams 3 | | RG0/RG1 |
| | Plafone
Surface | | UGR <25
UGR <22 | | L90-B10 >100.000 h |
| | Blindosbarra
Busbar | | IK 08 | | Ball Test
DIN 18032-3 |
| | | | IP 66 | | 7 YEARS
WARRANTY |
| | | | 10 kV
Surge Protection | | |
| | | | ● Grafite / Graphite | | |



	A	B	C	Kg
D1	365	365	130	4,8
D2	365	365	130	5,2



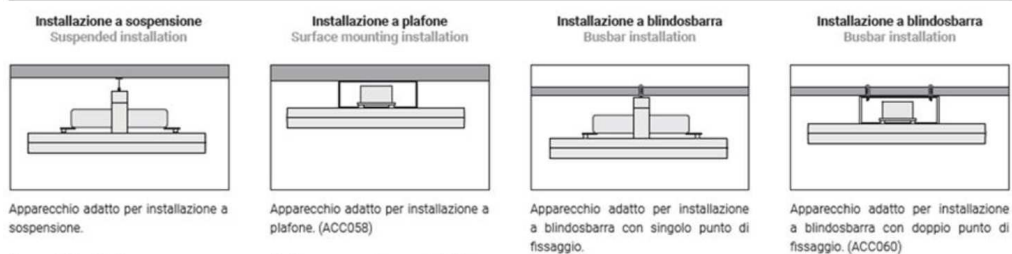
HIGH PERFORMANCE

W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
80	4000K - CRI>80	14513	181	D1
90	4000K - CRI>80	16339	182	D1
98	4000K - CRI>80	17590	179	D1
110	4000K - CRI>80	18973	172	D1
120	4000K - CRI>80	20348	170	D1
130	4000K - CRI>80	22166	171	D1
140	4000K - CRI>80	24487	175	D1
148	4000K - CRI>80	24936	168	D1
160	4000K - CRI>80	26652	167	D1
170	4000K - CRI>80	28423	167	D1
180	4000K - CRI>80	30182	168	D1
190	4000K - CRI>80	31493	166	D1
195	4000K - CRI>80	33704	164	D1
220	4000K - CRI>80	35817	163	D1
230	4000K - CRI>80	37527	163	D1
245	4000K - CRI>80	39311	160	D2

HIGH EFFICIENCY

W tot.	°K - CRI	Lm OUTPUT	Lm/W	dimension
70	4000K - CRI>80	11975	171	D1
89	4000K - CRI>80	15212	171	D1
100	4000K - CRI>80	17116	171	D1
150	4000K - CRI>80	23873	159	D1
200	4000K - CRI>80	30346	152	D1
240	4000K - CRI>80	35529	148	D1

INSTALLAZIONE / INSTALLATION





WLED POLAR 2 4000K CRI80 MOD. RR

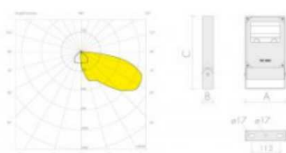


Modello	RR	Classe di isolamento	Classe I
Materiali	Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver, vetro temperato trasparente spessore 4 mm, guarnizione in silicone	Ottica	Riflettore asimmetrico 65° in alluminio satinato
Installazione	Apparecchio adatto per installazione a terra, a soffitto, a parete, su palo 60mm.	Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08	Ta ambiente	-25 / +45 °C
Tensione nominale	220-240Vac 50/60Hz	Flicker	low flicker (minore del 7%)
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598	Garanzia	7 ANNI
Indice di decadimento flusso	L80-B20 (50.000h)-L80-B50 (75.000h)	Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Angolo	65°	Moduli LED	Rimovibili (Classe: D)
Cablaggio	Rimovibile		

W tot.	N°led	REPLACE	LUMEN LED	LUMEN OUTPUT	Lm/W	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Kg
60	2	150W JM/SAP	10112	7818	130	205	50	365	3,5
70	2	-	13065	10099	144	205	50	365	3,5
80	2	150W JM/SAP	14766	11415	143	205	50	365	3,5
90	2	-	16530	12779	142	205	50	365	3,5
100	2	150W JM/SAP	17640	13637	136	205	50	365	3,5
120	2	250W JM	18726	14477	121	205	50	365	3,5

Il flusso luminoso e la potenza totale assorbita dal sistema hanno una tolleranza di $\pm 10\%$ rispetto ai valori indicati.

• 2200K - CRI80 = -19.85% lm • 3000K - CRI80 = -5.28% lm • 4000K - CRI80 = standard • 5000K - CRI80 = +0.90% lm • 6500K - CRI80 = +0.00% lm





WLED QUADRA HP 4000K CRI>80 mod.QP UGR<19



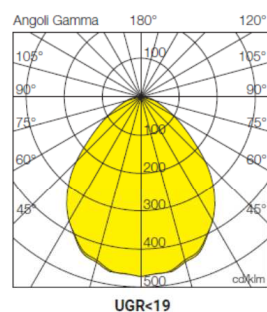
Apparecchio led **BACKLIGHT** multinstallazione, installabile ad incasso in appoggio per controsoffitti in pannelli aventi struttura portante a vista 15/24 mm o a plafone mediante apposito accessorio. Corpo costruito in lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliestere di colore bianco, antingiallente con finitura gofrata fine, pretrattamento di fosfatazione e sgrassaggio. Driver elettronico 220-240V 50/60Hz. Prodotto costruito in conformità alle vigenti norme EN / IEC 60598-1.

Ottica

Diffusore in policarbonato microprismatico antiabbagliamento e antiriflesso.

