



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

**RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELLA RETE DI
ILLUMINAZIONE PUBBLICA**

Valutazioni Sperimentali su un Caso Reale

Relatore: Prof. Arturo Lorenzoni

Laureando: Matteo Tonon

Anno Accademico 2014/2015

Indice

<i>Abstract</i>	1
Introduzione	3
Capitolo 1 Fondamenti di illuminotecnica e fotometria	7
1.1 La luce e il fenomeno della visione.....	7
1.1.1 Lo spettro del visibile.....	7
1.1.2 Il percorso della luce.....	9
1.2 Grandezze fotometriche e leggi fondamentali	12
1.2.1 Il flusso luminoso	12
1.2.2 L'intensità luminosa.....	12
1.2.3 L'illuminamento	14
1.2.4 La luminanza.....	18
1.3 La prestazione visiva.....	20
1.4 L'abbagliamento.....	25
1.5 Caratteristiche delle sorgenti luminose.....	29
1.5.1 L'efficienza luminosa	29
1.5.2 La resa dei colori.....	30
1.5.3 La temperatura di colore.....	32
1.5.4 La vita media.....	34
Capitolo 2 Apparecchiature utilizzate nella pubblica illuminazione	36
2.1 Sorgenti luminose impiegate in ambito stradale.....	36
2.1.1 Le lampade a incandescenza	37
2.1.2 Le lampade fluorescenti tubolari	40
2.1.3 Le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione	42
2.1.4 Le lampade a vapori di sodio a bassa pressione	44
2.1.5 Le lampade a vapori di sodio ad alta pressione.....	45
2.1.6 Le lampade a vapori di alogenuri metallici.....	46
2.1.7 Le lampade a induzione elettromagnetica.....	47
2.1.8 Le lampade a LED (Light Emitting Diodes).....	49
2.2 Apparecchi di illuminazione	53
2.3 Sistemi di comando	56
2.4 Stabilizzazione della tensione e regolazione del flusso luminoso	58
Capitolo 3 Riquilibratura della rete di illuminazione pubblica di Breda di Piave	61
3.1 Introduzione	61

3.2 Stato di fatto della rete di illuminazione pubblica comunale.....	64
3.3 La proposta tecnica: una visione d'insieme.....	70
3.4 Lo stato di fatto dello stralcio di progetto.....	72
3.5 Le linee guida dell'intervento	80
3.5.1 La sostituzione delle lampade al mercurio e le direttive europee.....	80
3.5.2 Il sistema di regolazione da remoto e la comunicazione PLC	83
3.5.2.1 La Control Box e l'alimentatore elettronico "HID Flat"	88
3.5.2.2 La Collecting Unit	93
3.5.2.3 Il software CB Manager	97
3.5.3 Le opere di razionalizzazione	98
3.6 Calcoli illuminotecnici	101
3.6.1 La norma UNI 11248	102
3.6.2 La norma UNI EN 13201-2	110
3.6.3 Introduzione al software di calcolo DIALux.....	112
3.6.4 La classificazione delle pavimentazioni	116
3.6.5 Casi di studio.....	123
3.6.5.1 Il caso di via Formentano	124
3.6.5.2 Il caso di via don Milani.....	130
3.6.5.3 Il caso di via Roma	135
3.6.6 Profili di regolazione del flusso luminoso	145
3.6.6.1 Possibili profili per i punti luce gestiti da remoto.....	145
3.6.6.2 Profilo di regolazione per applicazioni "stand alone"	147
3.6.6.3 Il caso di via del lavoro	149
3.7 Lo stato di progetto dello stralcio di intervento	152
3.7.1 La configurazione di progetto.....	152
3.7.2 Il programma preliminare dei lavori	156
3.7.3 Significatività rispetto ai siti "Natura 2000"	157
Capitolo 4 Calcolo dei risparmi e analisi economica.....	161
4.1 Calcolo dei risparmi	161
4.1.1 Sostituzione delle lampade a vapori di mercurio.....	162
4.1.2 Sostituzione degli alimentatori ferromagnetici.....	163
4.1.3 Regolazione della potenza per applicazioni "stand alone"	164
4.1.4 Regolazione della potenza per lampade gestite da remoto	165
4.2 Analisi economica	169
4.2.1 Quadro economico di progetto	169

4.2.2 Caso di studio 1: investimento sostenuto dal Comune e dalla ESCo.....	172
4.2.3 Caso di studio 2: finanziamento tramite istituto di credito.....	175
4.2.4 Confronto tra le due soluzioni	179
Capitolo 5 Analisi sperimentali	181
5.1 Misura dei consumi energetici e analisi di linea	181
5.1.1 Introduzione	181
5.1.2 Strumentazione	186
5.1.2.1 Alimentatori elettronici della serie “HID Flat”	186
5.1.2.2 Collecting Unit.....	187
5.1.2.3 Analizzatore di rete SMART Più.....	188
5.1.3 Metodo di misura	194
5.1.4 Raccolta ed elaborazione dati.....	195
5.1.5 Analisi dei dati e discussione	199
5.2 Misure di illuminamento al variare della potenza assorbita	204
5.2.1 Introduzione	204
5.2.2 Strumentazione	205
5.2.3 Metodo di misura	207
5.2.4 Analisi dei dati e discussione	208
Conclusioni	213
APPENDICE A Analisi della bolletta.....	217
APPENDICE B Stato di fatto dello stralcio di progetto	218
APPENDICE C Calcoli illuminotecnici.....	220
APPENDICE D Legislazione e normativa	269
Bibliografia	271
Sitografia.....	273
Ringraziamenti	275

Abstract

The street lighting system represents a significant cost item in the financial statement of Italian municipalities; the presence of inefficient light sources, of energy-intensive control gears and of obsolete power reducers imposes an urgent review of the public lighting network and its adjustment to the new technologies developed over the recent years.

The ability of reducing the luminous flux emitted, and consequently the power absorbed, by the light sources in the hours of the night in which traffic is lower than the maximum capacity of the street, represents the first important means to reduce energy consumption.

The project described in this work offers a possible solution of modernization and requalification which can be extended to any public lighting network; the system taken into account, called "I-Illumination" and developed by ABB Power-One, is based on the Power Line Communication between a central device, placed at the level of the electrical panel, and a peripheral electronic device, installed at the light source level, which can be remotely controlled in order to switch on and off lamps and to reduce their luminous flux when possible. This control system, together with the replacement of energy-intensive mercury lamps with efficient and long-lasting new LED sources, provides significant energy and cost savings.

Within the project, the compliance of planning choices to existing standards has been entrusted to specific lighting calculations, made with the software DIALux, regarding possible luminous-flux reduction profiles; the associated achievable energy savings was then calculated and verified by some experimental tests made with "I-Illumination" system components.

Introduzione

L'essere umano ha avuto per la prima volta cognizione di ciò che noi oggi universalmente riconosciamo con il termine di “illuminazione artificiale” con la scoperta del fuoco. Inizialmente, gli sforzi profusi dai nostri antenati per riprodurre e replicare il fenomeno della fiamma assolvevano sostanzialmente alle necessità di riscaldamento, di protezione contro gli animali e di preparazione del cibo; solo in seguito al rinvenimento di rami di alberi resinosi prima e allo sfruttamento di grassi animali e di oli vegetali poi, in grado di bruciare senza lo sviluppo di fumo eccessivo e in maniera uniforme e duratura, il fuoco ha cominciato a essere concepito anche come vera e propria sorgente di luce.

Partendo dal primo artefatto conosciuto, risalente a circa 400.000 anni fa, costituito da pietre, conchiglie e corni riempiti con oli e grassi, passando per l'invenzione delle candele, realizzate dai Romani a partire da dopo la nascita di Cristo, fino ad arrivare alle più recenti lampade a gas, introdotte nel corso del XVIII secolo, i sistemi di illuminazione artificiale hanno subito uno sviluppo tecnologico piuttosto limitato.

Sintomatica di tale lentezza risulta la consuetudine, ancora in voga sino alla seconda metà del XVII secolo, di adibire all'illuminazione stradale sistemi “primitivi” come torce, realizzate con bastoni ricoperti da fibre vegetali immerse in resina o grasso, le quali venivano utilizzate dai servi per illuminare la via davanti alle carrozze dei padroni oppure trovavano impiego nel contesto di festività all'aperto. Solo in un secondo momento si cominciò a pensare a un'illuminazione esterna fissa, con lanterne a olio o lampade a gas che, seppur in misura assai più limitata rispetto ai giorni nostri, consentivano la visione notturna nei vari centri cittadini (Di Fraia).

Infine, lo sviluppo di sistemi di illuminazione più moderni subì una forte accelerazione a partire dalla fine del XIX secolo, quanto Thomas Alva Edison presentò il primo prototipo della lampadina elettrica e gettò le basi per l'implementazione e il progressivo ampliamento della rete di distribuzione dell'energia elettrica a cui oggi quotidianamente attingiamo.

In tempi recenti, la necessità di associare a un'illuminazione efficace, in grado di svolgere al meglio il compito a essa affidato, un'illuminazione sempre più efficiente, e quindi in grado di riprodurre lo stesso effetto desiderato ma con un minor consumo di energia, ha fornito un ulteriore impulso alla creatività e all'ingegno dell'uomo, che lo hanno portato a sviluppare non solo nuovi apparecchi di illuminazione ad alta efficienza e di lunga durata quali le lampade a LED, ma anche sistemi per la regolazione della potenza capaci di ridurre gli assorbimenti delle sorgenti a scarica attualmente diffuse in maniera capillare su tutto il territorio nazionale.

Il lavoro progettuale a cui la presente trattazione afferisce si colloca contestualmente alla “corsa all'efficienza energetica” che si sta registrando in questi ultimi anni e, in particolare, alla pubblicazione del bando indetto dalla Regione Veneto con la Dgr n.

1421 del 5 agosto 2014, avente come oggetto *“Efficientamento energetico delle reti di illuminazione pubblica, da conseguire anche con la sostituzione dei corpi illuminanti e delle relative lampade con apparecchiature ad elevate prestazioni e con l'utilizzo di tecnologie di telecontrollo, telegestione ed automazione”*.

Tale bando persegue gli indirizzi del Piano Energetico Nazionale inerente le fonti rinnovabili, il risparmio energetico e l'efficienza energetica e trae fondamento dall'obiettivo assegnato alla Regione Veneto dal Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 15 marzo 2012, volto al raggiungimento di una quota complessiva di consumi finali regionali di energia da fonti rinnovabili pari al 10,3% sul consumo finale lordo regionale di energia al 2020; al raggiungimento di tale obiettivo concorrono sia interventi mirati allo sviluppo delle fonti rinnovabili stesse, sia progetti volti alla riduzione dei consumi energetici attraverso interventi diffusi di incremento dell'efficienza.

Questo lavoro di tesi nasce appunto come risultato dell'elaborazione di un'attività progettuale di riqualificazione energetica realizzata nel corso di uno stage effettuato presso l'azienda Eurogroup S.p.A. di Treviso, realtà insita nel territorio veneto sin dal 1966 e nata dapprima come società specializzata nella realizzazione di impianti elettrici in generale e successivamente ampliata fino ad abbracciare anche i settori relativi alle energie rinnovabili, alle telecomunicazioni, alle reti dati, agli impianti termotecnici, all'automazione e alla domotica. Recentemente l'azienda ha ottenuto anche la certificazione secondo la norma UNI CEI 11352:2014 e svolge attualmente l'attività di ESCo, proponendosi come partner ideale per la fornitura di qualsiasi tipo di servizio energetico a favore di privati, industrie e pubbliche amministrazioni.

In particolare, l'attività progettuale confluita nella presente trattazione consiste in una proposta di riqualificazione energetica della rete di illuminazione pubblica del comune trevigiano di Breda di Piave, realizzata a favore dell'Amministrazione del medesimo comune allo scopo di accedere a una quota del finanziamento stanziato dalla Regione tramite il sopra citato bando.

Prendendo spunto dal progetto preliminare realizzato, la presente trattazione ne amplia e ne completa i contenuti, non solo dando indicazione delle scelte progettuali effettuate e dei risultati energetici ed economici conseguibili, ma anche assegnando la dovuta rilevanza agli aspetti teorici che stanno alla base di una qualsiasi attività progettuale di carattere illuminotecnico e agli aspetti di aderenza alle norme di settore, intendendo dunque fornire un contributo il più esaustivo possibile in merito al particolare intervento di riqualificazione proposto.

La trattazione si compone di cinque capitoli, i primi due di natura bibliografica e i rimanenti di taglio sperimentale. Il *Capitolo 1* rappresenta la base di partenza teorica necessaria per la comprensione di quanto sviluppato nel seguito; oltre a soffermarsi sul fenomeno della visione e sugli aspetti relativi all'abbagliamento, esso presenta infatti le principali grandezze fotometriche normalmente considerate in ambito illuminotecnico e i principali parametri utili a classificare le sorgenti luminose e a indirizzare la scelta tra le varie tecnologie disponibili.

Il *Capitolo 2* è strettamente legato al precedente e ne costituisce la continuazione in quanto presenta le varie tipologie di lampade storicamente utilizzate nella pubblica illuminazione, descrivendone il principio di funzionamento e le caratteristiche peculiari, esaltandone gli aspetti positivi e sottolineandone le lacune. Oltre a ciò, in tale capitolo sono brevemente descritte le apparecchiature ausiliarie di cui le sorgenti luminose necessitano, dai circuiti di accensione alle armature di protezione e di distribuzione del flusso luminoso, e viene fornita indicazione in merito ai principali sistemi di comando dei punti luce normalmente impiegati e ai sistemi di stabilizzazione e di riduzione della tensione di alimentazione centralizzati da tempo esistenti nel mercato.

Il *Capitolo 3* apre la sezione sperimentale del lavoro di tesi, introducendo lo stato di fatto della rete di illuminazione pubblica del comune di Breda di Piave, fornendo un quadro dettagliato sul numero e sulla tipologia di punti luce esistenti, sugli apparecchi per la regolazione della potenza assorbita già presenti e sulle linee guida che hanno indirizzato le scelte progettuali effettuate e che hanno condotto alla configurazione di progetto presentata nel medesimo capitolo. All'interno dello stesso, viene inoltre descritto il sistema di telecontrollo "I-Illumination", sviluppato da ABB-Power One e basato sulla comunicazione a onde convogliate che consente di gestire da remoto l'accensione, lo spegnimento e la regolazione dei punti luce, sul quale il progetto volto alla riduzione dei consumi di energia elettrica comunale trae fondamento.

Infine, un'ampia sezione del capitolo è dedicata alla presentazione dei calcoli illuminotecnici realizzati con il software DIALux al fine di valutare, per i diversi casi di studio selezionati, la potenza delle lampade di nuova acquisizione da installare e la possibilità di riduzione del flusso luminoso attraverso i dispositivi elettronici facenti parte del sistema di telecontrollo sopra citato, secondo quanto stabilito dalle norme di settore.

Il *Capitolo 4* propone invece, per la configurazione di progetto individuata, una valutazione inerente il risparmio energetico conseguibile attraverso l'intervento e una valutazione di carattere economico volta a evidenziare, tramite i parametri decisionali del "pay back time", del tasso interno di redditività, del valore attuale netto e dell'indice di profitto, la bontà della soluzione implementata sia dal punto di vista dell'Amministrazione Comunale, sia dal punto di vista della ESCo chiamata alla realizzazione dell'intervento, analizzando anche il caso in cui parte del capitale iniziale venga fornito sotto forma di finanziamento da parte di un istituto di credito.

Nel *Capitolo 5* viene dato spazio ai risultati derivanti da alcune prove sperimentali effettuate su cinque punti luce con sorgenti "a scarica" presenti nel parcheggio dell'azienda Eurogroup S.p.A. al fine di testare il funzionamento del sistema per il telecontrollo della rete di illuminazione sopra menzionato. In particolare, nella prima prova sono stati analizzati i principali parametri di rete misurati durante il funzionamento dei punti luce comandati da remoto, sia a potenza nominale che a potenza ridotta, e gli effettivi consumi dovuti agli stessi; nella seconda è stato invece

effettuato un “lux test” su un singolo punto luce, allo scopo di evidenziare cosa comporta la regolazione del flusso luminoso emesso, secondo step impostati dal centro di gestione, in termini di riduzione dell'illuminamento misurato a terra e di riduzione della potenza assorbita dalla lampada.

Infine, a conclusione del lavoro, sono riportate quattro diverse appendici: la prima presenta i dati desunti da una bolletta elettrica rappresentativa dello storico dei consumi attribuibili al sistema di illuminazione pubblica di Breda di Piave; la seconda presenta l'elenco delle vie del comune e dei relativi punti luce considerati all'interno del progetto di riqualificazione; la terza riporta per esteso i risultati forniti dal software DIALux inerenti i calcoli illuminotecnici sopra citati; infine, l'*Appendice D* riassume le principali disposizioni attualmente in vigore in ambito illuminotecnico menzionate nel corso della trattazione.

Capitolo 1

Fondamenti di illuminotecnica e fotometria

1.1 La luce e il fenomeno della visione

1.1.1 Lo spettro del visibile

In una disquisizione per certi versi “kantiana” sul fenomeno della visione, la duplice natura ondulatoria e corpuscolare universalmente riconosciuta alla luce acquisisce dei connotati univoci fondati sulla prima accezione.

Il termine “luce” qui considerato fa riferimento infatti alla “luce percepita”, intesa come attributo fondamentale in grado di infondere al nostro apparato sensoriale una percezione visiva di ciò che ci circonda; essa, in altre parole, è energia che, emessa da una sorgente, si propaga nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche e penetra nel nostro bulbo oculare, dove subisce un gioco di rifrazioni andando ad “impressionare” la retina, organo responsabile della codificazione del segnale luminoso in un segnale elettrico interpretabile dal cervello.

In particolare, la luce costituisce una frazione, definita appunto “visibile”, dell'intero spettro associato a una qualsiasi radiazione elettromagnetica (*fig. 1*) e si propaga nel vuoto per lunghezze d'onda (λ) comprese tra 380 e 780 nm, a una velocità di 2,999792458 m/s.

L'occhio umano ha percezione solamente delle radiazioni che si manifestano all'interno di detto range di lunghezze d'onda, agendo come un filtro che taglia sia i fenomeni ad alta frequenza, quali le onde ultraviolette ($0,6 \text{ nm} \leq \lambda \leq 380 \text{ nm}$), i raggi X ($6 \cdot 10^{-3} \text{ nm} \leq \lambda \leq 0,6 \text{ nm}$) e i raggi γ ($\lambda \leq 0,1 \text{ nm}$), sia quelli a bassa frequenza, quali le onde infrarosse ($780 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1 \text{ mm}$), le microonde ($1 \text{ mm} \leq \lambda \leq 0,3 \text{ m}$) e le onde hertziane ($0,3 \text{ m} \leq \lambda \leq 3 \cdot 10^6 \text{ m}$), comprensive delle onde utilizzate nelle trasmissioni radiofoniche e televisive (Mazzoldi et al.; 2007).

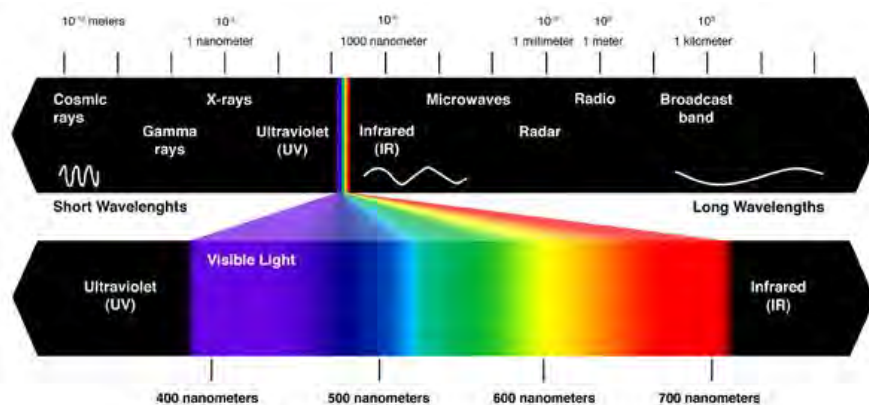


Figura 1 - Spettro del visibile (fonte: Tramontana, 2013).