CARATTERISTICHE / MAIN FEATURES

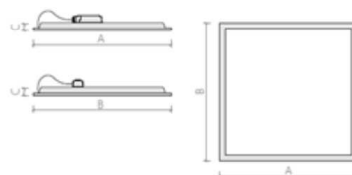
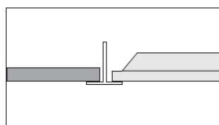
	Classe II Class II		CRI >80 CRI >90		EN / IEC 60598-1
	Incasso Recessed		Mac Adams 3		RG0/RG1
	Plafone Surface		UGR <19		L80-B50 >100.000 h L90-B10 > 60.000 h
	Sospensione Suspension		IK 06		7 YEARS WARRANTY
			IP 20/40		
			O Bianco opaco / Matt white		



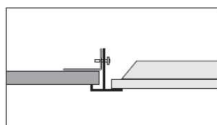
W tot.	°K - CRI	LUMEN OUTPUT	Lm/W	dimension
24	4000K - CRI>80	3223	134	D1
27	4000K - CRI>80	3555	132	D1
32	4000K - CRI>80	4158	130	D1
36	4000K - CRI>80	4642	129	D1
42	4000K - CRI>80	5113	122	D1
48	4000K - CRI>80	5795	121	D1

DIMENSIONI / DIMENSIONS

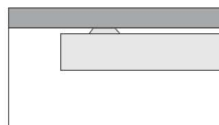
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Kg
D1	595	595	35	2,2


INSTALLAZIONE / INSTALLATION
Installazione ad incasso in appoggio
 Recessed installation


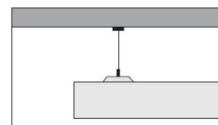
Apparecchio adatto per installazione ad incasso in appoggio per controsoffitti con struttura a vista 15/24 mm.

Installazione ad incasso per controsoffitti in cartongesso
 Plasterboard installation


Apparecchio adatto per installazione ad incasso per controsoffitti in cartongesso. Installazione con cornice.

Installazione a plafone
 Surface mounting installation


Apparecchio adatto per installazione a plafone. Installazione con cornice. (ACC037 - ACC175)

Installazione a sospensione
 Suspended installation


Apparecchio adatto per installazione a sospensione. (ACC006 + ACC037 - ACC175)



WLED STELLA CRI>80 MOD. 24 UGR<19

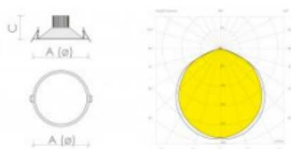


Modello	24	Classe di isolamento	Classe II
Materiali	lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliesteri di colore bianco e antingiallente con finitura gofrata fine IP44	Installazione	installazione su controsoffitto in cartongesso
Grado di protezione	IP44	Protezione contro gli urti	IK07
Ta ambiente	-25 / +45 °C	Ottica	Riflettore in alluminio metallizzato, diffusore in policarbonato microprismatico antiabbagliamento.
UGR	minore di 19	Tensione nominale	220-240Vac 50/60Hz
Flicker	Low Flicker (minore del 10%)	Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1:2015
Garanzia	7 ANNI	Indice di decadimento flusso	L90-B10 (50.000h)-L80-B50 (75.000h)
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente	Angolo	90°
Moduli LED	Rimovibili (Classe: D)	Cablaggio	Rimovibile

W-tot	*K-CRI	n° Led	REPLACE	LUMEN LED	LUMEN OUTPUT	Lm/W	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Kg
11	4000K-CRI>80	1	1x26W FL-C	1928	1388	126	240	-	90	0,4
13	4000K-CRI>80	1	1x26W FL-C	2304	1658	128	240	-	90	0,4
18	4000K-CRI>80	1	1x26W FL-C	3254	2342	130	240	-	90	0,4
20	4000K-CRI>80	1	2x26W FL-C	3355	2415	121	240	-	90	0,4
26	4000K-CRI>80	1	2x26W FL-C	4480	3225	124	240	-	90	0,4
30	4000K-CRI>80	1	70W JM	4133	2975	99	240	-	90	0,4
40	4000K-CRI>80	1	400W ALO	6517	4692	117	240	-	90	0,4
55	4000K-CRI>80	1	500W ALO	8418	6060	110	240	-	90	0,4
75	4000K-CRI>80	1	150W JM	10905	7851	105	240	-	90	0,4

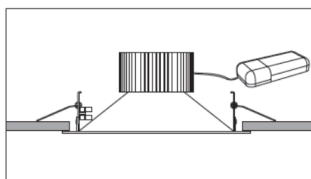
Il flusso luminoso e la potenza totale assorbita dal sistema hanno una tolleranza di $\pm 10\%$ rispetto ai valori indicati.

• 3000K – CRI80 = -4.91% lm • 4000K – CRI80 = standard • 5000K – CRI80 = +0.60% lm • 6500K – CRI80= 0% lm • 3000K – CRI90= -18.15% lm • 4000K – CRI90 = -14.33% lm



INSTALLAZIONE / INSTALLATION
FORO INCASSO / RECESSED HOLE

Installazione ad incasso per
controsoffitti in cartongesso
Plasterboard installation



Apparecchio adatto per installazione ad
incasso per controsoffitti in cartongesso.

	Ø
D1	110
D2	140
D3	170
D4	190
D5	230

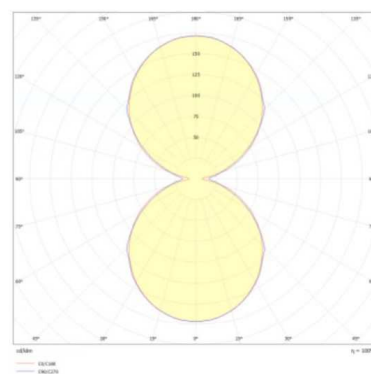




WLED ZOE M 4000K CRI>80

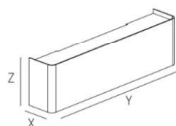


Apparecchio decorativo per installazione a parete. Base portacablaggio con sorgente luminosa LED multichip e schermo di chiusura in polycarbonato opalino. Frontale in acciaio al carbonio pressopiegato intercambiabile con fissaggio magnetico. Verniciatura con polveri epossidiche antiraffio. Alimentatore incorporato.