L'effetto che la luce esercita nell'organo senziante assume svariate sfaccettature; richiamando un passo del "De Anima" aristotelico "C'è dunque da un lato un intelletto che è tale in quanto diviene tutte le cose, dall'altro uno che [è tale in quanto] le produce tutte, al modo di una condizione quale è (ad esempio) la luce: poiché, in un certo modo, anche la luce fa sì che i colori che sono in potenza funzionino effettivamente come colori." (Sassi).

Nel distinguere tra intelletto attivo e passivo, la similitudine che propone Aristotele tra il primo e la luce dà ragione del fatto che il manifestarsi degli oggetti così come li vediamo è reso possibile dalla luce stessa, la quale "attiva", investendolo, l'organo sensoriale passivo preposto alla visione. I colori che percepiamo sono poi espressione della proprietà che hanno i corpi di assorbire e riflettere in maniera differente la radiazione visibile; quest'ultima, infatti, assume tonalità differenti a seconda della lunghezza d'onda (tab. 1): ecco che un oggetto che ha la proprietà di assorbire la luce in tutte le sue lunghezze d'onda tranne quelle comprese nell'intervallo 780-622 nm, che vengono da esso riflesse, è da noi percepito come rosso; viceversa, un corpo che riflette solamente radiazione con lunghezze d'onda tra 455 e 380 nm assume aspetto violetto. La tabella sotto riportata mette in relazione, per ogni intervallo di lunghezze d'onda all'interno della banda del visibile, il colore da noi percepito.

Tabella 1 – Colori della luce visibile (fonte: Mazzoldi et al.; 2007).

λ [nm]	Colore
780 - 622	rosso
622 - 597	arancione
597 - 577	giallo
577 - 492	verde
492 - 455	azzurro
455 - 380	violetto

Nei confronti di ciascuna di esse la risposta in termini di sensibilità dell'occhio umano è differente a parità di energia radiante incidente sulla retina; in particolare, la sensibilità di detto rivelatore fotometrico, seppur dipendente anche dalle peculiarità dell'osservatore specifico, varia da zero, per lunghezze d'onda eccedenti i valori estremi caratterizzanti lo spettro del visibile, fino a un massimo che si ha in corrispondenza a una lunghezza d'onda pari a circa 555 in condizioni di visione fotopica (diurna) e pari a circa 507 nm in condizioni di visione scotopica (notturna).

Allo scopo di epurare l'analisi della prestazione visiva di qualsivoglia contributo dovuto alla soggettività e di identificare degli osservatori di riferimento, la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ha realizzato le cosiddette curve unificate (fig. 2), le quali riportano l'andamento dei fattori spettrali di visibilità in visione

fotopica e scotopica, rispettivamente $V(\lambda)$ e $V'(\lambda)$, sulla base di un'elaborazione statistica effettuata su un elevato numero di individui.

In particolare, il fattore spettrale di visibilità di una radiazione monocromatica di lunghezza d'onda λ è esprimibile come il rapporto tra il flusso energetico, espresso in Watt, associato a una radiazione avente lunghezza d'onda per la quale l'occhio dell'osservatore standard ha sensibilità massima (λ_m), e il flusso energetico della radiazione stessa, quando le due radiazioni generano sensazioni luminose di pari intensità nelle condizioni fotometriche considerate; il valore di λ_m è stato scelto in maniera tale da rendere unitario il valore massimo del rapporto suddetto (Fellin et al.; 1999).

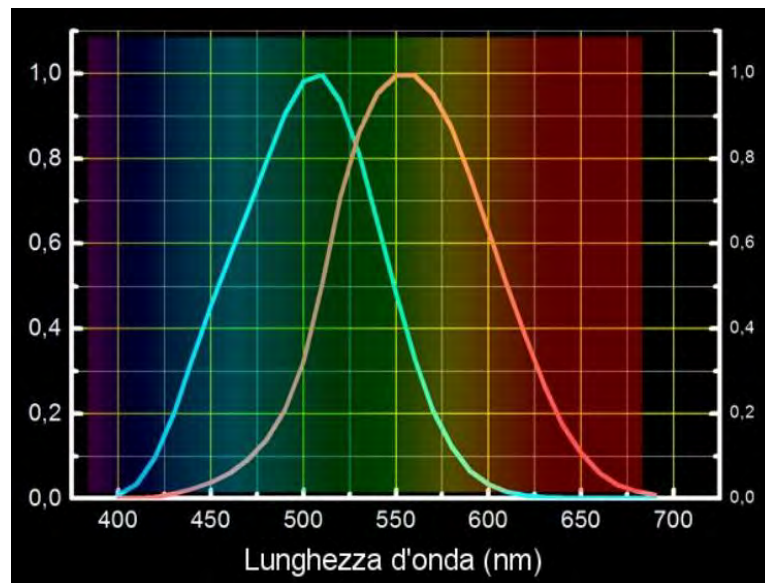


Figura 2 - Curve unificate CIE per la visione fotopica (in rosso) e scotopica (in azzurro) (fonte: Giani, 2010).

1.1.2 Il percorso della luce

Lo studio della luce nella sua natura ondulatoria dal punto di vista illuminotecnico rende accettabile l'approssimazione secondo la quale essa si propaghi nell'aria così come viaggia nel vuoto; infatti, poiché l'indice di rifrazione dell'aria rispetto al vuoto assume un valore molto prossimo all'unità, è possibile considerare che la luce stessa si propaghi in maniera assimilabile nei due mezzi (Fellin et al.; 1999); il presente paragrafo propone una descrizione del meccanismo attraverso il quale la luce, generata da una qualsiasi sorgente luminosa e trasmessa nell'aria, viene assorbita dall'organo visivo e trasformata in segnali decodificabili dal cervello.

Il primo approccio che la luce ha con il nostro apparato visivo avviene attraverso l'occhio, l'organo di forma sferoidale, di diametro longitudinale e trasversale rispettivamente pari a circa 26 e 22 millimetri, che volge verso l'ambiente esterno. Esso, come mostrato in *figura 3*, è avvolto dalla sclera, la quale è caratterizzata da due

porzioni: una più interna, chiamata coroide, ricca di vasi sanguigni e una trasparente rivolta verso l'esterno, che prende il nome di cornea e presenta una curvatura più accentuata. Una volta attraversata quest'ultima, la luce si rifrange sull'umor acqueo, una sostanza gelatinosa avente, al pari della cornea, un indice di rifrazione prossimo a quello dell'acqua (1,33), e investe l'iride, un disco membranoso con al centro la pupilla, la cui estensione si modifica a seconda dell'intensità della radiazione luminosa stessa; tale regolazione, responsabile del processo di accomodamento dell'occhio necessario per la messa a fuoco degli oggetti, è resa possibile dal muscolo (o corpo) ciliare, la cui azione consiste nell'imprimere movimenti di dilatazione e contrazione alle fibre muscolari lisce, radiali e circolari dell'iride, agendo sul bordo circolare del cristallino a cui è collegato.

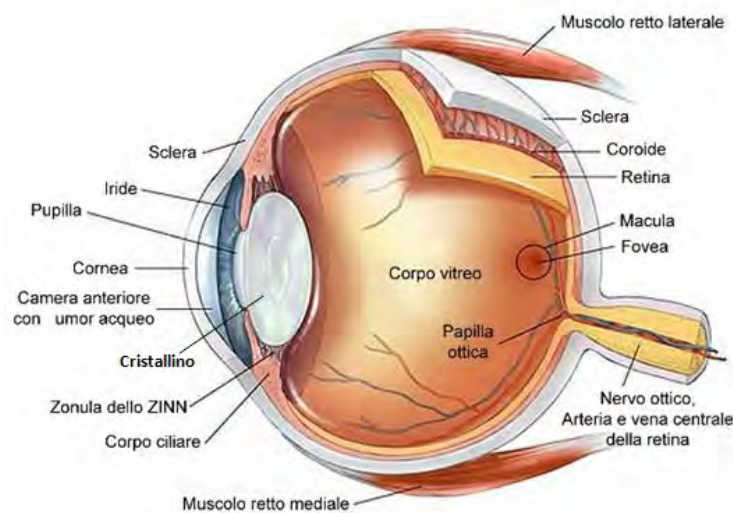


Figura 3 - L'occhio umano (Fonte: Del Bo, 2014).

Quest'ultimo è caratterizzato da un indice di rifrazione crescente da 1,4 a 1,45 passando dalla zona anteriore a quella posteriore, al contrario del corpo (o umor) vitreo su cui esso poggia, che presenta un indice costante pari a 1,33.

La cornea, l'umor acqueo, il cristallino e l'umor vitreo costituiscono un sistema diottrico centrato grazie al quale la luce da esso rifratta viene raccolta dalle terminazioni nervose fotorecetrici della retina, che si estende sopra la coroide con uno spessore di circa 2 millimetri, generando immagini capovolte sul fondo ricurvo del bulbo oculare; al centro della retina è inoltre presente la macchia gialla, la quale contiene la fovea, ovvero la zona in cui si ha il massimo potere risolutivo dell'immagine proiettata.

La trasmissione dei segnali luminosi da parte della retina verso il cervello, tramite il cosiddetto processo di fotoisomerizzazione, è resa possibile grazie ai fotorecettori sopra citati, che prendono il nome di coni e di bastoncelli (*fig. 4*): i primi contengono nei loro articoli esterni un pigmento visivo chiamato rodopsina, hanno densità massima nella fovea e sono responsabili della visione fotopica, mentre i secondi hanno

degli articoli esterni più lunghi contenenti jodopsina e sono responsabili della visione scotopica.

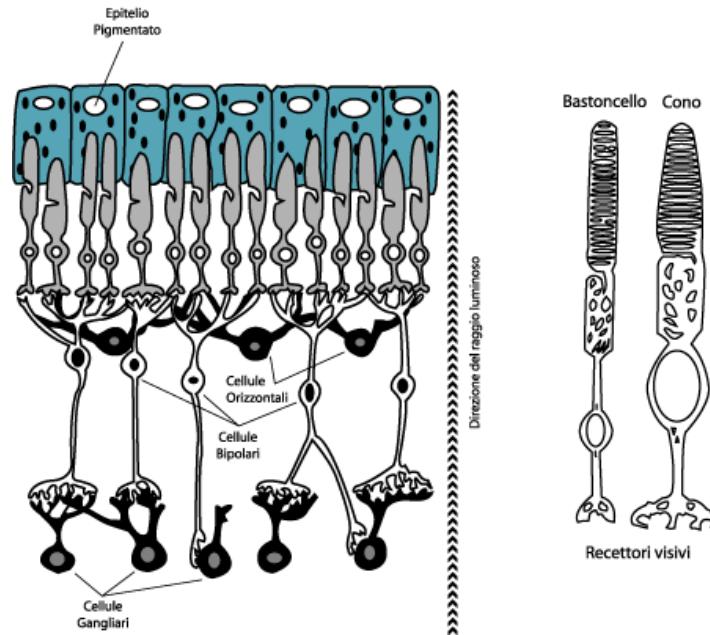


Figura 4 - Schematizzazione della rete dei recettori visivi (Fonte: www.ilcamicebianco.com, 2014).

In particolare, i coni hanno un maggiore potere recettivo dovuto alla piccolissima dimensione dell'estremità sensibile alla luce (hanno un diametro medio di $2 \mu\text{m}$) e al collegamento di ciascuno di essi con una singola fibra nervosa; i bastoncelli invece sono responsabili del fenomeno dell'adattamento, ovvero della percezione di segnali molto deboli dopo un certo lasso di tempo trascorso al buio. Entrambi comunque non sono soltanto dei fotorecettori ma offrono già una localizzazione spaziale e un primo trattamento dell'informazione captata.

Altri due gruppi di cellule fondamentali per la trasduzione dell'energia luminosa in impulsi elettrici sono le cellule gangliari e le cellule orizzontali: le prime comunicano da un lato con i coni e i bastoncelli per mezzo delle cellule bipolari, dall'altro con le strutture nervose superiori tramite i loro assoni, posizionati sulla parte esterna della retina e privi di guaina mielinica che acquisiscono man mano che vanno a costituire in nervo ottico; le seconde invece sono degli interneuroni associativi responsabili del potenziamento del circuito di trasmissione.

Il flusso nervoso si propaga infine attraverso il nervo ottico, la cui guaina mielinica garantisce un'elevata resistenza atta ad accelerarne il passaggio verso la corteccia visiva e le altre aree deputate alla memoria e all'apprendimento, riducendone la dispersione (Fellin et al.; 1999).

Prima di procedere con una trattazione più approfondita inerente l'atto della visione e le condizioni che ne influenzano le prestazioni è bene introdurre le grandezze fotometriche e le leggi fondamentali che descrivono l'interazione tra la luce e gli oggetti che essa investe.

1.2 Grandezze fotometriche e leggi fondamentali

1.2.1 Il flusso luminoso

La prima grandezza che costituisce il cardine attorno al quale gravitano tutte le altre da essa derivate è rappresentata dal *flusso luminoso*, indicato con la lettera Φ , misurato in *lumen* (lm) e a sua volta derivante dal flusso energetico pesato secondo l'azione che esso esercita sull'osservatore fotometrico di riferimento CIE; in altre parole, il flusso luminoso rappresenta l'energia, riferita alla sensibilità spettrale dell'occhio umano, irradiata nell'unità di tempo da una qualsiasi sorgente di luce. In particolare, per la visione fotopica esso è descritto dalla seguente relazione (Fellin et al., 1999):

$$\Phi = K_m \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda \quad (1.1)$$

in cui

- K_m è il valore massimo del coefficiente di visibilità di una radiazione, definito come rapporto tra il flusso luminoso e il flusso energetico, e assume per definizione un valore pari a 683 lm/W in corrispondenza alla lunghezza d'onda di massima sensibilità dell'occhio umano in condizioni di visione fotopica (555 nm);
- Φ_e è il flusso energetico associato alla radiazione luminosa;
- $V(\lambda)$ è il fattore spettrale di visibilità in condizioni fotopiche.

A seconda che il flusso luminoso emesso da una sorgente sia calcolato entro un angolo solido di ampiezza unitaria oppure entro una superficie di area unitaria si parla di *intensità luminosa* o di *illuminamento*.

1.2.2 L'intensità luminosa

In generale una qualsiasi sorgente luminosa non irradia il proprio flusso in maniera uniforme in tutte le direzioni, ma lo fa con intensità diverse a seconda delle caratteristiche fotometriche per la quale essa è stata pensata. Tuttavia, se si immagina di circoscrivere una qualsiasi direzione di emissione, identificata da una semiretta che si estende nello spazio a partire dal centro della sorgente, con un cono che sottende un angolo solido unitario, si può affermare che il flusso luminoso contenuto al suo interno sia caratterizzato da una distribuzione pressoché uniforme (Philips).

Premesso ciò, è possibile definire l'intensità luminosa di una sorgente in una data direzione (*fig. 5*) come il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla stessa entro

l'elemento di angolo solido $d\Omega$ che si sviluppa attorno alla direzione data e l'elemento di angolo solido stesso misurato in steradiani, come espresso dalla seguente relazione (Fellin et al.; 1999):

$$I = d\Phi/d\Omega \quad (1.2)$$

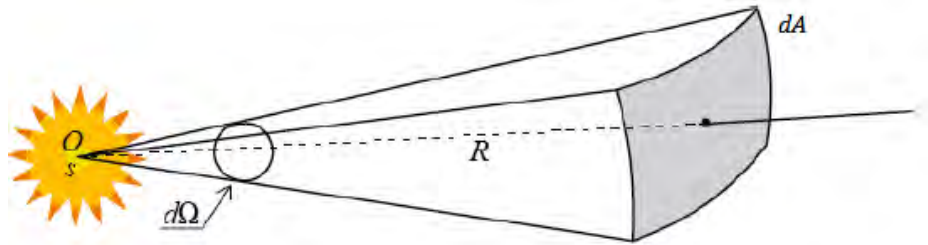


Figura 5 - Rappresentazione dell'intensità luminosa (fonte: Grattieri et al.; 2012).

L'unità di misura dell'intensità luminosa è la *candela* (lm/sr).

Rappresentando, per ciascuna direzione uscente dalla sorgente, l'intensità luminosa mediante un segmento avente lunghezza a essa proporzionale, si ottiene una superficie chiusa identificabile come il luogo degli estremi degli infiniti segmenti; il volume racchiuso da tale superficie prende il nome di *solido fotometrico* (fig. 6) ed è indicativo delle caratteristiche di emissione della particolare sorgente considerata.

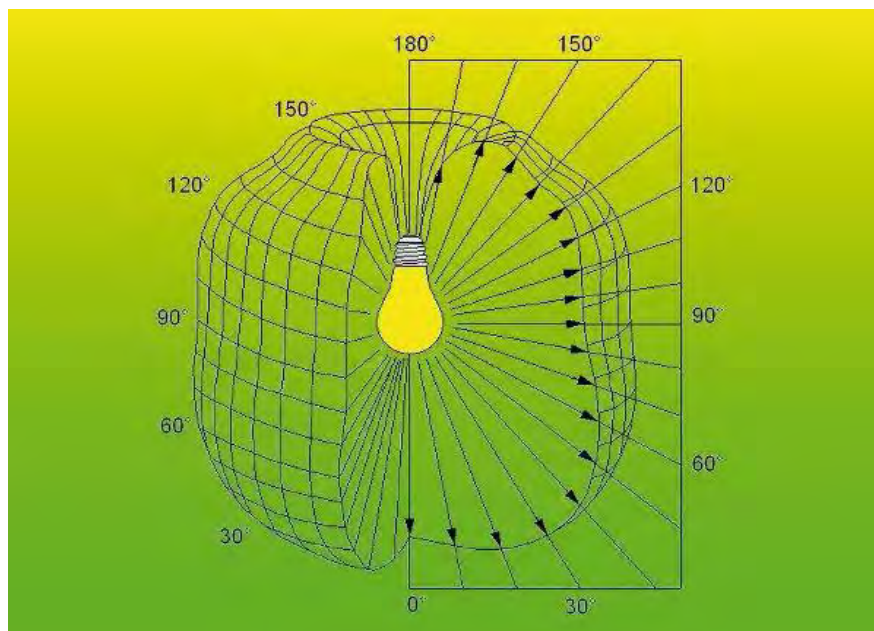


Figura 6 - Esempio di solido fotometrico associato a un apparecchio di illuminazione (fonte: www.ele.net.altervista.org, 2008).

1.2.3 L'illuminamento

Come già anticipato poc'anzi, si parla invece di illuminamento quando il flusso luminoso emesso dalla sorgente in questione investe un elemento di superficie avente area dA :

$$E = d\Phi/dA \quad (1.3)$$

L'unità di misura di tale grandezza è il *lux* (lm/m^2), che corrisponde all'illuminamento prodotto su una superficie perpendicolare ai raggi luminosi da una sorgente posta a un metro di distanza da essa e avente intensità luminosa pari a una candela (Grattieri et al.; 2012).

L'illuminamento è dunque un parametro che non dipende esclusivamente dalle proprietà della sorgente luminosa, bensì richiede un'accurata definizione di come quest'ultima è disposta spazialmente rispetto alla superficie illuminata, a ragion del modo con cui la luce si propaga nell'aria. Considerando infatti che ciascun punto costituente la sorgente è assimilabile a sua volta a una sorgente di onde sferiche con centro in quel punto e aventi area del fronte d'onda, sul quale l'energia irradiata si distribuisce in maniera uniforme, che aumenta proporzionalmente al quadrato della distanza dal centro (*fig. 7*), è possibile enunciare la *legge del quadrato delle distanze*, secondo cui:

l'energia che attraversa un elemento di area unitaria di un fronte d'onda sferico con centro in un punto luminoso varia in maniera inversamente proporzionale al quadrato della sua distanza r dal punto luminoso stesso (Fellin et al.; 1999).

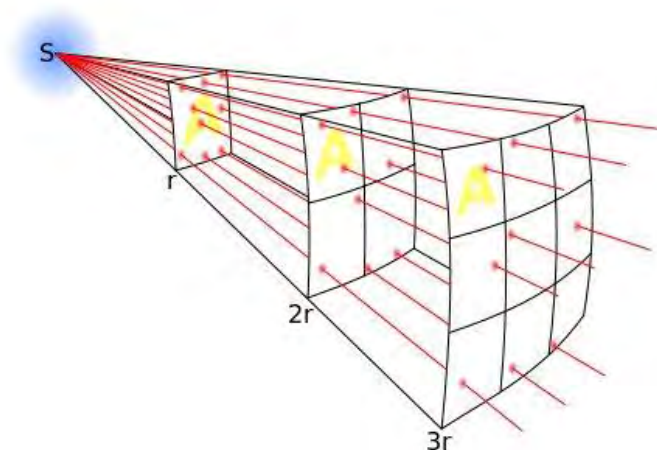


Figura 7 - Propagazione del fronte d'onda sferico secondo la legge del quadrato delle distanze (fonte: decapoa.altervista.org).

Inoltre, fermo restando che la direzione di propagazione dell'energia luminosa è sempre perpendicolare al fronte d'onda, una superficie comunque disposta riceve

un'energia che dipende dallo scostamento angolare tra la sua normale e la direzione di propagazione del fronte d'onda (*fig. 8*), come enunciato dalla *legge del coseno* di seguito proposta:

l'energia che investe un elemento di superficie è proporzionale al coseno dell'angolo ϑ compreso tra la normale all'elemento di superficie stesso e la direzione di propagazione dell'onda sferica (Fellin et al.; 1999).

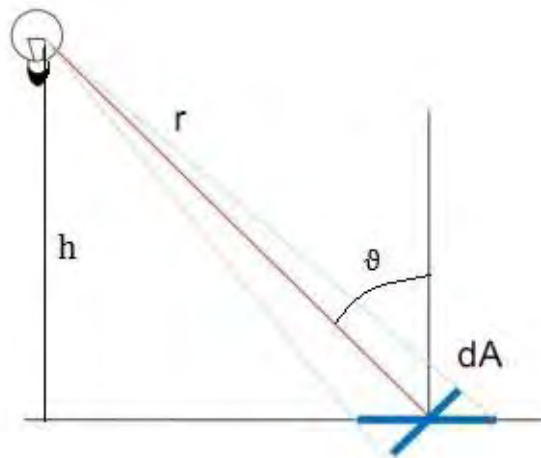


Figura 8 - Rappresentazione dell'entità dell'illuminamento per una superficie comunque disposta (fonte: arching.wordpress.com, 2009).

Da ciò si evince intuitivamente che l'illuminamento che interessa la superficie è massimo quando questa è disposta perpendicolarmente rispetto alla direzione di propagazione del fronte d'onda ($\vartheta = 0^\circ$) e diminuisce per valori di ϑ via via maggiori, fino ad annullarsi quando la direzione di propagazione risulta parallela alla superficie ($\vartheta = 90^\circ$), secondo la relazione:

$$E = E_n \cos\vartheta \quad (1.4)$$

dove E_n è il livello di illuminamento che investirebbe la superficie se questa fosse disposta ortogonalmente rispetto alla direzione di propagazione.

A seconda della posizione relativa della sorgente luminosa rispetto alla superficie illuminata, si possono distinguere diverse tipologie di illuminamento, ciascuna esprimibile tramite una specifica relazione.

Il caso a cui fa riferimento la *figura 8* sopra riportata è relativo all'*illuminamento orizzontale*, il quale, considerando le equazioni (1.2) e (1.3) e definendo l'elemento di angolo solido che appare nella formula dell'intensità luminosa come $d\Omega = dA \cdot \cos\vartheta / r^2$, può essere descritto dalla seguente relazione:

$$E_{or} = I \cos\vartheta / r^2 \quad (1.5)$$

Quest'ultima può essere anche espressa in funzione dell'altezza h della sorgente rispetto al piano illuminato come segue:

$$E_{or} = I \cos^3\vartheta / h^2 \quad (1.6)$$

Nel caso di una superficie disposta come in *figura 9*, è possibile invece calcolare l'illuminamento verticale in un punto P appartenente alla superficie stessa come:

$$E_v = I \sin\alpha \cos^2\alpha \cos\beta / h^2 \quad (1.7)$$

dove α è l'angolo formato dalla direzione della congiungente la sorgente al punto P e dall'asse verticale passante per il centro della sorgente luminosa e β è l'angolo formato dalla proiezione della distanza r sul piano orizzontale passante per il punto P e l'asse normale al punto su tale piano (Philips; Fellin et al., 1999).

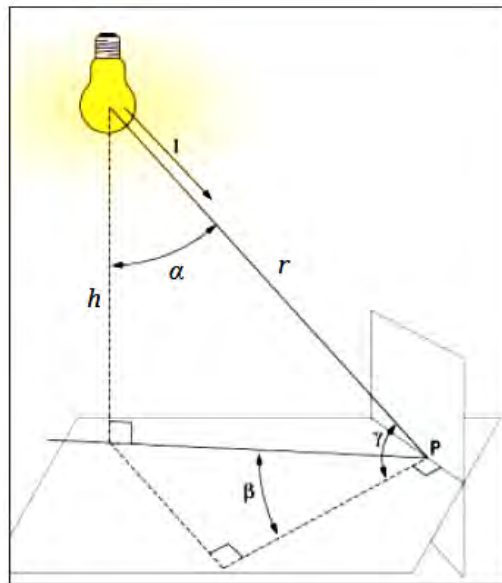


Figura 9 - Illuminamento verticale (fonte: Philips).

Di norma gli illuminamenti vengono calcolati su superfici orizzontali o verticali, tuttavia per alcune applicazioni particolari si considerano gli illuminamenti medi cilindrico e semicilindrico, i quali sono costituiti dalla media degli illuminamenti verticali calcolati attorno a un asse verticale nelle direzioni comprese rispettivamente tra 360° e 180° (Palladino; 2005).

Facendo riferimento alla situazione proposta in *figura 10*, in cui la distanza d congiunge un punto posto su una superficie cilindrica a una sorgente luminosa avente

intensità I , è possibile descrivere il flusso luminoso intercettato dal cilindro di altezza l e di raggio r come:

$$\Phi = 2 r l I \sin\psi / d^2 \quad (1.8)$$

dove ψ è l'angolo tra la direzione del fascetto elementare passante per il punto dato e l'asse verticale passante per il punto stesso.

L'illuminamento cilindrico risulta quindi descritto dalla seguente relazione (Fellin et al.; 1999):

$$E_c = I \sin\psi / \pi d^2 \quad (1.9)$$

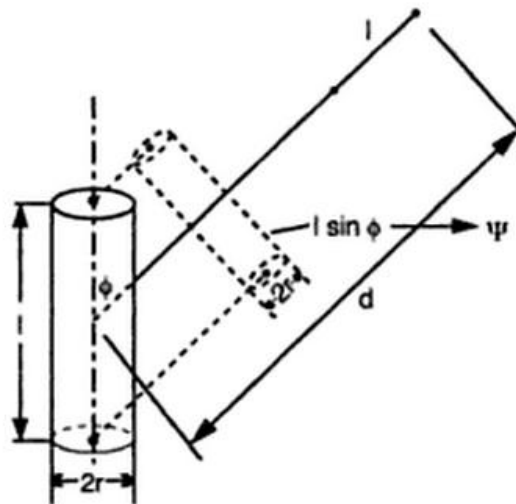


Figura 10 - Illuminamento cilindrico (fonte: Palladino, 2005).

L'illuminamento medio semicilindrico in un punto di una superficie (fig. 11) è infine definito dalla seguente equazione, i cui parametri sono analoghi al caso inerente l'illuminamento verticale sopra descritto (Fellin et al.; 1999):

$$E_{sc} = I \sin\alpha \cos^2\alpha (1 + \cos\beta) / h^2 \quad (1.10)$$

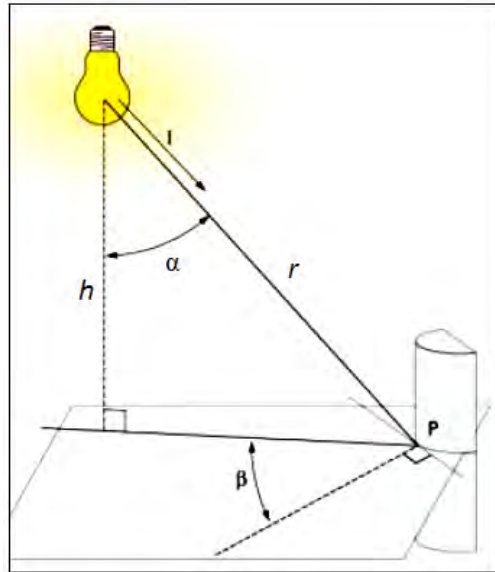


Figura 11 - Illuminamento semicilindrico (fonte: Philips).

1.2.4 La luminanza

Un ulteriore parametro la cui considerazione riveste fondamentale importanza ai fini dei calcoli illuminotecnici è la luminanza, misurata in cd/m^2 e indicata anche con il termine *brillanza*. Essa esprime l'entità della luce emessa da una sorgente (primaria o secondaria¹) di area A nella direzione assegnata ed è data dal rapporto tra l'intensità luminosa emessa, riflessa o trasmessa dalla superficie stessa in tale direzione e la sua area apparente, definita come sua proiezione sul piano normale alla direzione dell'intensità I (Fellin et al.; 1999):

$$L = \frac{I}{A \cos \alpha} \quad (1.11)$$

dove α è l'angolo compreso tra la direzione dell'intensità I e la normale alla superficie A (fig. 12).

¹ La differenza tra le due tipologie citate risiede nel fatto che una sorgente primaria emette luce propria, come nel caso delle lampade in genere, mentre una sorgente secondaria, che può essere una qualsiasi superficie non nera, riflette la luce a sua volta ricevuta da una sorgente primaria.

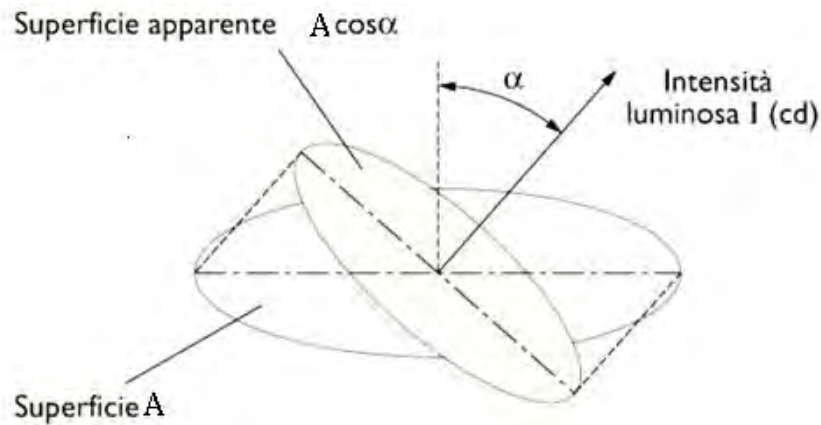


Figura 12 - Luminanza (fonte: Philips).

Considerando un elemento infinitesimo di superficie dA che emette radiazione luminosa in tutte le direzioni con intensità

$$dI(\vartheta) = dI_0 \cos\vartheta \quad (1.12)$$

in cui ϑ è l'angolo compreso tra la direzione di propagazione e la normale a dA e I_0 l'intensità luminosa emessa perpendicolarmente a quest'ultima, la *legge di Lambert* afferma che la luminanza dell'elemento di area dA è indipendente dalla direzione di osservazione e può essere espressa come segue (Fellin et al.; 1999):

$$L = dI_0/dA \quad (1.13)$$

La luminanza rappresenta quindi un parametro che permette di discriminare il comportamento delle diverse superfici, a seconda della modalità con cui emettono o riflettono la luce; una superficie che obbedisce alla legge di Lambert, e che quindi presenta lo stesso valore di luminanza in tutte le direzioni dell'emisfero al di sopra di essa, è detto *diffusore uniforme* (o *lambertiano*), a cui si aggiunge l'appellativo "*perfetto*" nel momento in cui diffonde totalmente il flusso luminoso ricevuto, senza assorbirne (coefficiente di riflessione unitario).

A questa tipologia di superfici si contrappongono le *superfici perfettamente speculari*, le quali riflettono la luce in una direzione simmetrica rispetto a quella del raggio incidente, mentre le superfici che presentano caratteristiche intermedie sono definite "*miste*" (fig. 13).

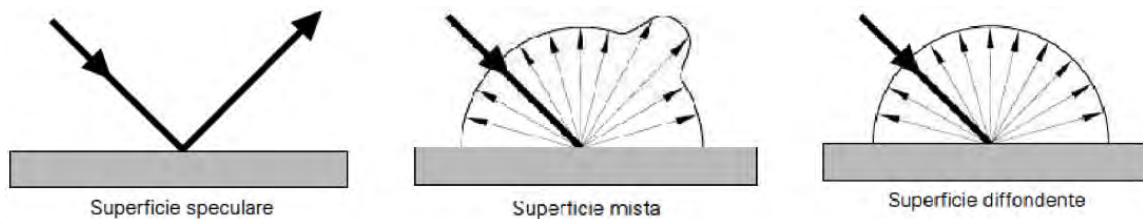


Figura 13 - Comportamento delle diverse tipologie di superficie (fonte: Favaretti, 2012).

Sfruttando il concetto di luminanza appena descritto, è possibile introdurre altre due definizioni di illuminamento, sferico e semisferico, entrambe esplicitate per un punto dalla seguente relazione:

$$E = \int L d\Omega \quad (1.14)$$

in cui $d\Omega$ è l'angolo solido di ogni fascetto elementare passante per il punto dato e L rappresenta la sua luminanza in quel punto.

L'integrale è esteso a tutto lo spazio (4π steradiani) nel caso di illuminamento sferico, mentre è esteso al semispazio limitato da un piano passante per il punto considerato (2π steradiani) nel caso di illuminamento semisferico.

1.3 La prestazione visiva

Le grandezze fotometriche descritte nel paragrafo precedente, con particolare riferimento all'illuminamento e alla luminanza, consentono di identificare dal punto di vista illuminotecnico un qualsiasi ambiente, sia esso interno oppure esterno.

Requisito fondamentale affinché l'apparato visivo umano venga sollecitato con degli input sensoriali apprezzabili è la presenza, sulle superfici costituenti l'ambiente in esame, di un valore di illuminamento tale per cui la luce da esse trasmessa o riflessa consenta una visione non difficoltosa da parte dell'individuo.

In particolare, vi è un range di illuminamenti all'interno del quale si ritiene che la prestazione visiva non sia compromessa. Il limite minimo di soglia, reputato sufficiente per distinguere i connotati umani e quindi riuscire a identificare una persona dai tratti del viso, è pari a circa 20 lux; in realtà l'occhio umano riceve stimoli anche per valori di illuminamento inferiori, tuttavia, dal momento che la funzione prioritaria a cui un qualsiasi impianto di illuminazione deve rispondere consiste nel permettere la vita e la convivenza in ambienti abitati, il limite minimo suddetto è ritenuto ragionevolmente opportuno.

La soglia massima entro la quale la prestazione visiva sia di persone giovani che di quelle anziane può essere considerata accettabile è invece pari a 2000 lux, valore al di sopra del quale la visione migliora in maniera non rilevante ed è probabile

l'insorgenza di situazioni di discomfort riconducibili, ad esempio, a fenomeni di abbagliamento diretto o riflesso o alla difficoltà a distinguere piccoli oggetti.

All'interno di detto range, i valori di illuminamento più comuni che trovano riscontro nelle prescrizioni dettate dalle norme esistenti in ambito illuminotecnico costituiscono una scala a progressione geometrica costruita attraverso prove sperimentali che hanno evidenziato come la soglia minima di percezione della differenza tra due illuminamenti sia regolata dal fattore 1,5; tenendo conto in maniera approssimata di tale valore, la scala elaborata risulta la seguente: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000.

Appurata la presenza nell'ambiente di valori di illuminamento opportuni, l'occhio umano è in grado di discernere i diversi oggetti da ciò che li circonda e le particolarità degli stessi grazie ai contrasti; in altre parole, il nostro apparato visivo riesce a cogliere le differenze di luminanza presenti all'interno del campo di osservazione, al variare delle quali l'iride regola l'ingresso della luce all'interno dei bulbi oculari, riducendo l'area della pupilla tramite la contrazione delle sue fibre muscolari disposte a cerchi concentrici oppure dilatandola grazie alle sue fibre disposte a raggiera.

Indicativamente, in presenza di luminanze dell'ordine di 10^4 cd/m² l'area della pupilla di un occhio umano medio è pari a circa 3 mm² e aumenta fino a raggiungere 45 mm² per luminanze aventi un ordine di grandezza di 10^{-2} cd/m².

Il riferimento in relazione al quale l'occhio percepisce le differenze di luminanza presenti all'interno del campo di osservazione è definito *luminanza media di adattamento*; infatti, la piccola porzione di retina chiamata fovea, dotata del maggior potere risolutivo, si adatta alla media ponderata delle luminanze caratterizzanti le superfici poste entro il campo visivo e sulla base di quest'ultima i lobi occipitali della corteccia cerebrale ricostruiscono l'immagine ricevuta sotto forma di impulsi nervosi. Nel caso in cui, ad esempio, all'interno del campo di osservazione vi siano due superfici di area A_1 e A_2 , alle quali sono associati dei valori di luminanza rispettivamente pari a L_1 e a L_2 , la luminanza media di adattamento è ricavabile dalla seguente relazione (Fellin et al.; 1999):

$$L_m = (L_1 A_1 + L_2 A_2) / (A_1 + A_2) \quad (1.15)$$

Una volta adattatosi a tale luminanza, detta anche *di fondo*, l'occhio è in grado di cogliere il contrasto tra un qualsiasi oggetto e l'ambiente circostante solo se il valore di luminanza L a esso associato è sufficientemente discosto da quello della luminanza media ponderata sopra citata; introducendo il *fattore di contrasto*, esprimibile tramite il seguente rapporto:

$$C = \frac{|L - L_m|}{L_m} \quad (1.16)$$

si definisce *contrasto relativo di soglia* la minima differenza percentuale tra la luminanza media di adattamento e la luminanza dell'oggetto mirato che rende possibile la percezione dell'oggetto stesso (www.arch.unige.it):

$$c_s = \frac{|L - L_m|_{min}}{L_m} \quad (1.17)$$

Come evidenziato nella *figura 14* sotto riportata, tale parametro decresce significativamente, in misura dipendente dall'entità dell'*angolo di mira foveale*, all'aumentare della luminanza media di adattamento; inoltre, se rapportato al fattore di contrasto, esso permette di introdurre un ulteriore indice del grado di visibilità dell'oggetto rispetto al fondo, chiamato *grado di percettibilità del contrasto* e così definito (www.arch.unige.it):

$$n = \frac{C}{c_s} \quad (1.18)$$

Un valore basso di detto parametro, riscontrabile quando la luminanza dell'oggetto tende a quella di fondo, rende difficile la distinzione dei contrasti; viceversa, valori elevati del grado di percettibilità indicano un'adeguata visione del particolare osservato.

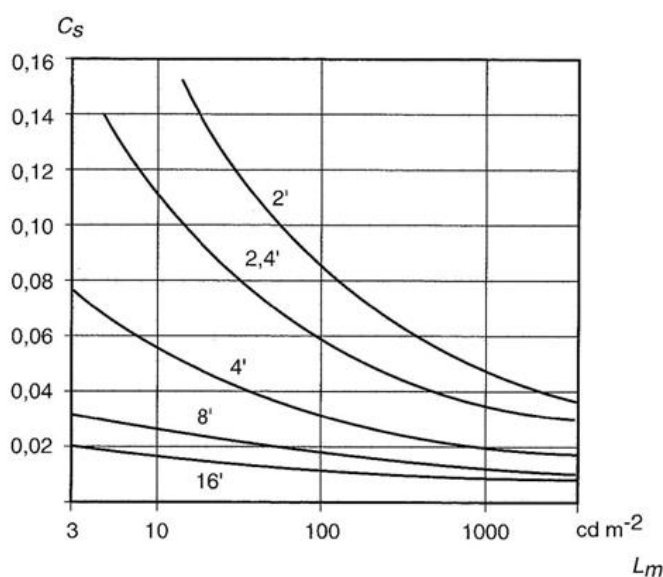


Figura 14 - Andamento del contrasto relativo di soglia, parametrizzato secondo l'angolo di visuale sotteso all'area mirata, in funzione della luminanza media di adattamento (fonte: Fellin et al., 1999).