Size	Lumen Out	Watt Tot	K	Beam angle	Driver Type	Driver no.
01	1735	22	4000	D	ON/OFF	1
02	3315	42	4000	D	ON/OFF	1
03	5125	65	4000	D	ON/OFF	1

Size	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Kg
01	70	225	115	1,1
02	70	395	115	1,8
03	70	595	115	2,7



01



02



03

Conclusioni

Si specifica che all'interno delle zone oggetto di intervento, esistono, a causa di limiti inerenti gli impianti esistenti, zone in cui i valori di uniformità non sono ottimali. Come indicato in fase di rilievo, alcuni vizi possono essere eliminati unicamente mediante riprogettazione completa del piano luce, con spostamento, adattamento ed ottimizzazione dei blindo luce facenti parte dell'impianto ma esclusi da tale incarico. Durante le fasi di installazione non è stato modificato in alcun modo alcun quadro elettrico, apparato o parte di impianto elettrico esistente. Non è infine oggetto di tale incarico il rifacimento, adattamento o modifica della quota "illuminazione di emergenza", non considerata in rilievo.

Asti, Maggio 2024

Il Tecnico

Crudo Per. Ind. Luca



Relazione descrittiva inerente il collaudo delle nuove apparecchiature illuminanti installate presso la sede

Collaudo effettuato presso la sede di

in data 23/05/2024 alla presenza:

- Responsabile
- Tecnici incaricati ditta installatrice
- Studio tecnico di Progettazione: Luca Crudo

- Referenti WURTH: Massimo Peyronel, Micol Chiara Ferrante

Principali caratteristiche delle apparecchiature LED

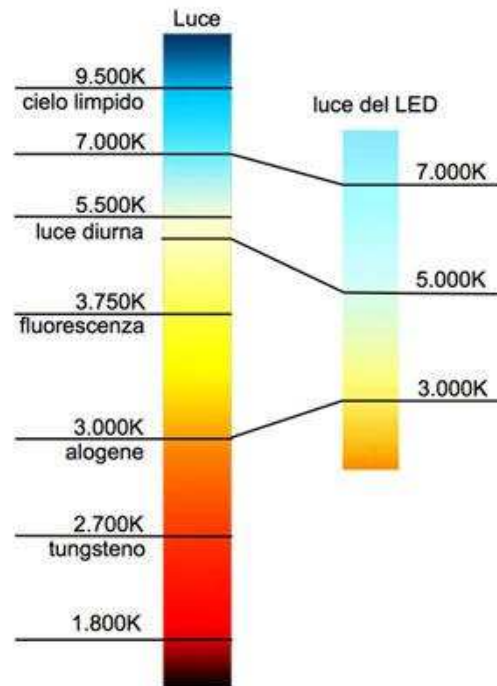
Illuminazione con i LED

Un Light - Emitting Diode (LED) è una sorgente di luce a semiconduttore. I LED sono utilizzati come indicatori luminosi in molti dispositivi, e sono sempre più utilizzate per l'illuminazione. Introdotto come componente elettronico nel 1962, i primi LED erano a bassa intensità di luce rossa, ma le versioni moderne sono disponibili in tutta la lunghezza d'onda visibile, ultravioletti e infrarossi, con una luminosità molto elevata. I LED presentano molti vantaggi rispetto alle fonti di luce tradizionali tra cui il minore consumo di energia, la robustezza migliorata, le dimensioni ridotte, la maggiore rapidità di accensione e una maggiore durata e di affidamento nel tempo. Tuttavia, essi sono relativamente costosi e richiedono più attenzione nella gestione del calore rispetto alle tradizionali fonti di luce. Dispositivi a stato solido, come i LED, sono soggetti ad usura molto limitata se impiegati a basse correnti e alle basse temperature. La loro vita media può variare da 25.000 a 100.000 ore, ma il calore e le impostazioni correnti possono ampliare o ridurre questo tempo in modo significativo.

Caratteristiche del fascio luminoso

Di norma si tende ad accumunare i prodotti LED come fonti di luce fredda. Possono invece emettere diverse tonalità di luce, andando a sostituire anche fonti di luce tradizionale con luce calda o gialla. Salendo di temperatura la luce si fa dapprima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta.

Tipicamente si è soliti raggruppare in tre gruppi le tonalità di luce emessa dai prodotti LED:

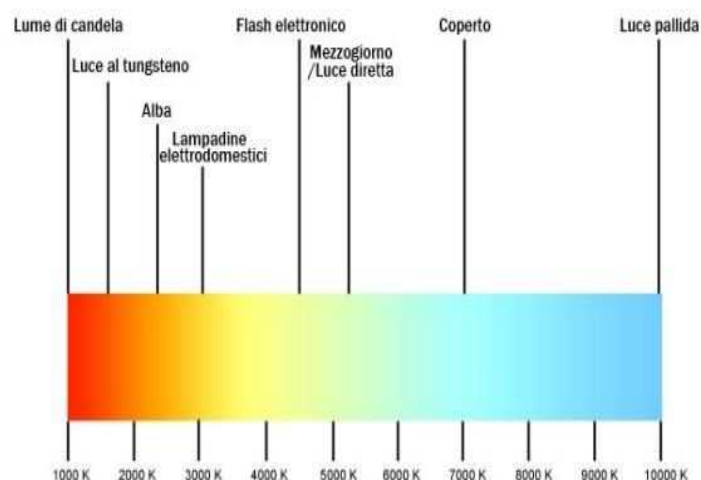


Grandezze fotometriche

In campo illuminotecnico si utilizzano grandezze e metodi di misura propri della fotometria, che è la disciplina che quantifica e qualifica la luce in termini di stimoli percepiti dall'occhio umano (e ponderati da un sistema di valutazione gestito dal cervello). Le grandezze fotometriche misurano quindi l'energia radiata nello spettro visibile, “pesata” secondo la sensibilità spettrale dell'occhio.

- Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente (primaria o secondaria) nell'unità di tempo. Dimensionalmente, il flusso luminoso può essere considerato una potenza: per la misurazione di tale quantità si potrebbe, quindi, utilizzare il watt. In realtà la sensibilità dell'occhio umano alle radiazioni assume un ruolo fondamentale: non è la medesima per tutte le lunghezze d'onda. Nel calcolo del flusso luminoso generato da una sorgente si tiene dunque in considerazione tale sensibilità dell'organo visivo.



Se si confrontano le fonti di luce artificiale con la luce del giorno, possiamo concludere che le luci LED rappresentano la scelta più vicina alla luce naturale.



Di norma si tende ad accumulare i prodotti LED come fonti di luce fredda. **Possono invece emettere diverse tonalità di luce**, andando a sostituire anche fonti di luce tradizionale con luce calda o gialla. La temperatura si misura in **gradi kelvin** e una temperatura bassa (intorno ai 2000 K) corrisponde ad un colore giallo-arancio. Salendo di temperatura la luce si fa dapprima più bianca, quindi azzurra, violetta ed ultravioletta.

Tipicamente si è soliti raggruppare in tre gruppi le tonalità di luce emessa dai prodotti LED:

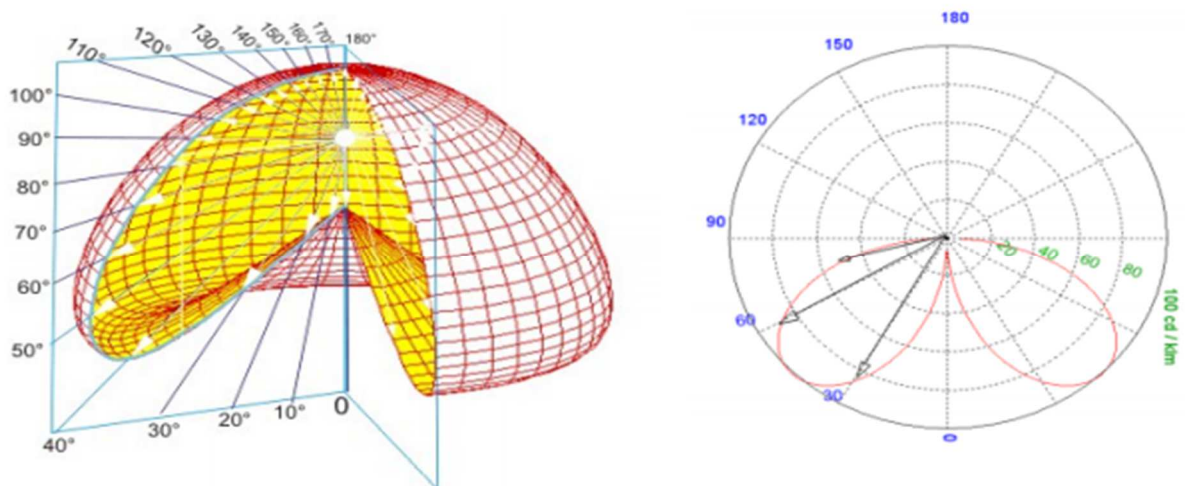
LUCE CALDA – WW Warm White (2700-3500K): Tonalità più vicina al colore delle tipiche lampadine ad incandescenza che ancora oggi troviamo nelle nostre case.

LUCE NATURALE – NW Natural White (4000K-5000K): Tonalità di colore più chiara rispetto alla luce calda. Non presenta la tipica componente di colore giallo

LUCE FREDDA – WH Cool White (6000-8000K): Temperatura colore spiccatamente bianca, tendente approssimativamente ad un tono bluastr.

- L'intensità luminosa

È l'unità base della fotometria nel Sistema Internazionale. L'intensità luminosa esprime il flusso luminoso emesso da una sorgente infinitesima, supposta puntiforme, nell'angolo solido elementare attorno a una data direzione r . L'unità di misura è la candela (cd), definita come l'intensità luminosa emessa da una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz ($\lambda = 555\text{nm}$) e con intensità in quella direzione di $1/683$ W/sr. La conoscenza dell'intensità luminosa emessa da una sorgente nelle diverse direzioni consente di costruire il solido fotometrico, che è quella figura geometrica delimitata da una superficie chiusa, formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa in quella direzione e centro nella sorgente. Se di una sorgente è noto il solido fotometrico, da esso è possibile risalire al valore dell'intensità luminosa nelle varie direzioni, il che è utile ai fini progettuali. Spesso i solidi fotometrici presentano delle simmetrie intorno a uno o più assi, in tal caso il solido fotometrico è completamente individuabile attraverso uno o più diagrammi polari piani, ottenuti intersecando la superficie fotometrica con uno o più piani passanti per l'asse di simmetria. Si ottengono così le curve fotometriche della sorgente in esame.



- L'illuminamento

L'illuminamento in un dato punto di una superficie è definito come il rapporto tra il flusso luminoso incidente sulla superficie elementare nell'intorno del punto considerato e la superficie elementare stessa. L'unità di misura è il lux (lx), ossia l'illuminamento di una superficie di 1 m^2 ricevente un flusso luminoso di 1 lm uniformemente ripartito. Per avere un'idea dei valori di illuminamento che si presentano in natura, si passa da un valore di 0.01 lux in una notte serena senza luna a 20000 lux nel caso di giornate con cielo coperto, fino a 100000 lux in una giornata estiva di sole.