Come si evince dalla stessa figura sopra menzionata, il contrasto relativo di soglia può essere parametrizzato in funzione dei diversi angoli sottesi all'area apparente mirata dalla fovea, intesa come il rapporto tra l'area reale dell'oggetto osservato e la distanza tra questo e il soggetto percipiente; infatti, evidenze sperimentali hanno dimostrato come al ridursi delle dimensioni di tale area, fatto che si verifica nel momento in cui l'occhio è chiamato a osservare dei dettagli minuti presenti nel campo visivo, il contrasto relativo di soglia aumenti in maniera notevole. Come logico aspettarsi dunque, una visione di dettaglio è resa possibile solo se il particolare osservato presenta luminanze assai più elevate rispetto a quella di fondo.

La capacità di distinguere dettagli di piccole dimensioni appartenenti a un oggetto o, analogamente, di percepire come distinte le sensazioni visive prodotte da due oggetti luminosi posti a breve distanza tra loro prende il nome di *acuità visiva* o *potere risolutivo* dell'organo della vista. Tale capacità dipende anch'essa dalla luminanza media di adattamento ed è massima in condizioni di mira foveale, cioè nel momento in cui l'immagine capovolta risulta proiettata nell'area della fovea (fig. 15), mentre decresce rapidamente al di fuori di questa zona retinica.

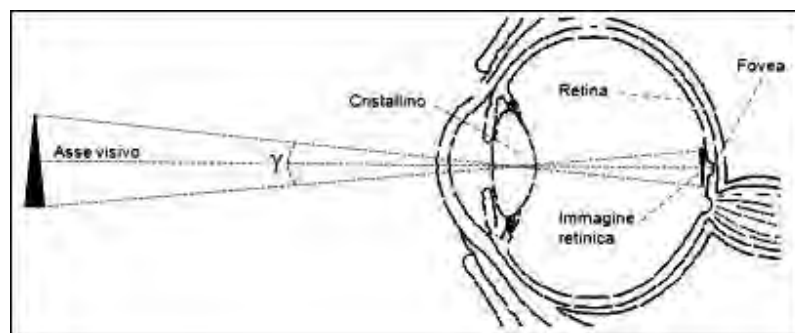


Figura 15 - Visione foveale (fonte: www.rpolillo.it).

L'acuità visiva fornisce quindi una misura delle prestazioni dell'organo visivo, in genere valutata in condizioni di massimo contrasto (nero su bianco o viceversa), e può essere operativamente definita come il reciproco del valore, espresso in minuti primi², del minimo angolo γ con cui l'occhio percepisce come distinti e separati due oggetti posti a breve distanza, come esplicitato dalla seguente relazione:

$$a = 1/\gamma \quad (1.19)$$

In particolare, quando si osservano degli oggetti assimilabili a dei perfetti assorbitori, che appaiono quindi di colore nero opaco, posti su un fondo con luminanza variabile, l'acuità visiva dell'individuo medio presenta un andamento crescente all'aumentare

² Un minuto primo corrisponde a 1/60 di grado sessagesimale.

della luminanza media di adattamento, fino a raggiungere uno stallo superate le 1000 cd/m^2 , come si evince dalla *figura 16* proposta di seguito.

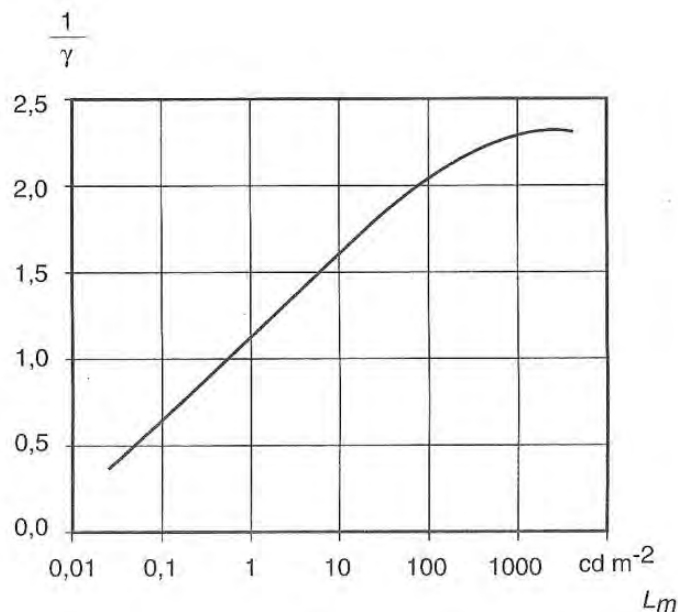


Figura 16 - Andamento dell'acuità visiva al variare della luminanza media di adattamento per la percezione di oggetti di colore nero opaco (fonte: Fellin et al., 1999).

Tutti i parametri fin qui descritti, siano essi caratterizzanti l'ambiente in cui è posto l'osservatore o le capacità visive appartenenti a quest'ultimo, contribuiscono a formulare il concetto di *prestazione visiva*, intesa come la misura della velocità e della precisione con cui un determinato compito visivo viene eseguito e valutabile in funzione di quattro fattori principali (Fiorentin; 2013):

- 1) l'acuità visiva,
- 2) la sensibilità nel percepire i contrasti,
- 3) la velocità di percezione,
- 4) la luminanza.

L'ottimizzazione di tali fattori crea il potenziale necessario a un'eccellente prestazione visiva ma non la garantisce a priori; infatti, le variabili che incidono su di essa sono molto più numerose e strettamente legate alle peculiarità dell'osservatore, quali la sua età e l'efficienza generale delle funzioni oculomotorie del suo apparato visivo, nonché alla sua concentrazione e alla sua stanchezza. Oltre a ciò svolgono un ruolo di primaria importanza anche il tempo disponibile per l'osservazione, la somiglianza tra il particolare osservato e altri dettagli posti nelle immediate vicinanze, la conoscenza del momento in cui il dettaglio appare nel campo visivo, la posizione dello stesso all'interno di quest'ultimo e l'esperienza acquisita dal soggetto nello svolgere lo specifico compito (Palladino, 2005; Fellin et al., 1999).

1.4 L'abbagliamento

Un fenomeno che complica il compito visivo e ha conseguenze negative sulla prestazione visiva di un individuo è l'abbagliamento, il quale si manifesta ogniqualvolta all'interno del campo di osservazione si riscontra una marcata disomogeneità delle luminanze dovuta alla presenza di superfici che emettono o riflettono la luce con valori di tale parametro assai più elevati rispetto quello della luminanza di fondo.

A seconda della tipologia di superficie che causa detto fenomeno e della sua posizione rispetto all'osservatore, è possibile distinguere tra:

- abbagliamento diretto, prodotto da una o più sorgenti luminose poste nella stessa direzione dell'osservatore;
- abbagliamento indiretto, prodotto da una o più sorgenti luminose che non sono situate nella stessa direzione del soggetto percipiente ma i cui raggi di luce giungono all'occhio secondo direzioni angolari che rendono comunque difficoltoso il compito visivo;
- abbagliamento riflesso, causato dalla luce che, emessa da una sorgente primaria, viene riflessa dalle superfici costituenti il campo di osservazione e giungono all'organo della vista.

A seconda delle conseguenze che valori di luminanza molto superiori alla luminanza media di adattamento generano sull'individuo, si possono invece identificare le seguenti due tipologie di abbagliamento:

- l'abbagliamento psicologico, o *discomfort glare*;
- l'abbagliamento fisiologico, o *disability glare*.

All'interno della prima categoria rientrano tutti quei fenomeni che non compromettono lo svolgimento del compito visivo e non alterano la percezione dell'individuo, ma contribuiscono a generare una sensazione indesiderata di discomfort e di affaticamento agli occhi; al contrario, la seconda forma di abbagliamento risulta di gran lungo la più problematica in quanto comporta una riduzione della capacità percettiva che può rivelarsi più o meno pericolosa in relazione al particolare compito visivo a cui è chiamato l'osservatore.

Infatti, considerando il caso, di maggior interesse ai fini della presente trattazione, in cui quest'ultimo si identifica nell'utente di una strada destinata prevalentemente al traffico veicolare, la limitazione dell'abbagliamento fisiologico causato dai corpi illuminanti riveste una fondamentale importanza nel garantire una guida sicura e nell'evitare l'insorgere di sinistri stradali. Un accorgimento in tal senso consiste nel dotare le sorgenti luminose di opportuni schermi in maniera tale da limitare le

intensità luminose emesse in direzione dell'osservatore e di evitare pericolosi innalzamenti della luminanza media di adattamento, rispetto a quelli caratterizzanti la carreggiata, i quali costringerebbero la pupilla dell'occhio a contrarsi e a convogliare lo stimolo visivo nella porzione centrale della retina ricca di coni. Tali fotorecettori non sono dotati della stessa capacità di discernimento dei contrasti che caratterizza al contrario le parti di retina in cui abbondano i bastoncelli (*fig. 17*) e la visione risulta quindi disturbata; a tale fenomeno si somma poi, nei casi peggiori, anche l'effetto velante causato dalla diffusione della luce all'interno del bulbo oculare attraverso il suo sistema diottrico centrato, costituito dalla cornea, dall'umor acqueo, dal cristallino e dall'umor vitreo, responsabile della formazione un velo luminoso offuscante che non permette la ricognizione dei contrasti (l'abbagliamento fisiologico viene infatti chiamato anche *veiling glare*).

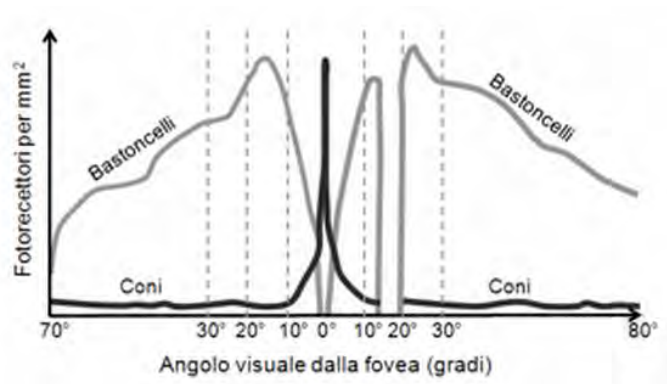


Figura 17 - Distribuzione dei fotorecettori sulla retina (fonte: www.rpolillo.it).

L'entità di tale fenomeno può essere valutata quantitativamente introducendo la cosiddetta *luminanza velante equivalente*, la quale esprime la misura in cui i corpi illuminanti posti all'interno del campo visivo dell'osservatore determinano una proibitiva percezione dei contrasti causata dalla formazione del velo di luminanza parassita sopra descritto all'interno del bulbo oculare; in particolare, la nuova grandezza introdotta, espressa in cd/m^2 , è descritta dalla seguente relazione (Fellin et al.; 1999):

$$L_{ve} = 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_{vi}}{\vartheta_i^2} \quad (1.20)$$

dove

- E_{vi} rappresenta l'illuminamento, espresso in lux, del piano verticale su cui si trova l'occhio dell'osservatore, prodotto dalla generica sorgente luminosa i ;
- ϑ_i rappresenta l'angolo, espresso in gradi, tra la congiungente l'occhio dell'osservatore con la sorgente i -esima e la direzione di osservazione,

quest'ultima assunta diretta verso l'asse longitudinale della corsia di marcia e inclinata di 1° rispetto all'orizzontale;

- n è il numero di corpi illuminanti presenti all'interno del campo visivo.

La luminanza velante equivalente concorre a definire, assieme alla luminanza media della carreggiata (L), il parametro operativamente utilizzato all'atto pratico della progettazione illuminotecnica e della verifica dei requisiti richiesti per ciascuna tipologia di strada, chiamato *Thersold Increment (TI)*, ovvero "incremento di soglia"; quest'ultimo è legato alle due grandezze suddette dalla relazione seguente (Fellin et al.; 1999):

$$TI = 65 \frac{L_{ve}}{L^{0,8}} \quad (1.21)$$

Tale parametro, espresso in termini di incremento percentuale relativo del contrasto di soglia, fornisce una misura dell'incremento di luminanza rispetto quella di fondo che un oggetto, di ampiezza assunta convenzionalmente pari a 8', deve presentare per essere percepito a fronte dell'effetto velante provocato dalle sorgenti luminose presenti all'interno campo visivo.

Tuttavia in alcune situazioni il calcolo di detto parametro può risultare piuttosto complesso; per tale ragione la norma UNI EN 13201:2004 fornisce una tabulazione che introduce sei distinte classi di illuminazione contraddistinte dalla lettera G e da un numero progressivo, a ciascuna delle quali sono associate delle intensità luminose massime ammissibili, espresse in cd/klm, differenziate a seconda dell'angolo di emissione dell'intensità luminosa stessa rispetto alla verticale. La tabella riportata nel seguito, estratta dalla norma europea, può essere quindi utilizzata qualora si vogliano introdurre delle prescrizioni atte a limitare l'abbagliamento fisiologico provocato dai corpi illuminanti, ad esempio vincolandone l'inclinazione oppure rendendo obbligatorio l'utilizzo di opportune schermature.

Tabella 2 - Suddivisione in classi di intensità luminosa (fonte: EN 13201:2003).

Class	Maximum luminous intensity in cd / klm			Other requirements
	at 70° ^a	at 80° ^a	at 90° ^a	
G1		200	50	None
G2		150	30	None
G3		100	20	None
G4	500	100	10	Luminous intensities above 95° ^a to be zero
G5	350	100	10	Luminous intensities above 95° ^a to be zero
G6	350	100	0	Luminous intensities above 90° ^a to be zero

^a Any direction forming the specified angle from the downward vertical, with the luminaire installed for use.

Restando in tema di illuminazione stradale, nonostante il sopra citato abbagliamento psicologico non costituisca un pericolo per la circolazione quanto quello fisiologico, esiste un indice che tiene conto della gradevolezza della soluzione impiantistica sotto questo aspetto e che può variare da un valore minimo pari a 1, corrispondente a una condizione di abbagliamento non ammissibile, a un massimo pari a 9, in corrispondenza del quale il fenomeno dell'abbagliamento psicologico non è avvertibile. Tale parametro, identificato con la lettera G , da non confondere quindi con le classi di intensità luminosa sopra presentate, dipende in particolare dalle caratteristiche dei corpi illuminanti, sia in termini di emissione della luce, sia in termini di disposizione geometrica, alle quali è correlato dalla seguente espressione (Fellin et al.; 1999):

$$G = 13,84 - 3,31 \log I_{80} + 1,3 \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right) 0,5 - 0,08 \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1,29 \log F \quad (1.22)$$

$$+ 0,97 \log L + 4,41 \log h' - 1,46 \log p$$

dove

- I_{80} e I_{88} sono le intensità emesse dalla sorgente luminosa sotto un angolo rispettivamente di 80° e di 88° rispetto al piano verticale parallelo all'asse stradale;
- F è l'area luminosa dell'apparecchio di illuminazione, visto secondo un angolo di 76° rispetto alla verticale;
- L rappresenta la luminanza della carreggiata;
- h' rappresenta l'altezza delle sorgenti rispetto agli occhi dell'osservatore, supposti a 1,5 m dal suolo;
- p è il numero di punti luce per chilometro;
- C è una costante che dipende dalla tipologia di sorgente considerata e vale sempre 0, eccetto per le lampade a vapori di sodio a bassa pressione (0,4) e per quelle a vapori di mercurio (-0,1).

In merito alla situazione di discomfort causata dall'abbagliamento, la norma UNI EN 13201:2004 introduce un ulteriore parametro di valutazione di tale fenomeno, definito "indice di abbagliamento" (D) e descritto dalla seguente relazione:

$$D = I_{max} \cdot A^{-0,5} \quad (1.23)$$

dove

- I_{max} è il valore massimo di intensità luminosa nella direzione che forma un angolo di 85° rispetto alla verticale;
- A è l'area apparente su un piano perpendicolare alla direzione di I_{max} .

Detta norma fornisce inoltre la seguente tabulazione inerente una suddivisione in classi di abbagliamento, dalla D0 alla D6, ciascuna delle quali caratterizzata da un valore massimo dell'indice D , che può essere utilizzata qualora si vogliono prescrivere per una specifica installazione delle restrizioni volte alla limitazione dell'abbagliamento psicologico.

Tabella 3 - Suddivisione in classi di abbagliamento in funzione del valore massimo dell'indice di abbagliamento (fonte: EN 13201-2:2003).

Class	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Glare index maximum	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

1.5 Caratteristiche delle sorgenti luminose

1.5.1 L'efficienza luminosa

Tutte le sorgenti di luce oggi giorno utilizzate sfruttano l'energia elettrica per produrre il flusso luminoso desiderato. Tuttavia, come per un qualsiasi processo irreversibile, tale energia non viene completamente convertita, ma è soggetta a dei fenomeni dissipativi, più o meno marcati a seconda della tipologia di apparecchio considerato, dovuti a due fattori principali:

- non tutte le radiazioni elettromagnetiche generate ricadono all'interno dello spettro del visibile;
- non tutta la radiazione visibile prodotta ha lunghezza d'onda coincidente con il picco di sensibilità dell'occhio umano (555 nm circa).

Il parametro comunemente utilizzato in campo illuminotecnico per tener conto del fatto che non tutta la potenza entrante nel corpo illuminante produce il massimo effetto utile desiderato è definito *efficienza luminosa* ed è pari al rapporto, di seguito esplicitato, tra il flusso luminoso emesso dalla sorgente, espresso in lumen, e la potenza elettrica assorbita dalla stessa, espressa in W:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (1.24)$$

Tale rapporto presenta un valore massimo teorico pari a 683 lm/W, corrispondente alla condizione in cui tutta la potenza elettrica di input viene completamente convertita in radiazioni aventi lunghezza d'onda pari a 555 nm; nella realtà, le comuni lampade attualmente disponibili in commercio sono caratterizzate da valori di efficienza molto inferiori, che arrivano al massimo a 180-200 lm/W nel caso delle lampade a vapori di sodio a bassa pressione, le quali si contraddistinguono per la loro emissione di luce gialla monocromatica con lunghezza d'onda pari a circa 589 nm.

Infine, come accennato in precedenza, lo scostamento tra l'efficienza luminosa delle lampade reali rispetto al caso teorico non dipende solamente dalla curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano all'interno della regione del visibile, ma è dovuto in maniera importante anche dal fatto che gran parte della potenza elettrica assorbita viene convertita in altre forme di energia diverse dalla luce, in particolare in radiazioni infrarosse, disperse sotto forma di calore e, per alcuni tipi di lampade, in radiazioni ultraviolette.

1.5.2 La resa dei colori

Un qualsiasi oggetto appare al nostro sistema visivo in quanto tale a seconda delle sue caratteristiche di trasmissione, diffusione e riflessione della radiazione luminosa che lo investe; risulta quindi evidente come le modalità con cui esso viene da noi percepito non dipendano solamente dalle sue fattezze e dalla sua finitura superficiale, ma anche dalle caratteristiche della sorgente che lo illumina.

Per tener conto di tale fenomeno, che il progettista illuminotecnico deve saper sfruttare in maniera appropriata a seconda del tipo di installazione, soprattutto per le applicazioni che hanno come scopo precipuo la valorizzazione di elementi naturalistici e architettonici, ciascuna sorgente luminosa viene classificata in base alla propria capacità di far percepire i colori in maniera più o meno fedele rispetto a quanto fatto da un illuminante di riferimento.

Il parametro su cui si basa detta classificazione è l'*indice di resa cromatica*, indicato con il termine *Ra (Rendering Average)* o, equivalentemente, con il termine *CRI (Colour Rendering Index)*, il quale fornisce una quantificazione numerica del grado di accordo tra il colore di un oggetto illuminato dalla specifica sorgente in esame e quello dello stesso oggetto sottoposto all'azione di un illuminante di riferimento, la cui capacità di resa dei colori si assume ottimale. In particolare, il termine di paragone è identificabile negli effetti prodotti dalla luce naturale diurna, a cui l'occhio umano si è evolutivamente adattato in maniera migliore, o da quella artificiale generata da una lampada a incandescenza: una sorgente luminosa in grado di fornire la stessa resa dei colori garantita da questi illuminanti di riferimento è caratterizzata da un indice di resa cromatica pari a 100, valore massimo associabile a detto parametro.