- **La 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”. La sorgente può essere primaria o secondaria: in quest'ultimo caso, essa trasmette o riflette a luce proveniente da una sorgente primaria. E' rappresentata dal simbolo L , l'unità è la candela su metro quadrato. L'area apparente della superficie viene valutata proiettando la superficie su un piano perpendicolare alla direzione considerata. La luminanza è la grandezza fondamentale per la visione, perché è la luminanza degli oggetti che “vediamo”; le sue variazioni nel nostro campo visivo, unitariamente alle variazioni cromatiche, sono i fattori essenziali per il riconoscimento dei vari oggetti che percepiamo attorno a noi. La differenza relativa fra il valore della luminanza riferito a un oggetto e la luminanza media del campo visivo esterno si chiama fattore di contrasto. Il giusto equilibrio delle luminanze ha notevole importanza nella progettazione degli impianti di illuminazione.

- **La radianza**

La radianza M di un punto di una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie attorno a quel punto e l'area dell'elemento stesso. L'unità di misura della radianza è il lux.

Riferimenti Opere di Rilievo

Il rilievo presso lo stabilimento di Prato (PO) si è svolto all'interno delle aree denominate:

- **Uffici amministrativi**
- **Magazzino logistica**
- **Esterno**

In tale stabilimento le apparecchiature illuminanti esistenti sono principalmente costituite da proiettori/plafoni di potenza variabile installati a sospensione e su staffe, da apparecchiature stagne alimentate da blindo luce dedicati e da proiettori a staffa o stradali su palo. Nei locali uffici le lampade rilevate sono principalmente del tipo ad incasso nella controsoffittatura.

La tabella che segue indica i principali valori di illuminamento rilevati e quelli ottenibili mediante opere di adeguamento.

Zona di riferimento capannone A	Em (lx)	UGR L	Ra	Illuminamento medio Rilevato (lx)	Illuminamento medio di progetto previsto (lx)	Note
<u>1.4 Magazzini/magazzini refrigerati</u>						
1.4.1 Magazzini, aree di stoccaggio	100	25	60	443	314	200 lx se occupato continuamente
1.4.2 Aree di trasporto, imballaggio, spedizione	300	25	60	347	340	
<u>1.3 Uffici</u>						
1.3.2 Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	651	553	
1.3.1 Archiviazione	300	19	80	-	-	
1.3.6 Reception	300	25	80	-	-	

Zona di riferimento capannone B	Em (lx)	UGR L	Ra	Illuminamento medio Rilevato (lx)	Illuminamento medio di progetto previsto (lx)	Note
<u>1.4 Magazzini/magazzini refrigerati</u>						
1.4.1 Magazzini, aree di stoccaggio	100	25	60	311	208	200 lx se occupato continuamente
1.4.2 Aree di trasporto, imballaggio, spedizione	300	25	60	347	340	
<u>1.3 Uffici</u>						
1.3.2 Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	651	553	
1.3.1 Archiviazione	300	19	80	-	-	
1.3.6 Reception	300	25	80	-	-	

Zona di riferimento capannone C	Em (lx)	UGR L	Ra	Illuminamento medio Rilevato (lx)	Illuminamento medio di progetto previsto (lx)	Note
<u>1.4 Magazzini/magazzini refrigerati</u>						
1.4.1 Magazzini, aree di stoccaggio	100	25	60	357	197	200 lx se occupato continuamente
1.4.2 Aree di trasporto, imballaggio, spedizione	300	25	60	443	314	
<u>1.3 Uffici</u>						
1.3.2 Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	80	575	750	
1.3.1 Archiviazione	300	19	80	-	-	
1.3.6 Reception	300	25	80	-	-	

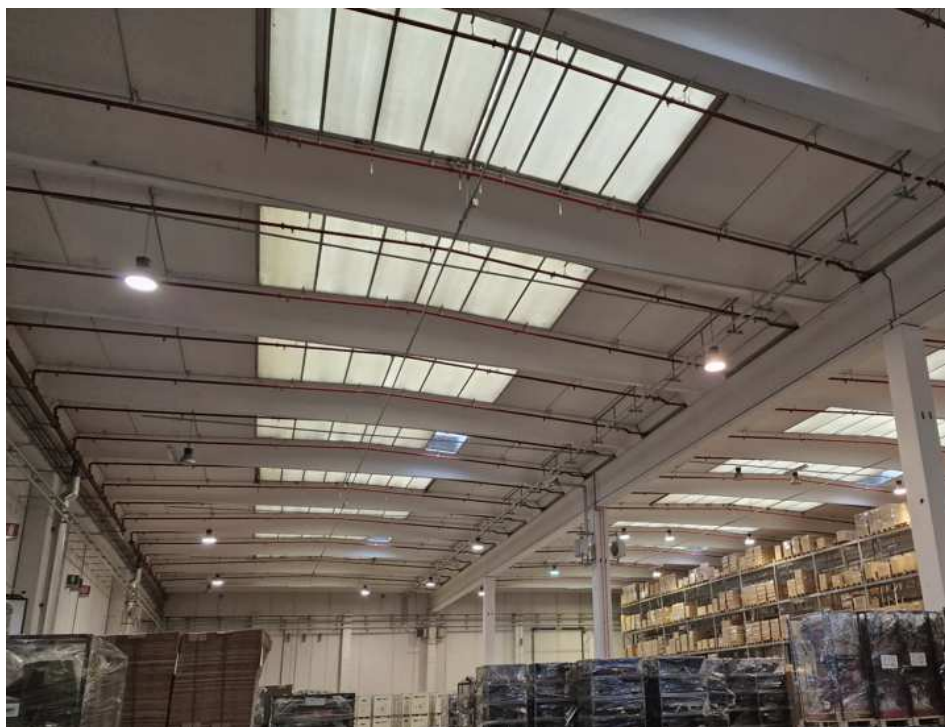
La tabella che segue indica, più nello specifico i valori previsti e quelli ottenuti per area:

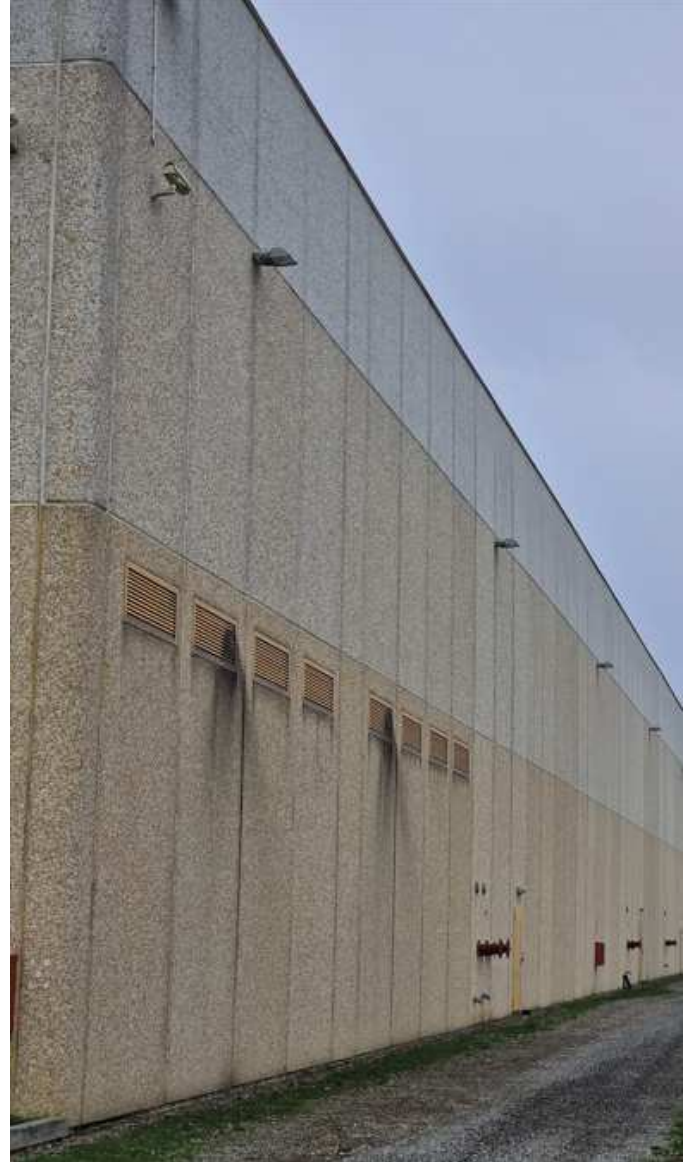
Zona di riferimento	III. Em da norma (lx)	Uo da norma	III. Em Progetto (lx)	III. Em Rilevato (lx)	Taratura sensori se presenti (tempo/lux)	Note
<u>Zona Aperta capannone C</u>	300	0,5	314	443		Da calibrare con apporto elevato di luce esterna
<u>Corsie capannone C</u>	150	0,5	197	357		Da calibrare con apporto di luce esterna
<u>Zona Aperta capannone B</u>	300	0,5	330	493		Da calibrare con apporto elevato di luce esterna
<u>Corsie capannone B</u>	150	0,5	191	278		Da calibrare con apporto di luce esterna
<u>Zona Aperta capannone A</u>	300	0,5	306	758		Da calibrare con apporto elevato di luce esterna
<u>Corsie capannone A</u>	150	0,5	191	236		Da calibrare
<u>Zona carica muletti Capannone B</u>	200	0,4	390	380		
<u>Zona carica muletti Capannone A</u>	200	0,4	390	326		
<u>Ufficio piano terra</u>	500	0,6	553	651		Apporto di luce esterna pari a 110 lx
<u>Ufficio piano terra</u>	500	0,6	575	750		Apporto di luce esterna pari a 190 lx
<u>Ufficio piano primo</u>	500	0,6	530	983		Apporto di luce esterna pari a 188 lx
<u>Corridoio piano primo</u>	100	0,4	290	606		Apporto di luce esterna pari a 403 lx

Sulla base dei rilievi effettuati era emerso che le principali apparecchiature presenti nel sito erano le seguenti:

	Apparecchiatura illuminante a plafone lineare a tenuta IP65 per lampade fluorescenti varie potenze (1x58W – 1x36W – 1x18W – 2x58W – 2x36W – 2x18W ecc) con installazione su blindo, a parete, a soffitto o su altra mensola o sostegno
	Sospensione industriale per grandi altezze con lampada joduri metallici 400W
	Proiettore a staffa varie ottiche per lampada a joduri metallici 400W
	Plafoniera incasso entro controsoffitto 60x60 (4x18W DL)
	Plafoniera a parete tipo circolina 60W

Di seguito uno stralcio del report fotografico con alcuni esempi delle apparecchiature illuminanti installate





Di seguito parte delle foto di misurazione effettuate durante il collaudo:

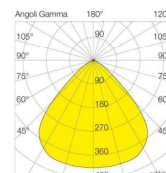


Schede tecniche degli apparecchi illuminanti installati

MIR/S5

8150S59100GD

TEC-MAR®
LIGHTING

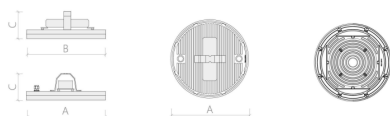


SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	S5
Colore	Silver
Installazione	Riflettore led industriale e commerciale a sospensione. Installabile a plafone, a sospensione ed a blindosbarra
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver, lente IP66 in policarbonato, guarnizione in silicone
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Lente in policarbonato 90° UGR<25 ad alto rendimento di flusso, antiabbagliamento e antiriflesso
Angolo	90°
UGR	minore di 25
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Protezione sovratensioni	10kv
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cablaggio esterno tramite connettore rapido IP66. - Sistema di fissaggio sospensione e blindosbarra incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

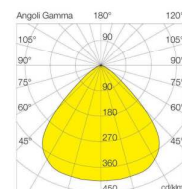
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
100	-	4000°K - CRI>90	dali	14600	146	365	-	130	-	4.8



MIR/S5

8150S59220GD

TEC-MAR®
LIGHTING

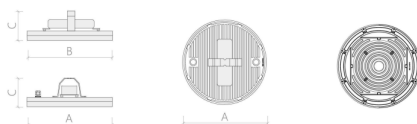


SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	S5
Colore	Silver
Installazione	Riflettore led industriale e commerciale a sospensione. Installabile a plafone, a sospensione ed a blindosbarra
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver, lente IP66 in policarbonato, guarnizione in silicone
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Lente in policarbonato 90° UGR<25 ad alto rendimento di flusso, antiabbagliamento e antiriflesso
Angolo	90°
UGR	minore di 25
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Protezione sovratensioni	10kv
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cablaggio esterno tramite connettore rapido IP66. - Sistema di fissaggio sospensione e blindosbarra incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

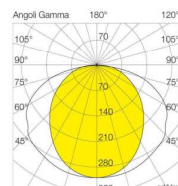
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
220	-	4000°K - CRI>90	dali	30552	139	365	-	130	-	4.8



EVA HP/LD

2101LD4947CS

TEC-MAR®
LIGHTING



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	LD
Colore	Grigio
Installazione	Apparecchio led stagno a plafone con installazione a soffitto, parete, canale a sospensione, blindosbarra e fila continua.
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Costruito in estrusione di polycarbonato autoestinguente V2, riflettore porta componenti in lamiera preverniciata di colore bianco, tappi di chiusura in polycarbonato con guarnizione siliconica
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Diffusore in polycarbonato opale satinato estruso. Riflettore diffondente 120° in acciaio preverniciato bianco
Angolo	120°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cablaggio rapido interno con pressacavo PG13,5. - Sistema di fissaggio a plafone o sospensione a clip incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

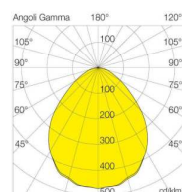
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
47	-	4000°K - CRI>90	casambi	6862	146	62	1435	62	-	1.5



QUADRA/QP

1804QP0332E3

TEC-MAR®
L I G H T I N G



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	QP
Colore	Bianco opaco
Installazione	Apparecchio led BACKLIGHT multinstallazione, installabile ad incasso in appoggio per controsoffitti in pannelli aventi struttura portante a vista 15/24 mm o a plafone mediante apposito accessorio
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Corpo costruito in lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliestere di colore bianco, antingiallente con finitura gofrata fine, pretrattamento di fosfatazione e sgrassaggio
Classe di isolamento	Classe II
Grado di protezione	IP 20/40
Protezione contro gli urti	IK06
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Diffusore policarbonato microprismatico antiabbagliamento e antiriflesso
Angolo	90°
UGR	<19
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Driver indipendente IP20 remotizzabile nel controsoffitto incluso
Indice decadimento flusso	L80-B50 > 100.000 h L90-B10 > 60.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

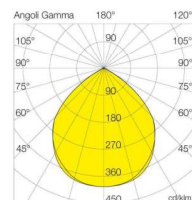
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
32	-	3000°K - CRI>80	em. 3h	3358	105	595	595	35	-	2.2



STELLA/24

6001242726E3

TEC-MAR®
LIGHTING

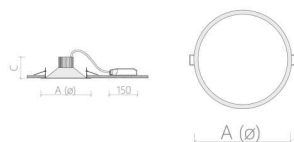


SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	24
Colore	Bianco opaco
Installazione	Faretto da incasso tondo per qualsiasi tipo di controsoffitto
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Anello costruito in lamiera d'acciaio, verniciato con polveri epossipoliestere di colore bianco antingiallente con finitura gofrata fine, con pretrattamento di fosfatazione e sgrassaggio
Classe di isolamento	Classe II
Grado di protezione	IP20 / IP44
Protezione contro gli urti	IK07
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Riflettore 90° in alluminio anodizzato, diffusore in policarbonato microprismatico antiabbagliamento ed antiriflesso
Angolo	90°
UGR	< 19
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Driver 220-240VAC 50/60 Hz incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

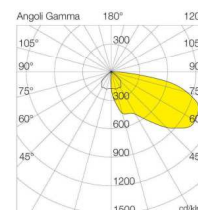
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
26	-	2700°K - CRI>80	em. 3h	2912	112	240	-	60	-	0.8



POLAR 3/RR

7028RRS150GA

TEC-MAR®
LIGHTING



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	RR
Colore	Silver
Installazione	Proiettore led per interni ed esterni, con montaggio da terra, a parete, a palo ed a soffitto
Ambiente di utilizzo	Interni, Esterni
Materiali	Corpo in alluminio pressofuso verniciato con polvere termoindurente poliestere anticorrosione colore silver, vetro temperato trasparente spessore 4 mm, guarnizione in silicone
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Riflettore asimmetrico 65° in alluminio satinato
Angolo	65°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Protezione sovratensioni	10kv
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cavo in neoprene H07RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm. - Pressacavo con valvola anticondensa integrata.
Spinta del vento	0,126 m2
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

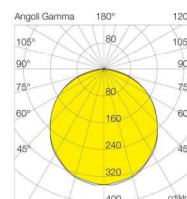
CARATTERISTICHE PRODOTTO

W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
150	-	4000°K - CRI>70	vetro acidato	23514	157	295	55	425	-	5.6