Al diminuire di quest'ultimo aumenta l'entità dei fenomeni di distorsione cromatica, che si verificano soprattutto in presenza di sorgenti luminescenti quali le lampade a

scarica; infatti, a differenza delle sorgenti a incandescenza nelle quali un filamento, in genere in tungsteno, viene percorso dalla corrente elettrica e, una volta portatosi in temperatura, emette uno spettro continuo in cui sono presenti tutte le lunghezze d'onda percepibili dall'occhio umano, le lampade che generano un flusso luminoso impartendo una scarica elettrica ai gas in essa presenti emettono luce solamente su determinate bande di frequenza dello spettro del visibile, in relazione al tipo di gas e alla pressione con cui sono confinati all'interno della lampada.

Ecco che una lampada al sodio a bassa pressione, citata in precedenza per le sue eccellenti caratteristiche di efficienza luminosa dovute all'emissione di luce con lunghezza d'onda non troppo discosta da quella di massima sensibilità dell'occhio umano, non è altrettanto apprezzabile in termini di resa dei colori proprio a causa della sua peculiare luce gialla monocromatica, al contrario delle poco efficienti lampade a incandescenza che presentano invece lo spettro continuo evidenziato nella *figura 18* sotto riportata.

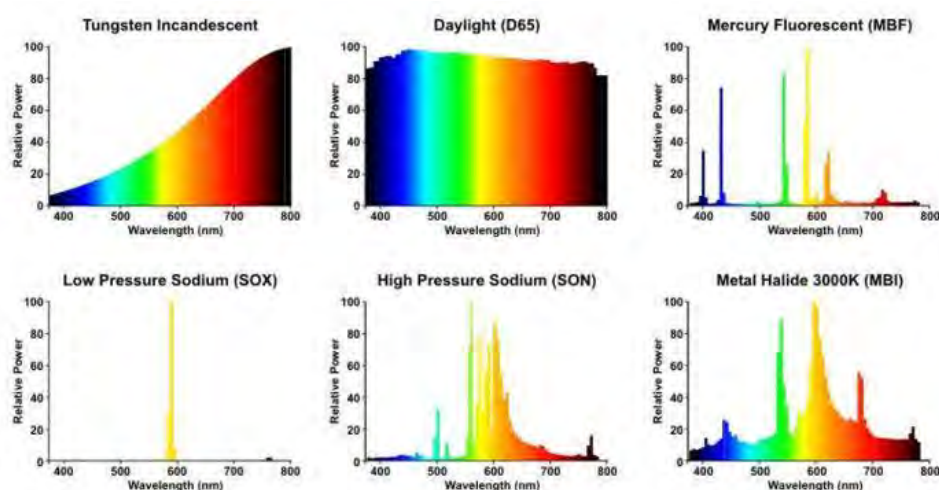


Figura 18 – Confronto tra gli spettri di emissione nel visibile della luce solare e di quella generata da diverse tipologie di lampade, rispettivamente a incandescenza, a vapori di mercurio, a vapori di sodio a bassa e alta pressione e ad alogenuri metallici (fonte: www.lamptech.co.uk).

Nonostante le lampade a scarica siano intrinsecamente affette da un non ottimale indice di resa cromatica, gli sforzi perpetuati nel corso degli anni allo scopo di incrementare detto parametro, uniti alle caratteristiche di economicità e di affidabilità degli apparecchi in oggetto, hanno comunque permesso a questi ultimi di occupare la quota maggiore nel mercato delle applicazioni stradali.

Un primo espediente atto a riempire, almeno in misura parziale, i “vuoti” caratterizzanti gli spettri di emissione delle lampade luminescenti consiste nell'aumentare la pressione dei gas contenuti al loro interno, fino a valori compresi tra 10^4 e 10^7 Pa, in modo da sfruttare gli effetti di risonanza dovuti all'intensa interazione tra gli atomi sottoposti a scarica. In tal maniera, come si evince dal confronto tra gli spettri di emissione di una lampada a vapori di sodio a bassa pressione e dell'analogica versione ad alta pressione (*fig. 18*), si riesce ad ampliare la gamma delle lunghezze d'onda della luce emessa e a garantire una maggior copertura dello spettro del visibile.

Un'altra tecnica, utilizzata soprattutto nelle lampade a vapori di mercurio, le quali emettono una parte rilevante della propria radiazione nelle lunghezze d'onda del blu, del violetto e dell'ultravioletto, consiste nel rivestire la superficie interna delle stesse con una polvere bianca fluorescente che, investita dalla radiazione suddetta, emette luce con uno spettro che comprende una maggiore varietà di lunghezze d'onda del visibile.

Un terzo metodo, sfruttato invece nelle cosiddette lampade ad alogenuri metallici, prevede l'aggiunta, all'interno di una lampada contenente mercurio e argon, di una miscela di additivi metallici tipicamente costituita da ioduri di sodio, scandio, indio, tallio e disprosio oppure da terre rare.

Infine, grazie allo sviluppo della lampada a luce miscelata, è stato possibile associare ad un unico apparecchio le caratteristiche di emissione di due sorgenti diverse; tale lampada, infatti, presenta un tubo di scarica contenente mercurio collegato in serie a un filamento di tungsteno: quest'ultimo, oltre a fungere da alimentatore per la scarica, aggiunge radiazioni rosse allo spettro di emissione del mercurio, garantendo una maggior resa in termini di colore percepito.

1.5.3 La temperatura di colore

Un ulteriore parametro che caratterizza le varie sorgenti luminose e ne influenza la scelta è dato dalla *temperatura di colore*, definita dalla CIE come "la temperatura di un radiatore di Plank la cui radiazione ha la stessa cromaticità di quella di uno stimolo dato" (Fiorentin; 2013). In altre parole, tale parametro consente di descrivere in maniera quantitativa la tonalità della luce emessa da una sorgente luminosa associando a quest'ultima un valore di temperatura, espresso in gradi Kelvin, identificabile come l'equivalente temperatura che un corpo nero presenterebbe se emettesse luce avente la stessa cromaticità di quella della sorgente in esame.

La relazione che lega lo spettro di emissione del corpo nero alla temperatura di quest'ultimo è data dalla *legge di Wien*, la quale, in particolare, fornisce la lunghezza d'onda in corrispondenza alla quale la densità di potenza spettrale emessa dallo stesso risulta massima a una data temperatura:

$$\lambda_{max} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{T} \quad (1.25)$$

dove

- T è la temperatura superficiale del corpo nero;

- la costante numerica che appare al numeratore, espressa in mK, è detta *costante dello spostamento di Wien*.

Come si può notare dalla *figura 19* sotto riportata, tale legge dimostra come la densità di energia emessa da un corpo nero al variare della lunghezza d'onda presenti un picco che si sposta verso delle frequenze maggiori o, equivalentemente, verso delle lunghezze d'onda minori, all'aumentare della temperatura superficiale del corpo nero stesso.

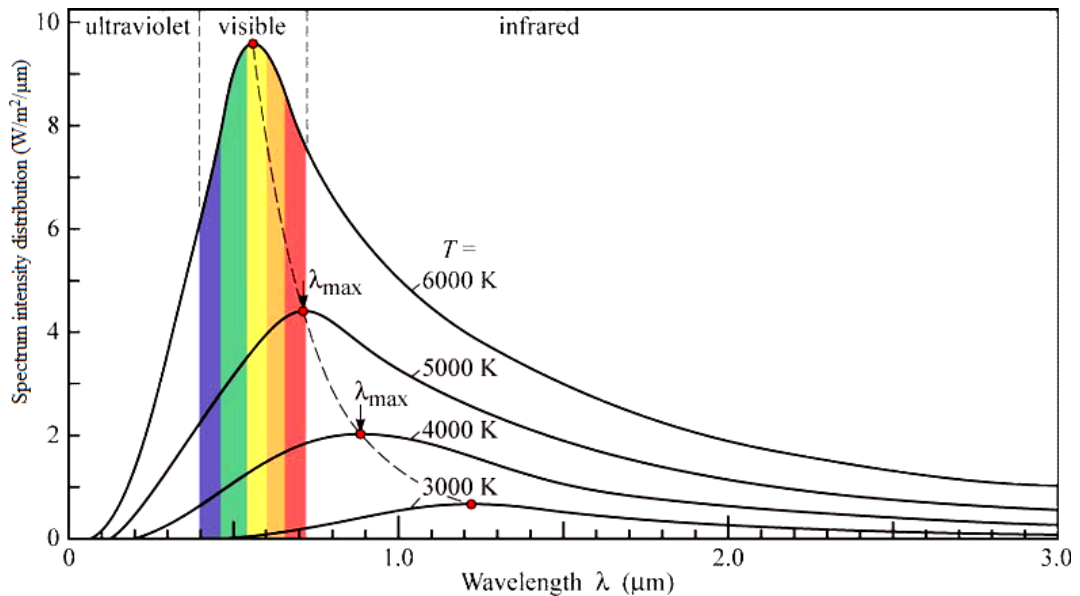


Figura 19 - Curve di distribuzione della potenza spettrale del corpo nero al variare della sua temperatura superficiale (fonte: www.globalchange.umich.edu).

La temperatura di colore dà informazioni precise sulla distribuzione spettrale dell'energia luminosa solo per le sorgenti di tipo termico quali le lampade a incandescenza; infatti, presentando queste ultime caratteristiche analoghe a quelle del corpo nero, la temperatura di colore a esse associate è strettamente correlata alla temperatura del corpo incandescente.

In particolare, come si evince dalla *figura 20* seguente, una volta che il filamento viene portato all'incandescenza (attorno ai 1.800-2.000 K a seconda del materiale), esso emette una luce di colore rosso e, man mano che la sua temperatura aumenta, la luce assume colorazioni giallo-arancio, passando poi a tonalità bianche, azzurre e violette.

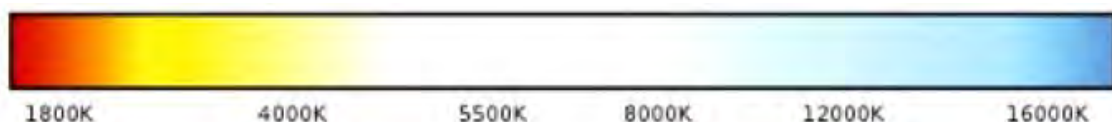


Figura 20 - Scala delle tonalità assunte da una lampada a incandescenza al variare della temperatura del suo filamento (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Riassumendo, una luce viene comunemente definita “calda” quando presenta una temperatura di colore bassa, tendente al rosso, mentre, al contrario, una luce la cui temperatura di colore assume valori elevati, corrispondenti a tonalità bianche tendenti all’azzurino, viene definita “fredda”.

Normalmente, le comuni lampade con filamento in tungsteno, materiale che sublima a circa 3.653 K, hanno una temperatura di funzionamento che si attesta attorno a 2.800 K, alla quale corrisponde l’emissione di una luce calda di tonalità gialla.

Come detto, l’analogia di comportamento con il corpo nero vale solo per sorgenti di tipo termico, in cui l’emissione di luce è diretta conseguenza del riscaldamento a cui viene sottoposto il filamento; per tutte le altre tipologie di lampade, quali quelle a scarica in gas, tale paragone risulta forzato e a rigore non si può definire una temperatura di colore. Per ovviare a ciò, è stato introdotto un ulteriore parametro, la “temperatura di colore correlata” (o “isoprossimale”), definita come la temperatura del corpo nero la cui radiazione emessa assume tonalità che più si avvicinano a quelle della sorgente in esame.

All’atto pratico, tuttavia, i cataloghi dei produttori di lampade riportano per tutte le categorie di sorgenti luminose la temperatura di colore, sottintendendo che per quelle non a incandescenza si tratta di una temperatura di colore correlata; tale considerazione porta così a una classificazione generale siffatta:

- da 2.500 a 3.500 K sorgenti con tonalità gialla o bianca calda;
- da 4.000 a 5.500 K sorgenti con colore bianco neutro;
- da 5.500 a 7.000 K sorgenti con colore bianco freddo.

1.5.4 La vita media

La capacità di una sorgente luminosa di espletare adeguatamente le proprie funzioni dipende da diversi fattori, in particolar modo dalla temperatura dell’ambiente in cui è posta, dalle variazioni della tensione e della frequenza di alimentazione, dal numero e dalla frequenza delle accensioni a cui è sottoposta, dal tipo di alimentatore a essa associato e da eventuali sollecitazioni meccaniche. L’aleatorietà di tali parametri di influenza non consente di prevedere con esattezza la durata di una singola lampada, perciò il concetto comunemente utilizzato per classificare le sorgenti luminose in base alla loro capacità di perpetuare nel tempo il compito a cui sono state preposte è quello di *vita media* (o vita utile), definita come il numero di ore di funzionamento dopo il quale il 50% delle lampade di un congruo e rappresentativo lotto, funzionante in condizioni stabilite, si spegne (Fellin et al.; 1999).

Facendo riferimento alla curva di mortalità riportata in *figura 21*, la quale mette in evidenza a titolo d’esempio il numero di lampade che sopravvivono nel tempo in relazione all’ammontare totale del lotto di cui fanno parte, la vita media si ha in corrispondenza della linea verticale che suddivide in parti uguali le due aree

evidenziate in grigio; queste ultime rappresentano rispettivamente la sommatoria delle ore di mancato funzionamento delle lampade che si sono guastate prima della vita media rappresentativa del lotto e la sommatoria delle ore di sopravvivenza delle lampade che si sono guastate successivamente.

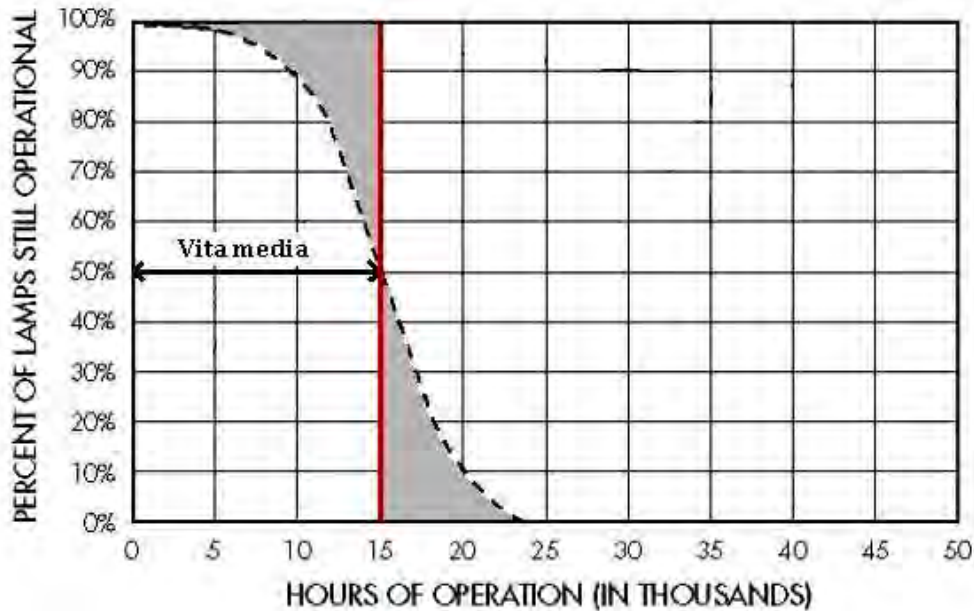


Figura 21 - Curva di mortalità di un lotto di lampade (fonte: www.luxemozione.com; 2008).

Il fatto che una percentuale di apparecchi continui a funzionare anche dopo il limite rappresentato dalla vita media, presumibilmente lavorando in condizioni di efficienza inaccettabili, rende necessaria l'introduzione anche del concetto di *vita economica* riferita a un dato impianto di illuminazione, definita come il numero di ore oltre il quale, a causa del numero di lampade guastatesi e della riduzione di flusso luminoso subito dalle rimanenti, il flusso totale emesso da queste ultime scende al di sotto dei valori di rispondenza alle norme di riferimento. Normalmente è proprio in riferimento a tale parametro che vengono pianificate le manutenzioni degli impianti di illuminazione.

Capitolo 2

Apparecchiature utilizzate nella pubblica illuminazione

2.1 Sorgenti luminose impiegate in ambito stradale

Sulla base di quanto già accennato all'interno del capitolo precedente, una prima distinzione tra le tecnologie esistenti per l'illuminazione, in ambito stradale e non solo, fa riferimento allo stato fisico dei corpi emittenti, i quali generalmente sono solidi oppure gassosi. Come già evidenziato, infatti, lo spettro delle radiazioni emesse da un filamento portato all'incandescenza e quello delle radiazioni che scaturiscono da una scarica elettrica in ambiente gassoso sono profondamente diverse; inoltre, altre grandezze caratteristiche quali l'efficienza luminosa e la vita media contribuiscono a incrementare il divario esistente tra le due diverse tecnologie.

A queste, storicamente impiegate in maniera preponderante, si è poi aggiunta in tempi recenti una terza categoria basata sulla tecnologia a LED (Light Emitting Diodes), anch'essa facente ricorso a un corpo solido quale emettitore del flusso luminoso, ma depurata sotto tutti i punti di vista da possibili analogie con le lampade a incandescenza; infatti, mentre queste ultime sono definite anche sorgenti "di tipo termico", le lampade a LED sfruttano la capacità dei materiali semiconduttori, opportunamente drogati e accoppiati per formare una giunzione pn, di emettere fotoni se sottoposti a una tensione di polarizzazione diretta.

Facendo riferimento allo schema di *figura 22*, nei paragrafi seguenti saranno descritte nel dettaglio le tecnologie appena accennate, dando particolare rilevanza al loro principio di funzionamento, alle loro caratteristiche peculiari e alle differenze esistenti tra di esse.

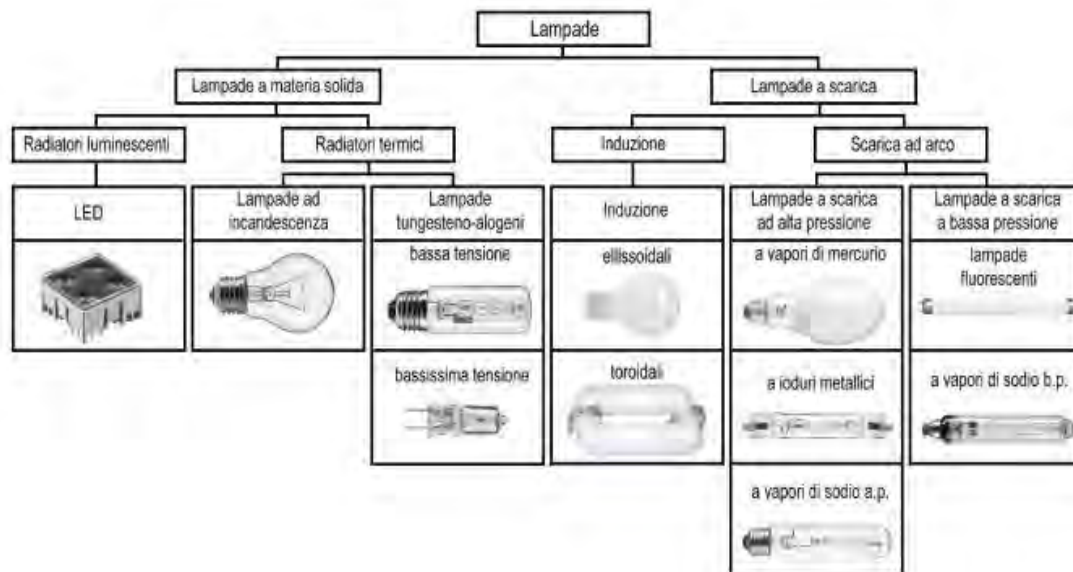


Figura 22 - Classificazione delle sorgenti luminose utilizzate in ambito stradale (fonte: Rizzo, 2009).

2.1.1 Le lampade a incandescenza

L'attuale diffusione su scala globale di una rete di illuminazione basata sullo sfruttamento dell'energia elettrica si deve a Thomas Alva Edison, il quale, sfruttando gli studi e gli esperimenti condotti da vari ricercatori sin dai primi anni dell'Ottocento, presentò nel 1879 la prima lampadina a incandescenza, costituita da un filamento di cotone carbonizzato posto all'interno di un'ampolla di vetro trasparente priva di aria, e successivamente provvide anche a sviluppare i dispositivi accessori, le macchine per la produzione di energia elettrica e le reti per la distribuzione della stessa su larga scala (Fellin et al.; 1999).

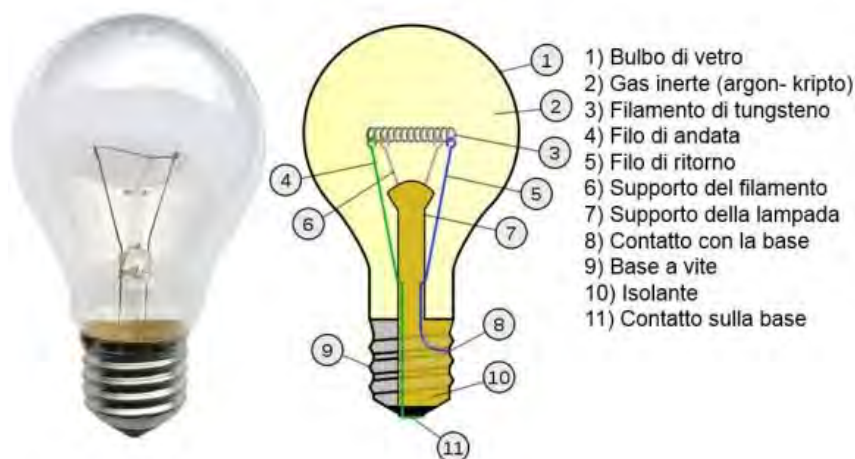


Figura 23 - Lampadina a incandescenza (fonte: www.luxemozione.com, 2007).

Nonostante le continue evoluzioni che ha subito nel corso degli anni, la lampada a incandescenza, una cui schematizzazione è riportata in *figura 23*, ha mantenuto il principio di funzionamento originario, caratterizzato dall'emissione di un flusso luminoso per mezzo di un filamento metallico portato all'incandescenza e posto all'interno di un bulbo di vetro nel quale viene praticato il vuoto spinto e viene introdotta una certa quantità di gas inerti, normalmente argon e kripton; il materiale oggi maggiormente utilizzato per la realizzazione del filamento è il tungsteno, caratterizzato da una temperatura di sublimazione di circa 3.653 K e da una temperatura di funzionamento pari a circa 2.800 K.

Come già accennato, il principale vantaggio della lampada a incandescenza risiede nella capacità del flusso luminoso da essa emesso di rendere in maniera ottimale i colori degli oggetti investiti dalla luce; a questo si sommano poi l'accensione istantanea e il rapidissimo instaurarsi delle condizioni di regime. Tuttavia, nonostante l'evoluzione tecnologica abbia consentito di raggiungere valori di efficienza luminosa assai maggiori rispetto al valore 1,4 lm/W calcolato per la prima lampadina inventata da Edison, le sorgenti a incandescenza sono ormai cadute in disuso negli impianti di illuminazione esterna proprio a causa di un'efficienza luminosa, mediamente pari a 12 lm/W, bassa in relazione alle altre tecnologie sviluppatesi nel corso degli anni, e a causa della notevole sensibilità alle variazioni di tensione e della ridotta vita media di funzionamento, attestabile attorno alle 1.000 ore (Carrescia et al.; 2006).

All'origine della scarsa durata e del rapido decremento con il tempo dell'efficienza luminosa associata a tali sorgenti vi è il fenomeno della sublimazione che interessa il filamento metallico percorso dalla corrente elettrica; infatti, nel momento in cui quest'ultimo accumula per effetto Joule una consistente quantità di energia termica, alcune particelle vaporizzano e tendono a solidificarsi nuovamente a contatto con la parete interna del bulbo vitreo, causandone il caratteristico annerimento, responsabile dell'assorbimento di parte del flusso luminoso emesso dalla sorgente incandescente.

Per ovviare a tale fenomeno, attorno agli anni '50 del secolo scorso fu introdotta la lampada a incandescenza "a ciclo di alogeni" (*fig. 24*), costituita da un filamento doppiamente spiralizzato di tungsteno posto all'interno di un bulbo, normalmente in vetro borosilicato, contenente oltre ai gas inerti sopra citati anche una miscela di sostanze alogene, principalmente costituita da bromo o iodio in pressione; le dimensioni del bulbo, opportunamente ridotte rispetto alle lampade a incandescenza tradizionali, sono tali da mantenere al suo interno un regime termico stazionario, caratterizzato da temperature comprese tra 1.700 K e 500 K.



Figura 24 - Lampadina a incandescenza "a ciclo di alogeni" (fonte: zaro41.wordpress.com).

Tale accorgimento consente alle sostanze alogene ivi contenute di combinarsi con i vapori di tungsteno provenienti dal filamento incandescente, portato anche a temperature prossime a 3.000 K, dando origine agli alogenuri di tungsteno, gas trasparenti che non tendono a fissarsi sulla superficie interna del bulbo; essendo inoltre tali composti stabili solo entro l'intervallo di temperatura sopra citato, essi tendono a dissociarsi nel momento in cui i moti convettivi che si sviluppano all'interno del bulbo li riavvicinano al filamento incandescente, liberando gli atomi di tungsteno che si depositano casualmente su quest'ultimo e rendendo disponibili gli alogeni per un nuovo ciclo rigenerativo. Ovviamente il filamento non si rigenera in maniera integrale, ma è soggetto a zone in cui si deposita una maggior quantità di tungsteno evaporato e a zone poco interessate da tale fenomeno: proprio in corrispondenza di queste ultime il filamento presenta maggior logorio ed è più probabile che la lampada si guasti. Tuttavia, un vantaggio che il ciclo di alogeni comporta è la persistenza, attorno al filamento, di una pressione parziale del vapore di tungsteno prossima alla tensione del vapore saturo, la quale inibisce in maniera importante il fenomeno della sublimazione, garantendo una discreta uniformità del filamento stesso e raddoppiando la vita media di funzionamento della lampada rispetto a quelle a incandescenza tradizionali.

Di queste ultime la lampada a ciclo di alogeni conserva però l'ottima resa dei colori degli oggetti illuminati (l'indice di resa cromatica è prossimo a 100) e la temperatura di colore, compresa circa tra 2.900 K e 3.200 K; l'efficienza luminosa risulta inoltre piuttosto incrementata e raggiunge anche i 25 lm/W.

Infine, come si evince dalla *figura 24* sopra riportata, spesso il bulbo in vetro borosilicato contenente la miscela di gas è posto all'interno di un bulbo esterno avente funzione di protezione; infatti, nel momento della rottura del filamento si potrebbe generare un arco elettrico che, unito alle alte pressioni (dell'ordine dei 25 bar) a cui sono sottoposti gli alogeni e alla presenza di piccole tracce di ossigeno entro il bulbo

interno, provocherebbe un effetto esplosivo potenzialmente pericoloso in assenza di un'opportuna schermatura esterna.

2.1.2 Le lampade fluorescenti tubolari

Negli anni '50 del secolo scorso, contestualmente all'introduzione delle lampade a incandescenza a ciclo di alogeni, si diffusero anche le prime lampade a scarica in gas a bassa pressione, denominate fluorescenti tubolari in quanto caratterizzate da un tubo di vetro chiaro a sviluppo lineare, di lunghezza da 0,6 metri a oltre 2 metri, contenente un gas nobile, normalmente argon, a una pressione di circa 2-3 mmHg, e poche gocce di mercurio (fig. 25).

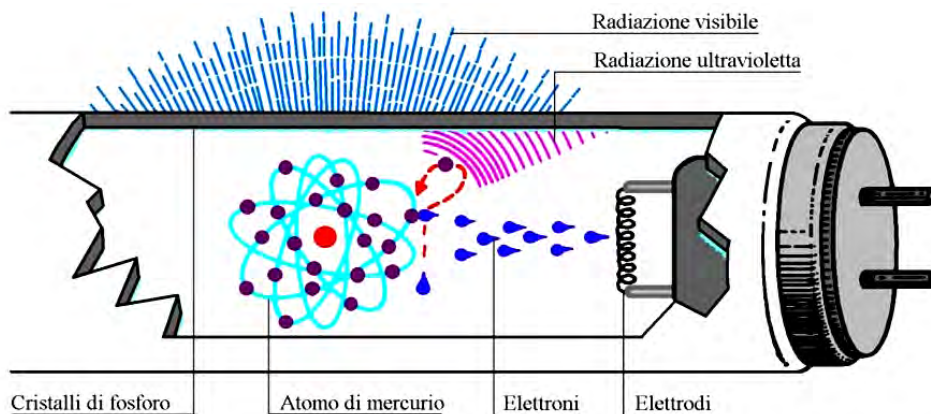


Figura 25 - Schematizzazione di una lampada fluorescente lineare (fonte: Nicolini).

Alle estremità del tubo vi sono due elettrodi metallici, normalmente realizzati in tungsteno doppiamente spiralizzato, rivestiti con ossidi di stronzio, bario e calcio, i quali, una volta attraversati da corrente, generano per effetto termoionico un elevato numero di elettroni liberi che, migrando dal catodo verso l'anodo, cedono parte della propria energia cinetica agli atomi del gas nobile di riempimento, causandone l'eccitazione e l'ionizzazione e facendo vaporizzare le piccole gocce di mercurio. Essendo la miscela di argon e mercurio una cosiddetta "miscela di Penning", la cui peculiarità risiede nel fatto che lo stato di eccitazione più basso del gas nobile è metastabile e l'energia a esso relativa (11,56 eV) è superiore all'energia necessaria per ionizzare il gas non nobile (10,39 eV), statisticamente vi è un'elevata probabilità non solo di eccitare gli atomi di mercurio, ma anche di ionizzarli. L'energia che è sufficiente fornire a un atomo di mercurio per ottenere lo stato di eccitazione desiderato è pari a 4,88 eV: tale livello non è metastabile e gli atomi eccitati tornano rapidamente al loro livello energetico di partenza emettendo quanti caratterizzati da una lunghezza d'onda di 253,7 nm, ricadente all'interno della banda delle radiazioni ultraviolette (Palladino, 2005).

La conversione della radiazione ultravioletta in fotoni visibili avviene per mezzo di opportune polveri fluorescenti di cui viene rivestita la superficie interna del tubo di vetro, le quali possono essere trifosfori, caratterizzate da un indice di resa cromatica non superiore a 80, oppure multifosfori, in grado di generare luce in grado di riprodurre in maniera assai fedele alla realtà i colori degli oggetti illuminati (l'indice di resa cromatica raggiunge valori prossimi a 95).

Tra i vantaggi delle lampade fluorescenti lineari vi sono l'elevata efficienza luminosa, che varia da 80 a 100 lm/W a seconda della potenza e della tonalità della luce, la ridotta sopraelevazione di temperatura, la riaccensione immediata dopo lo spegnimento, lo scarso decadimento delle prestazioni nel tempo e la buona vita media di funzionamento, che può raggiungere anche le 5.000 ore.

Per contro, tali lampade presentano una serie di svantaggi che nel corso degli anni hanno limitato fortemente il loro impiego nelle applicazioni stradali; esse, infatti, sono assai sensibili alle basse temperature (la loro resa luminosa può ridursi anche del 20%), necessitano di armature e ottiche di grandi dimensioni che ne limitano la praticità e la capacità di emettere la luce secondo direzioni preferenziali e, infine, non possono essere collegate direttamente alla rete di bassa tensione, ma richiedono un apposito circuito di accensione e alimentazione, come quello riportato in *figura 26* (Grattieri et al.; 2012).

Quest'ultimo è costituito da uno starter, collegato in parallelo agli elettrodi della lampada e composto da un condensatore antidisturbo e da un accenditore vero e proprio realizzato tramite una coppia bimetallica, da un alimentatore elettromagnetico, che generalmente consta in un'impedenza induttiva ed è chiamato reattore ferromagnetico, e da un condensatore di rifasamento posto in parallelo al circuito.

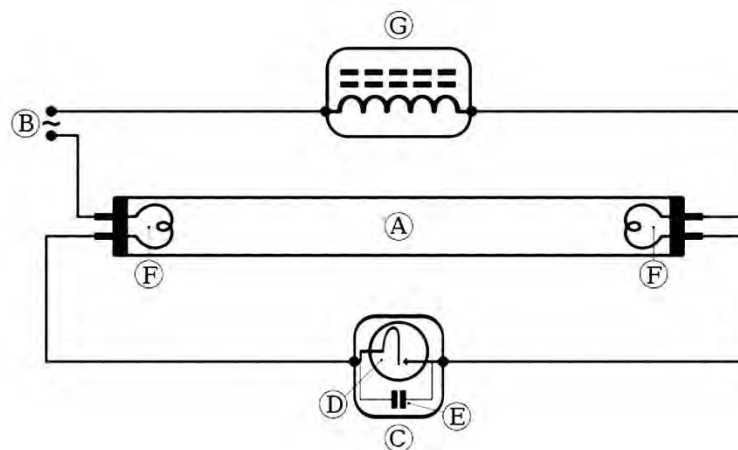


Figura 26 - Circuito di alimentazione di una lampada fluorescente lineare: A) lampada; B) rete a 230 V; C) starter; D) lamina bimetallica; E) condensatore antidisturbo; F) filamento in tungsteno; G) alimentatore elettromagnetico (fonte: www.powereetimes.com).

All'atto del collegamento di quest'ultimo con la rete elettrica tramite i morsetti indicati con la lettera B, la tensione di rete ricade sia sugli elettrodi della lampada che

su quelli dell'accenditore, il quale ha una struttura analoga a quella di una piccola lampada ad arco di cui la sopra citata coppia bimetallica costituisce gli elettrodi; come già accennato, una differenza di potenziale di 230 V non è in grado di innescare la scarica all'interno del tubo, tuttavia è sufficiente a generare un piccolo arco tra gli elettrodi dell'accenditore, il quale consente alla corrente elettrica di trasmettersi attraverso il circuito e di riscaldare i filamenti in tungsteno della lampada in modo da creare le condizioni per la formazione di elettroni e ioni liberi nell'intorno degli stessi. Man mano che l'arco persiste, la lamina bimetallica, indicata in figura con la lettera D, tende a dilatarsi e a mettere fisicamente in contatto i due elettrodi dell'accenditore; il successivo raffreddamento dovuto all'assenza dell'arco provoca la riapertura del contatto che genera nel circuito una sovratensione transitoria sufficiente a innescare la scarica tra i due elettrodi della lampada. Una volta avvenuto ciò, la tensione applicata ai capi della coppia bimetallica è solamente una parte della totale tensione di rete, non sufficiente a innescare l'arco nell'accenditore; quest'ultimo rientra in gioco automaticamente nel momento in cui la lampada non si accende al primo tentativo. Infine, allo scopo di stabilizzare la scarica all'interno della lampada e di ridurre il valore della corrente a regime per prevenirne la distruzione, si ricorre a un sistema di alimentazione costituito da un'impedenza induttiva posta in serie (Fellin et al.; 1999).

2.1.3 Le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione

Nel corso degli anni '60 del secolo scorso comparvero le prime lampade a scarica in vapori di mercurio ad alta pressione, la cui compattezza rispetto alle lampade fluorescenti lineari sopra descritte e la cui discreta vita media di funzionamento (8.000-10.000 ore) hanno concesso loro la larga diffusione che si riscontra ancor oggi nelle applicazioni stradali.

Come si evince dalla *figura 27* sotto riportata, tali lampade sono costituite da un bulbo in quarzo, contenente mercurio a una pressione superiore a 10 kPa, vettore della scarica elettrica che avviene tra i due elettrodi principali, a sua volta racchiuso entro un bulbo vitreo di forma ellissoidale internamente rivestito da polveri fluorescenti necessarie per la conversione delle radiazioni ultraviolette, emesse dagli atomi di mercurio quando i loro elettroni eccitati tornano al loro livello di partenza, in quanti visibili.

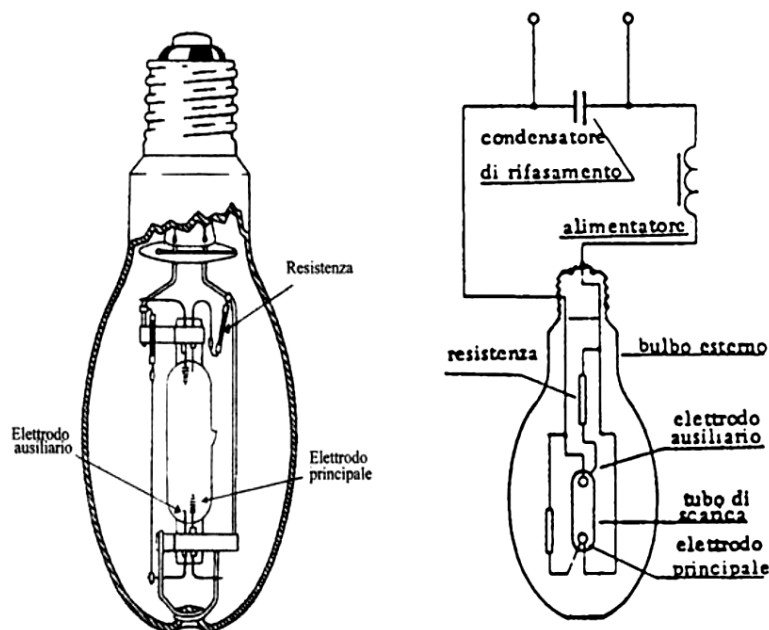


Figura 27 - Schematizzazione lampada a vapori di mercurio ad alta pressione (fonte: Sicilia et al.; 2013).

Una volta che il circuito, comprensivo tra l'altro di un alimentatore ferromagnetico per la stabilizzazione della scarica e di un condensatore di rifasamento, viene alimentato alla tensione di rete, l'accensione è affidata a uno dei due elettrodi principali e a un elettrodo ausiliario, a monte del quale vi è una resistenza d'innesco, posto a breve distanza dal primo: tra questi ultimi si genera infatti un arco che crea le condizioni adatte all'innesco della scarica tra i due elettrodi principali posti alle estremità della lampada. Una volta che questa è andata a regime, la resistenza interna del circuito principale di scarica diviene più piccola di quella del circuito di scarica ausiliario, che risulta quindi interrotto. Data l'elevata quantità di gas presente all'interno del bulbo, il flusso luminoso nominale viene raggiunto dopo 4-5 minuti; inoltre, in caso di spegnimento, la riaccensione non è immediata ma necessita di un periodo di raffreddamento fino a una decina di minuti.

La temperatura di colore correlata associata a tali sorgenti è compresa nell'intervallo tra 3.000 K e 4.200 K, a ragion del fatto che la luce da esse emessa presenta una tonalità tendenzialmente bianca. L'indice di resa cromatica non è eccellente e si attesta attorno a valori compresi nell'intervallo 50-60; anche l'efficienza luminosa non eccelle se confrontata con quella delle altre tipologie di lampade a scarica, assumendo valori compresi tra 30 lm/W e 60 lm/W.

Nonostante il basso costo di acquisto e la buona affidabilità che hanno reso le lampade al mercurio particolarmente adatte alle applicazioni, quali quelle stradali, in cui tali caratteristiche risultano più importanti rispetto alla resa dei colori, il loro utilizzo sta via via volgendo a termine a causa delle problematiche relative allo smaltimento del mercurio in esse contenuto, a favore di altre sorgenti meno pericolose dal punto di vista ambientale e caratterizzate da una migliore efficienza (Sicilia et al., 2013; Fellin et al., 1999; Carrescia et al., 2006).

2.1.4 Le lampade a vapori di sodio a bassa pressione

Le lampade a vapori di sodio a bassa pressione, di cui la *figura 28* riporta una schematizzazione, costituiscono le prime lampade a scarica in gas realizzate: furono infatti introdotte già a partire dal 1932.

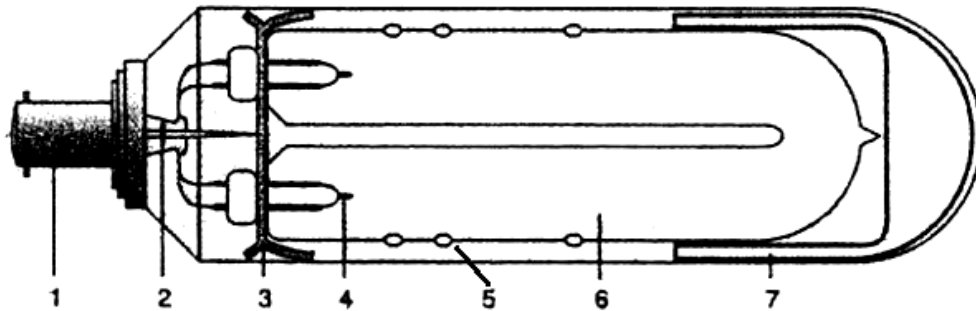


Figura 28 - Schematizzazione lampada a vapori di sodio a bassa pressione: 1) attacco a baionetta; 2) getter per il mantenimento del vuoto nel bulbo esterno; 3) supporti; 4) elettrodi; 5) vaschette di raccolta del sodio; 6) tubo di scarica; 7) tubo esterno (fonte: Sicilia et al.; 2013).