ZOE RS/G3

7013G32724EL

TEC-MAR®
LIGHTING

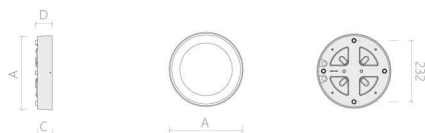


SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	G3
Colore	Grigio opaco
Installazione	Apparecchio led per esterni ed interni con installazione a plafone o parete
Ambiente di utilizzo	Interni, Esterni
Materiali	Corpo in policarbonato autoestinguente colore grigio opaco, guarnizione siliconica con chiusura rapida
Classe di isolamento	Classe II
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK09
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Diffusore diffondente in policarbonato opale satinato 120° antiabbagliamento ad alto rendimento di flusso. Corpo in policarbonato colore grigio opaco
Angolo	120°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Alimentazione diretta AC. - Sensore radar integrato.
Indice decadimento flusso	L80-B50 > 100.000 h L90-B10 > 60.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

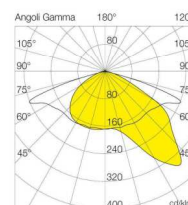
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
24	-	2700°K - CRI>80	on/off	2088	87	280	-	55	62	0.9



STILO/AM

7024AM2715B3

TEC-MAR®
LIGHTING



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	AM
Colore	Bianco opaco
Installazione	Apparecchio led da esterno per installazione a terra
Ambiente di utilizzo	Esterni
Materiali	Corpo in alluminio pressofuso con struttura in alluminio estruso, verniciato con polveri epossidiche, colore bianco opaco
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Lente asimmetrica 45° in PMMA ad alto rendimento di flusso. Illuminazione monoemissione su singolo lato. Diffusore in vetro extra-chiaro
Angolo	45°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	<ul style="list-style-type: none">- Cavo in neoprene H05RN-F 3x1mm² già cablato lunghezza 1000 mm.- Valvola osmotica anticondensa integrata.- Alimentazione diretta AC con dimmerazione a taglio di fase.
Indice decadimento flusso	<ul style="list-style-type: none">L80-B50 > 75.000 hL80-B20 > 50.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

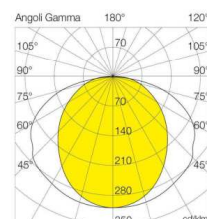
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
15	-	2700°K - CRI>80	1500 mm	1652	110	95	165	1500	-	3.7



LEA/LD

2110LD4933FC

TEC-MAR
LIGHTING



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	LD
Colore	Grigio
Installazione	Apparecchio led stagno a plafone con installazione a soffitto, parete, canale a sospensione.
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Costruito in estrusione di policarbonato autoestinguente V2, riflettore porta componenti in lamiera preverniciata di colore bianco, tappi di chiusura in policarbonato con guarnizione siliconica
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Diffusore in policarbonato opale satinato estruso. Riflettore diffondente 120° in acciaio preverniciato bianco
Angolo	120°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cablaggio rapido interno con pressacavo PG13,5. - Sistema di fissaggio a plafone o sospensione a clip incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 60.000 h L80-B50 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

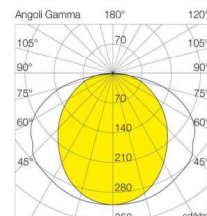
W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
33	-	4000°K - CRI>90	fila continua	4412	134	42	1155	55	-	1.2



LEA/LD

2110LD4954FC

TEC-MAR
LIGHTING



SPECIFICHE PRODOTTO

Modello	LD
Colore	Grigio
Installazione	Apparecchio led stagno a plafone con installazione a soffitto, parete, canale a sospensione.
Ambiente di utilizzo	Interni
Materiali	Costruito in estrusione di policarbonato autoestinguente V2, riflettore porta componenti in lamiera preverniciata di colore bianco, tappi di chiusura in policarbonato con guarnizione siliconica
Classe di isolamento	Classe I
Grado di protezione	IP66
Protezione contro gli urti	IK08
Ta ambiente	-25 / 45 °C
Ottica	Diffusore in policarbonato opale satinato estruso. Riflettore diffondente 120° in acciaio preverniciato bianco
Angolo	120°
Tensione nominale	220-240Vac
Frequenza	50/60Hz
Moduli led	Rimovibili (Classe: D)
Dotazione di serie	- Cablaggio rapido interno con pressacavo PG13,5. - Sistema di fissaggio a plafone o sospensione a clip incluso.
Indice decadimento flusso	L90-B10 > 60.000 h L80-B50 > 100.000 h
Cablaggio	Rimovibile
Step Mac Adams	3 step
Rischio fotobiologico	Gruppo rischio esente
Marchi e certificazioni	CE / UNI EN 60598-1
Garanzia	7 anni

CARATTERISTICHE PRODOTTO

W tot.	mA	°K - CRI	Options	Lumen OUTPUT	Lm/W	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
54	-	4000°K - CRI>90	fila continua	6286	116	42	1435	55	-	1.4



Conclusioni

Si specifica che all'interno delle zone oggetto di intervento, esistono, a causa di limiti inerenti gli impianti esistenti, zone in cui i valori di uniformità non sono ottimali. Come indicato in fase di rilievo, alcuni vizi possono essere eliminati unicamente mediante riprogettazione completa del piano luce, con spostamento, adattamento ed ottimizzazione dei blindo luce facenti parte dell'impianto ma esclusi da tale incarico. Durante le fasi di installazione non è stato modificato in alcun modo alcun quadro elettrico, apparato o parte di impianto elettrico esistente. Non è infine oggetto di tale incarico il rifacimento, adattamento o modifica della quota "illuminazione di emergenza", non considerata in rilievo.

Asti, Maggio 2024

Il Tecnico

Crudo Per. Ind. Luca