Nella loro variante più diffusa, il tubo di scarica, contenente sodio e piccole quantità di gas inerte (generalmente neon) a una pressione pari a circa 0,5 Pa, è ripiegato a forma di U e ai suoi capi sono posti i due elettrodi tra i quali avviene la scarica, una volta innescata grazie a un elettrodo ausiliario. Esiste tuttavia anche una versione con tubo di scarica a sviluppo lineare e accensione mediante starter, costruttivamente molto simile alle lampade fluorescenti lineari, che differisce però da queste ultime per l'assenza del rivestimento con polveri fluorescenti sulla superficie del bulbo esterno, non necessario in quanto la radiazione emessa dalle lampade al sodio a bassa pressione in generale presenta lunghezze d'onda pari a 589 nm e a 589,6 nm (Palladino, 2005).

Proprio la vicinanza della banda di emissione di tali lampade al punto di massima sensibilità dell'occhio umano rende dette sorgenti le migliori in assoluto in termini di efficienza luminosa, che raggiunge anche i 180-200 lm/W; tuttavia, l'emissione di una luce gialla praticamente monocromatica, corrispondente a una temperatura di colore correlata di circa 1.700 K, conferisce alle stesse una capacità di resa cromatica pressoché nulla, inaccettabile all'interno di un centro urbano.

Tra i vantaggi che tali sorgenti presentano oltre all'efficienza luminosa vi sono la buona resistenza alle variazioni di temperatura ambiente, la buona vita media di funzionamento, che raggiunge le 12.000 ore, e la rapidità nelle riaccensioni a caldo; tra gli svantaggi vi sono il lungo periodo di messa a regime, compreso tra 8-12 minuti, la necessità di un alimentatore per la connessione alla rete e l'elevato ingombro sia della lampada che dei dispositivi ottici ausiliari (Fiorentin, 2013; Sicilia et al., 2013).

2.1.5 Le lampade a vapori di sodio ad alta pressione

Le lampade a vapori di sodio ad alta pressione sono attualmente le sorgenti luminose maggiormente sfruttate in ambito stradale; la loro elevata efficienza luminosa, che raggiunge valori pari anche a 120-130 lm/W, la lunga vita media di funzionamento, che si spinge anche oltre le 20.000 ore, i costi accessibili e gli ingombri limitati hanno infatti permesso a tali sorgenti di occupare la fetta di mercato preponderante nell'ambito del panorama nazionale dell'illuminazione pubblica.

Come si evince dalla *figura 29* sotto riportata, esse sono costituite da un tubo interno, realizzato con uno speciale materiale ceramico, un'allumina traslucida policristallina (PCA) chimicamente resistente al sodio, il quale viene normalmente riempito con xenon e con un amalgama di sodio e mercurio e viene posto all'interno di un bulbo esterno resistente al calore e tenuto da una giunzione di chiusura flessibile che permette alla struttura di espandersi e contrarsi senza deformarsi. Alle estremità del tubo interno fanno capo due elettrodi rivestiti in tungsteno responsabili della scarica, mentre non è presente alcun elettrodo ausiliario per l'accensione a causa della ristrettezza del tubo stesso; esiste quindi un apposito circuito che prevede, oltre al condensatore di rifasamento e all'alimentatore per la stabilizzazione della scarica, anche un accenditore a impulsi in grado di fornire tensioni di innesco pari a 3-5 kV necessarie a eccitare inizialmente lo xenon e il mercurio e, una volta create le condizioni adatte, anche gli atomi di sodio.

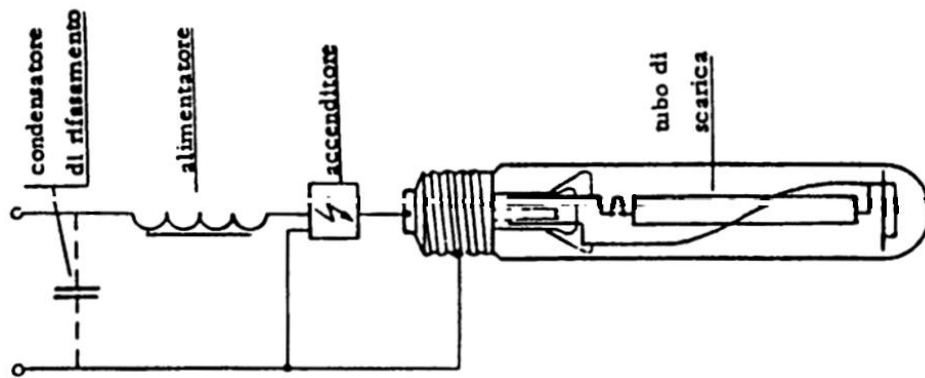


Figura 29 - Schematizzazione lampada a vapori di sodio ad alta pressione (fonte: Sicilia et al.; 2013).

Le lampade a vapori di sodio ad alta pressione possono essere classificate in tre categorie a seconda della pressione di funzionamento, a cui corrispondono differenti efficienze luminose e temperature di colore correlate e diversi indici di resa cromatica; la tabella sottostante riporta in particolare per ciascuna categoria dei valori indicativi inerenti i parametri appena citati.

Tabella 4 - Tipologie di lampade a vapori di sodio ad alta pressione (Sicilia et al.; 2013).

Tipologia	Pressione [kPa]	Efficienza luminosa [lm/W]	Temperatura di colore correlata [K]	Indice di resa cromatica
Standard	10	fino a 150	2.000	25
A resa migliorata	40	fino a 100	2.150	60
A luce bianca	95	40-70	2.500	80

Di recente è stata inoltre introdotta un'evoluzione tecnologica delle sorgenti al sodio, ottenuta modificando la composizione dei gas all'interno del tubo di scarica, aggiungendo dello xenon ad alta pressione ed eliminando il mercurio solitamente utilizzato; tale modifica non ha apportato alcun cambiamento in termini di resa cromatica delle lampade, ma ha consentito di incrementarne l'efficienza del 15% circa, senza contare il vantaggio dal punto di vista ambientale derivante dal non utilizzo di una sostanza assai difficile da smaltire come il mercurio.

Tra gli svantaggi che l'adozione delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione comporta, oltre alla necessità di un apposito circuito di alimentazione e di accensione e alla non esaltante resa cromatica, vi sono anche il tempo di messa a regime e di riaccensione relativamente lunghi, pari rispettivamente a circa 5 minuti e a poco più di un minuto, e la presenza di una sovracorrente pari a circa 1,5 volte la corrente nominale durante la fase di accensione.

Tali svantaggi, ritenuti inaccettabili per le applicazioni all'interno degli edifici, sono tuttavia abbondantemente compensati dall'elevata efficienza e dalla buona affidabilità, alle quali si uniscono anche i costi abbastanza ridotti, che hanno reso le sorgenti considerate particolarmente adeguate nel contesto stradale.

2.1.6 Le lampade a vapori di alogenuri metallici

Le lampade a vapori di alogenuri metallici, altresì dette lampade a ioduri metallici (*fig. 30*), rappresentano, come già accennato, un'evoluzione delle lampade a vapori di mercurio ad alta pressione introdotta per coprire i "vuoti" caratterizzanti lo spettro di emissione nella banda del visibile di tale tecnologia ed evitare il rivestimento dell'ampolla contenente il tubo di scarica con della polvere fluorescente, tuttavia talvolta ancora utilizzata in qualche applicazione allo scopo di ridurre la luminanza.

A seconda della tipologia e della quantità dei composti metallici introdotti nel tubo di scarica in PCA, normalmente sodio, tallio, indio, scandio o terre rare, le lampade a ioduri si differenziano principalmente per efficienza luminosa, compresa tra 60 e 120

lm/W, per indice di resa cromatica, compreso tra 75 e 95, e per temperatura di colore correlata, che assume valori compresi tra 3.000 K e 6.000 K, corrispondenti all'emissione di una luce avente tonalità bianca calda, neutra o fredda.

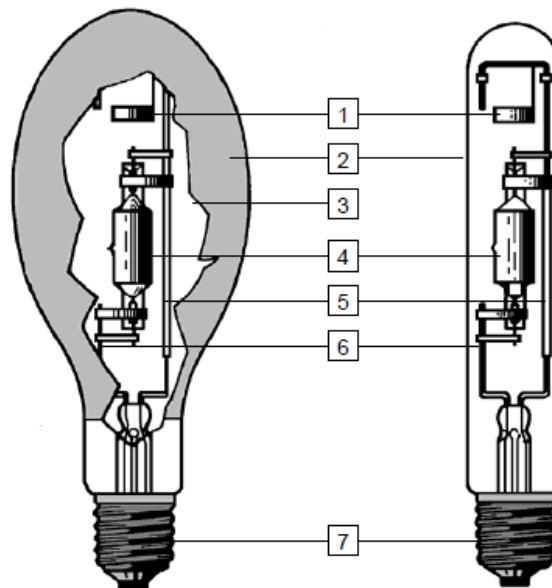


Figura 30 - Tipologie di lampade a ioduri metallici: 1) anello per il mantenimento del vuoto (getter); 2) bulbo esterno in vetro; 3) rivestimento con polveri di fosforo; 4) tubo di scarica in PCA; 5) protezione del collegamento; 6) collegamento elettrico; 7) attacco (fonte: Nicolini).

Nelle loro versioni più recenti, tali lampade hanno una vita media che si attesta attorno alle 10.000 ore, ma che decresce in maniera tanto più marcata quanto la loro temperatura di funzionamento si discosta dal limite massimo indicato dal costruttore; per tale motivo gli apparecchi nei quali le lampade vengono inserite devono presentare buone caratteristiche di dissipazione del calore e non devono essere costituiti da ottiche che riflettano troppa luce verso le lampade stesse al fine di evitare inopportuni stress termici.

Tra gli svantaggi che le lampade a ioduri presentano vi è anche la necessità di appositi dispositivi ausiliari, comprensivi di un accenditore in grado di fornire impulsi di tensione pari a 4-5 kV, di un alimentatore per la stabilizzazione della scarica elettrica e di un condensatore di rifasamento (Sicilia et al.; 2013).

2.1.7 Le lampade a induzione elettromagnetica

Le lampade a induzione elettromagnetica, esistenti in due diverse versioni, costituiscono una variante rispetto alle tradizionali lampade a scarica sopra presentate.

Un primo modello, schematizzato in *figura 31*, è costituito da un'ampolla di vetro, rivestita da polvere fluorescente e contenente gas inerte e una modesta quantità di mercurio, al centro della quale vi è una bobina avvolta attorno a un nucleo di ferrite;

quest'ultima, alimentata da un circuito di eccitazione esterno alla lampada, a frequenze dell'ordine dei 2,65 MHz, genera un campo magnetico in grado di produrre delle correnti indotte che contribuiscono all'eccitazione degli atomi di mercurio e alla successiva emissione di radiazioni per la maggior parte ultraviolette, che vengono successivamente convertite in radiazione luminosa grazie alla polvere fluorescente.

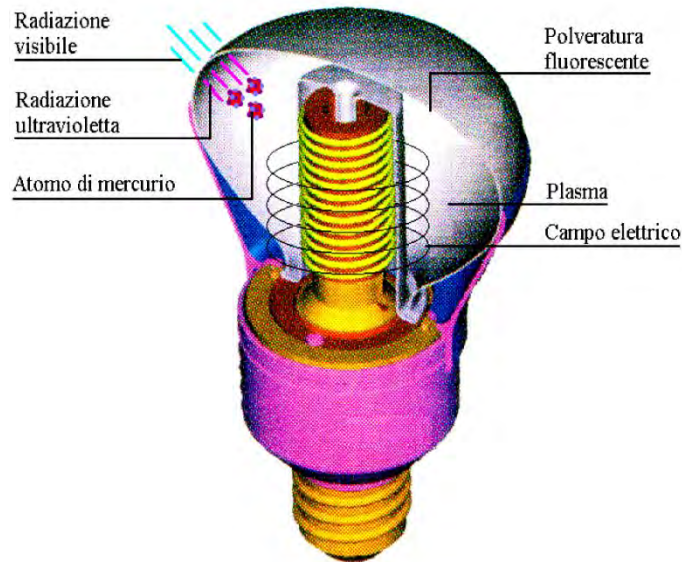


Figura 31 - Schematizzazione di una lampada a induzione elettromagnetica "ad ampolla" (fonte: Nicolini).

Per quanto concerne la seconda versione, il principio di funzionamento è il medesimo, ma le caratteristiche costruttive differiscono rispetto al modello precedente per l'adozione di un anello tubolare fluorescente all'interno del quale la scarica è indotta da due magneti toroidali, alimentati a una frequenza pari a circa 250 Hz da un alimentatore elettronico esterno alla lampada (fig. 32).

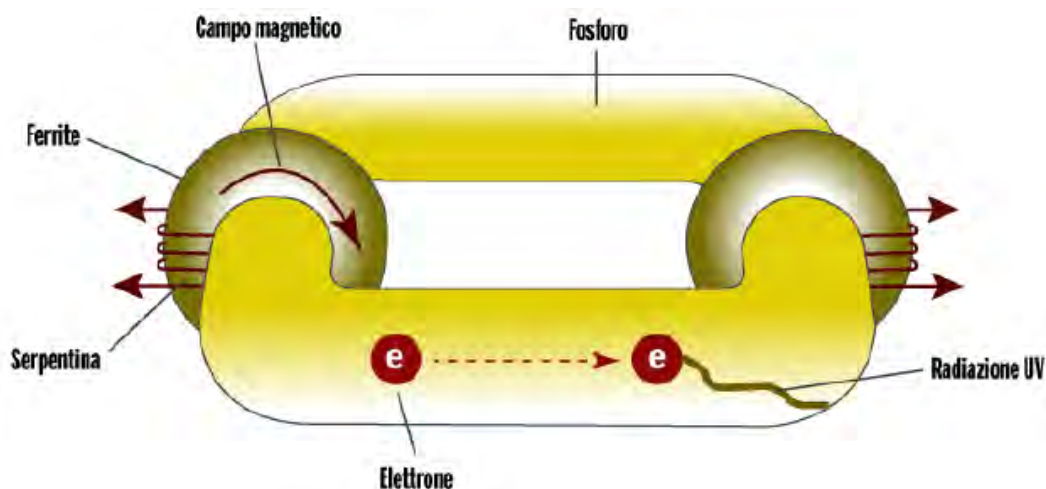


Figura 32 - Schematizzazione di una lampada a induzione elettromagnetica "ad anello" (fonte: Sicilia et al.; 2013).

Il principale vantaggio che caratterizza le lampade a induzione è dato, oltre che dal buon indice di resa cromatica, pari a circa 80, e dall'accensione immediata, soprattutto dall'elevata vita media di funzionamento, che raggiunge anche le 60.000 ore, dovuta all'assenza di parti deteriorabili quali gli elettrodi delle comuni lampade a scarica. Nonostante ciò, il costo elevato e l'efficienza luminosa non esaltante (50-80 lm/W) hanno limitato l'impiego di tali sorgenti ad applicazioni di nicchia in luoghi di difficile accesso o di difficile manutenzione (Sicilia et al.; 2013).

2.1.8 Le lampade a LED (Light Emitting Diodes)

Negli ultimi anni, lo sviluppo di dispositivi a LED sempre più performanti dal punto di vista dell'emissione luminosa ha permesso a tale tecnologia di imporsi anche in ambito illuminotecnico e di offrirsi come ottima alternativa alle lampade a scarica, tuttora maggiormente utilizzate nell'illuminazione stradale.

Un dispositivo LED è un diodo in grado di emettere, a seconda del particolare materiale semiconduttore di cui è costituito, opportunamente drogato, una luce monocromatica a banda stretta di tonalità differenti: nella tabella seguente sono riportati i materiali principalmente adottati per la realizzazione dei LED e le corrispondenti tonalità della luce emessa, per le quali è possibile fare riferimento alla figura successivamente riportata.

Tabella 5 - Materiali attualmente impiegati per la produzione di dispositivi LED
(fonte: Bisegna et al.; 2010).

Materiali semiconduttori	Colore dell'emissione del LED
AlGaAs	Rosso e IR
AlGaP	Verde
AlGaInP	Arancione-rosso brillante, arancione, giallo
AlGaN	UV vicino e lontano
AlN	UV vicino e lontano
C (diamante)	UV
GaAsP	Rosso, rosso-arancio, arancio, giallo
GaP	Rosso, giallo, verde
GaN	Verde, verde smeraldo, blu
GaN con barriera AlGaN	Blu, bianco
InGaN	Blu-verde, blu
Al ₂ O ₃ (zaffiro) come substrato	Blu
Si (silicone) come substrato	Blu (in fase di sviluppo)
SiC	Blu
ZnSe	Blu

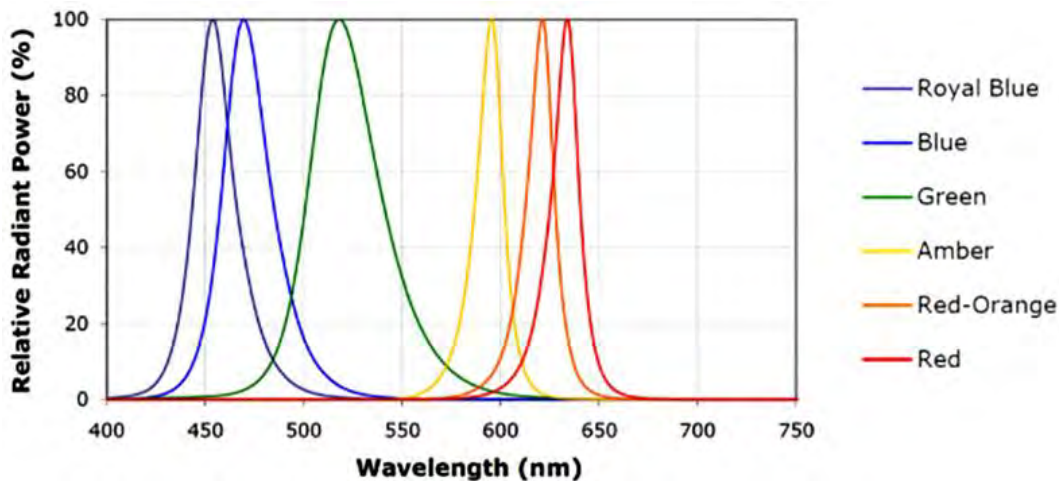


Figura 33 - Spettri caratteristici per i vari dispositivi LED (fonte: Pedrotti, 2013).

Per ottenere la luce bianca caratteristica delle lampade utilizzate in ambito stradale, i principali metodi utilizzati consistono:

- nella sintesi additiva di tre colori primari (rosso, verde e blu) caratterizzanti la luce emessa da tre diversi LED,
- nella combinazione di LED in grado di emettere luce blu e luce color ambra,
- nell'utilizzo di fosfori accoppiati a LED che emettono radiazioni ultraviolette e di tonalità tendente al blu.

Il principio di funzionamento dei dispositivi LED trova fondamento nella teoria delle bande, alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti. Considerando a titolo d'esempio il germanio, semiconduttore puro appartenente al quarto gruppo della tavola periodica degli elementi, i quattro elettroni appartenenti al livello energetico più esterno rientrano all'interno della cosiddetta banda di valenza e non partecipano al fenomeno della conduzione elettrica. Tuttavia, drogando tale materiale con un'impurità pentavalente quale il fosforo, l'antimonio o l'arsenico, ciascun atomo di tale sostanza va a formare quattro legami covalenti con altrettanti atomi di germanio, lasciando un elettrone libero di passare dalla banda di valenza a quella di conduzione, vincendo il gap energetico esistente tra le due bande, anche solo per agitazione termica: il semiconduttore così drogato viene indicato come "tipo n".

Viceversa, introducendo nel semiconduttore delle impurità trivalenti, quali il boro, l'alluminio, il gallio e l'indio, ciascun atomo della sostanza dopante va a formare quattro legami covalenti con altrettanti atomi di germanio, lasciando all'interno della banda di valenza una lacuna, assimilabile a una carica positiva mobile, che può essere occupata da un elettrone presente nella banda di conduzione: il semiconduttore così drogato viene indicato come "tipo p".

Ponendo a contatto tra di loro una barretta di materiale "tipo p" e una di materiale "tipo n", in modo da formare la cosiddetta "giunzione p-n" (fig. 34), si verifica una migrazione di elettroni dalla regione "tipo n" alla regione "tipo p" e di lacune nel verso

opposto, causata dal gradiente di concentrazione venutosi a creare e dovuto all'elevata quantità di elettroni liberi e di lacune libere presenti rispettivamente nelle due regioni. In prossimità dell'interfaccia, le lacune che diffondono verso la regione n e gli elettroni che migrano verso la regione p lasciano liberi rispettivamente degli ioni negativi e degli ioni positivi, i quali creano una differenza di potenziale che tende a far muovere gli elettroni dalla regione n alla regione p e le lacune nel senso opposto. La corrente di diffusione, causata dal gradiente di concentrazione, risulta quindi compensata dalla corrente di deriva, dovuta al campo elettrico venutosi a generare, stabilendo una condizione di equilibrio dinamico; la zona nei pressi dell'interfaccia tra le due barrette prende il nome di "zona di svuotamento".

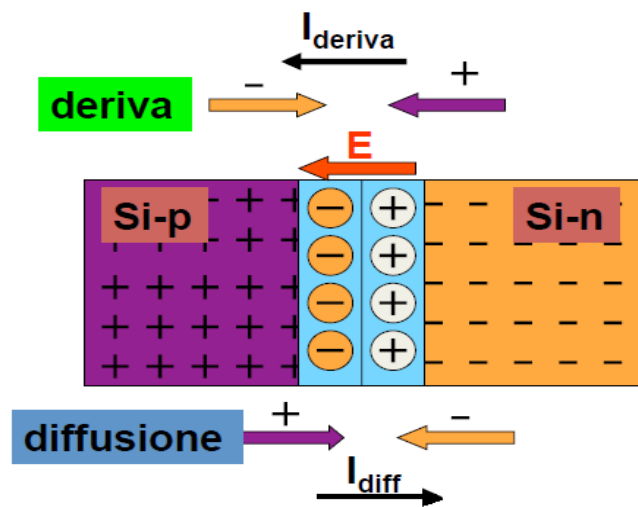


Figura 34 - Giunzione p-n (fonte: Dughiero, 2012).

Infine, sottoponendo le estremità delle due barrette a una tensione di polarizzazione diretta, come riportato in *figura 35*, superiore alla barriera di potenziale creatasi nella zona di svuotamento, la corrente di diffusione diventa più elevata rispetto a quella di deriva e gli elettroni tendono a diffondere verso la regione "tipo p", ove trovano un elevato numero di lacune alle quali ricombinarsi, passando dalla banda di conduzione alla banda di valenza e rilasciando l'eccesso di energia sottoforma di fotoni (Bisegna et al.; 2010).

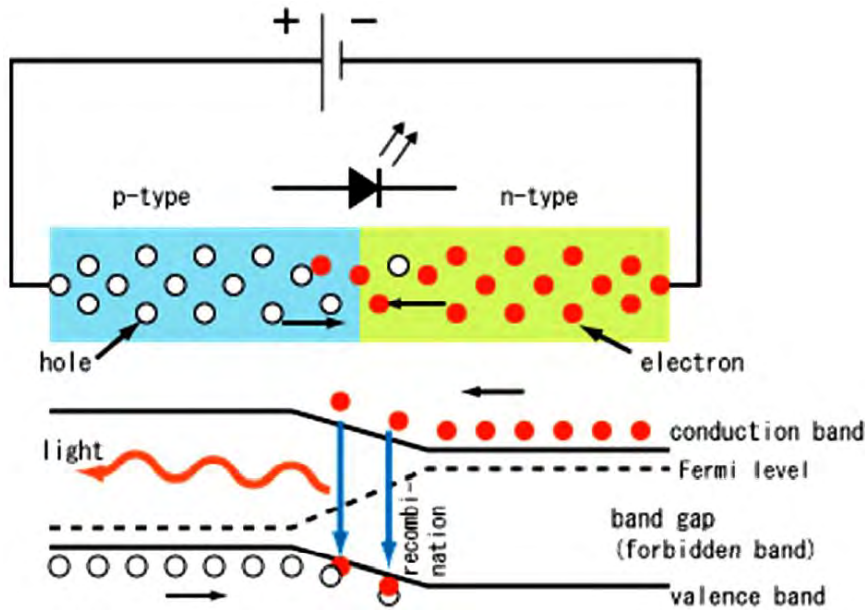


Figura 35 - Emissione di fotoni per ricombinazione delle coppie elettrone-lacuna (fonte: Pedrotti, 2013).

Dal punto di vista costruttivo, i LED utilizzati per la realizzazione delle lampade, detti anche LED di potenza o “Power LED”, sono normalmente composti dagli elementi riportati nella figura seguente.

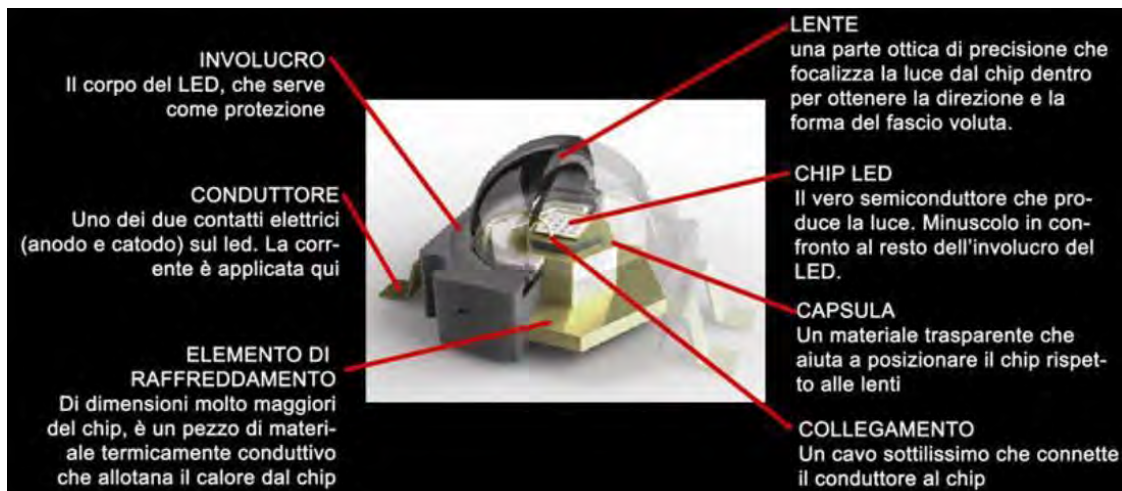


Figura 36 - Struttura di un Power LED (fonte: Bisegna et al.; 2010).

Tra i vantaggi che le lampade a LED attualmente utilizzate in ambito stradale presentano vi sono:

- l'elevata durata di funzionamento, mediamente pari a 50.000 ore;
- l'elevata efficienza luminosa, che arriva anche a 120 lm/W;
- un buon indice di resa cromatica, che assume valori compresi tra 60 e 80;
- l'assenza di sostanze pericolose;
- le dimensioni ridotte.

Tra gli svantaggi vi sono invece la forte direzionalità del fascio di luce emesso dai dispositivi LED, la quale rende necessaria l'adozione di opportune ottiche diffondenti, e i costi ancora elevati rispetto alle tradizionali lampade a scarica, ma con incoraggianti prospettive di riduzione nei prossimi anni a fronte del continuo sviluppo tecnologico che sta interessando tale tipologia di sorgente (Bisegna et al., 2010; Sicilia et al., 2013).

2.2 Apparecchi di illuminazione

Un apparecchio di illuminazione, spesso indicato anche con il termine "armatura" è un dispositivo che svolge una duplice funzione: protegge la sorgente luminosa, gli ausiliari elettrici e le relative connessioni dagli agenti atmosferici e modifica la ripartizione del flusso luminoso emesso dalla sorgente stessa a seconda delle esigenze, attraverso particolari forme del riflettore e opportune ottiche dell'eventuale rifrattore, evitando l'insorgere di fenomeni di abbagliamento.

I principali requisiti ai quali gli apparecchi per l'illuminazione stradale devono rispondere constano nella buona resistenza all'azione meccanica e chimica degli agenti atmosferici, la quale rende maggiormente idonea l'adozione di materiali come le resine, le leghe d'alluminio e l'acciaio inox, nella conservazione nel tempo delle caratteristiche fotometriche, nella facilità di installazione e di manutenzione, nella sicurezza nei confronti del personale addetto e dei terzi e, in ultima battuta, in questioni di carattere estetico.

Alcuni esempi di armature stradali comunemente utilizzate sono riportati nelle figure sottostanti, indicative delle due principali categorie di apparecchiature esistenti: la prima comprende tutti i dispositivi aperti, i cui corpi fungono da riflettore e da protezione della lampada solo per quanto riguarda la parte superiore; la seconda incorpora invece gli apparecchi chiusi, in grado di fornire protezione sia dall'acqua che dalla polvere, rendendo necessaria una minor manutenzione del vano ottico.

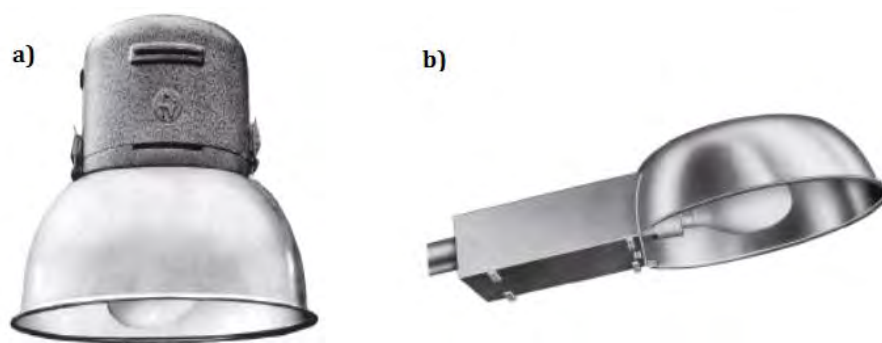


Figura 37 - Apparecchi aperti: a) con gonnella; b) di tipo ogivale (fonte: Sicilia et al.; 2013).

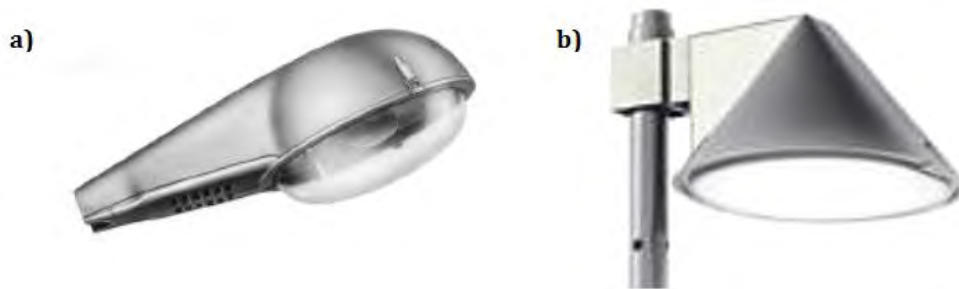


Figura 38 - Apparecchi chiusi: a) di tipo ogivale; b) di arredo urbano (fonte: Sicilia et al.; 2013).

A ciascun apparecchio di illuminazione, comprensivo della sorgente luminosa, corrisponde un determinato solido fotometrico, indicativo della ripartizione spaziale dell'intensità luminosa a esso associata. In genere i costruttori forniscono delle rappresentazioni fotometriche che prendono il nome di *diagrammi polari* e sono ottenute sezionando, lungo opportune *indicatrici di emissione*, il solido fotometrico associato al corpo illuminante considerato; normalmente, le sezioni di maggior interesse sono quelle riferite al piano trasversale dell'apparecchio, indicato nella figura sotto riportata con C0-C180 secondo il sistema CIE, e al piano longitudinale dello stesso, indicato con C90-C270. In particolare, il primo piano si sviluppa lungo l'asse longitudinale della strada, mentre il secondo si sviluppa in direzione trasversale.

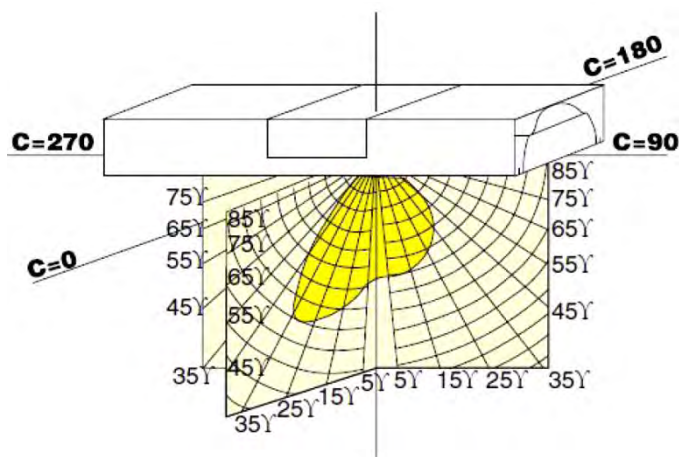


Figura 39 - Sezioni più rilevanti del solido fotometrico associato a un apparecchio di illuminazione (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Come si evince dal diagramma polare proposto a titolo d'esempio nel seguito, gli apparecchi per l'illuminazione stradale sono caratterizzati da una ripartizione delle intensità luminose lungo il piano trasversale "ad ala di pipistrello" (linea rossa), in modo che le intensità massime emesse dai corpi illuminanti stessi risultino radenti alla strada in entrambi i sensi di marcia e le intensità luminose riflesse dalla pavimentazione in direzione dell'osservatore siano massime, badando a rispettare i limiti ammessi in termini di abbagliamento.

Per quanto concerne invece il piano passante per l'asse longitudinale dell'apparecchio, la ripartizione delle intensità luminose (linea blu) deve essere tale da interessare la

strada in tutta la sua larghezza, interrompendosi bruscamente al di là di un determinato angolo in modo da limitare l'illuminazione delle zone adiacenti ed evitare un eccessivo spreco di luce.

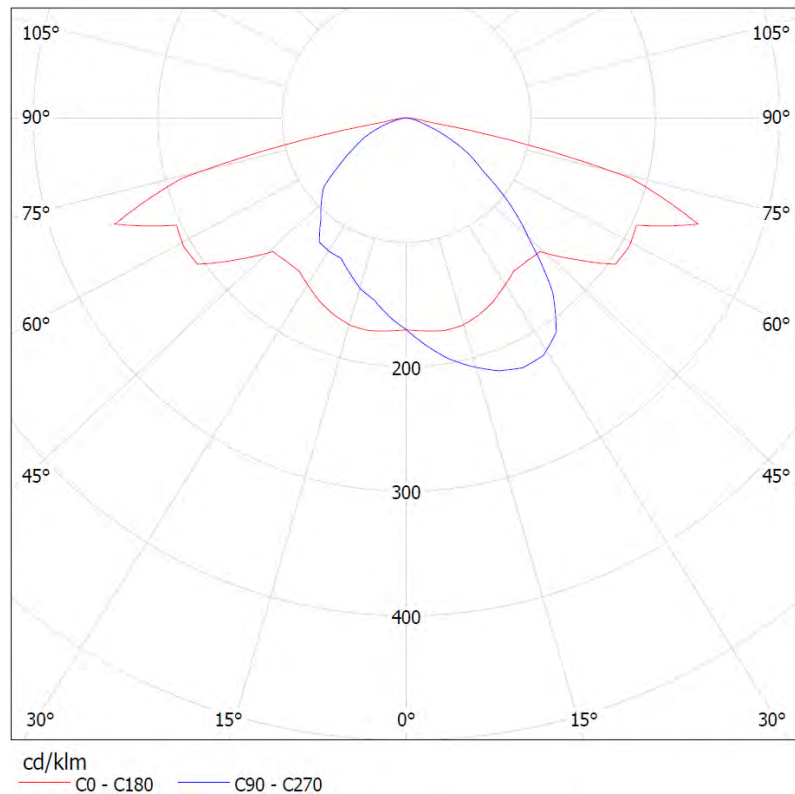


Figura 40 - Esempio di diagramma polare per un corpo illuminante ad uso stradale: la linea rossa è riferita al piano trasversale dell'apparecchio, la linea blu al piano longitudinale (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Un ulteriore sistema di rappresentazione fornito dai costruttori di lampade, di minor immediatezza rispetto al diagramma polare, fa uso di coordinate cartesiane e riporta l'angolo di riferimento sull'asse delle ascisse e i corrispondenti valori delle intensità luminose sull'asse delle ordinate: il diagramma cartesiano relativo allo stesso apparecchio a cui fa riferimento il diagramma polare sopra presentato è riportato nella figura seguente per le stesse sezioni considerate in precedenza (Fellin et al., 1999; Grattieri et al., 2012).

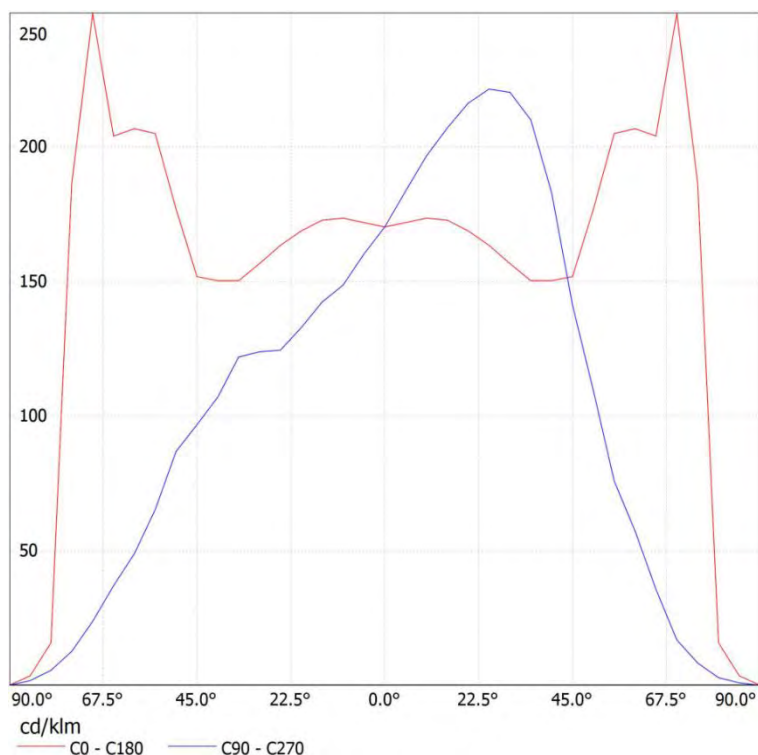


Figura 41 - Esempio di diagramma cartesiano per un corpo illuminante ad uso stradale: la linea rossa è riferita al piano trasversale dell'apparecchio, la linea blu al piano longitudinale (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

2.3 Sistemi di comando

I sistemi di comando installati negli impianti di illuminazione hanno lo scopo di garantire il corretto funzionamento dei punti luce in termini di accensione e spegnimento, evitando inopportuni sprechi di energia. Essi si suddividono in manuali, se eseguiti da un operatore, e in automatici, se effettuati mediante sistemi a orario o mediante interruttori crepuscolari, e possono essere classificati come locali, se agenti su singoli corpi illuminanti o circuiti, oppure come centralizzati, se agenti su grandi complessi da un unico punto.

Nella figura sotto riportata è presentato lo schema elettrico del quadro di alimentazione e di comando di un circuito trifase destinato all'illuminazione pubblica; come si può notare dalla stessa, il sistema di comando maggiormente diffuso prevede l'adozione di un interruttore crepuscolare comprensivo di una fotoresistenza normalmente realizzata in solfuro di cadmio, materiale che ha la proprietà di assumere valori di resistenza inversamente proporzionali rispetto al flusso luminoso che lo investe.

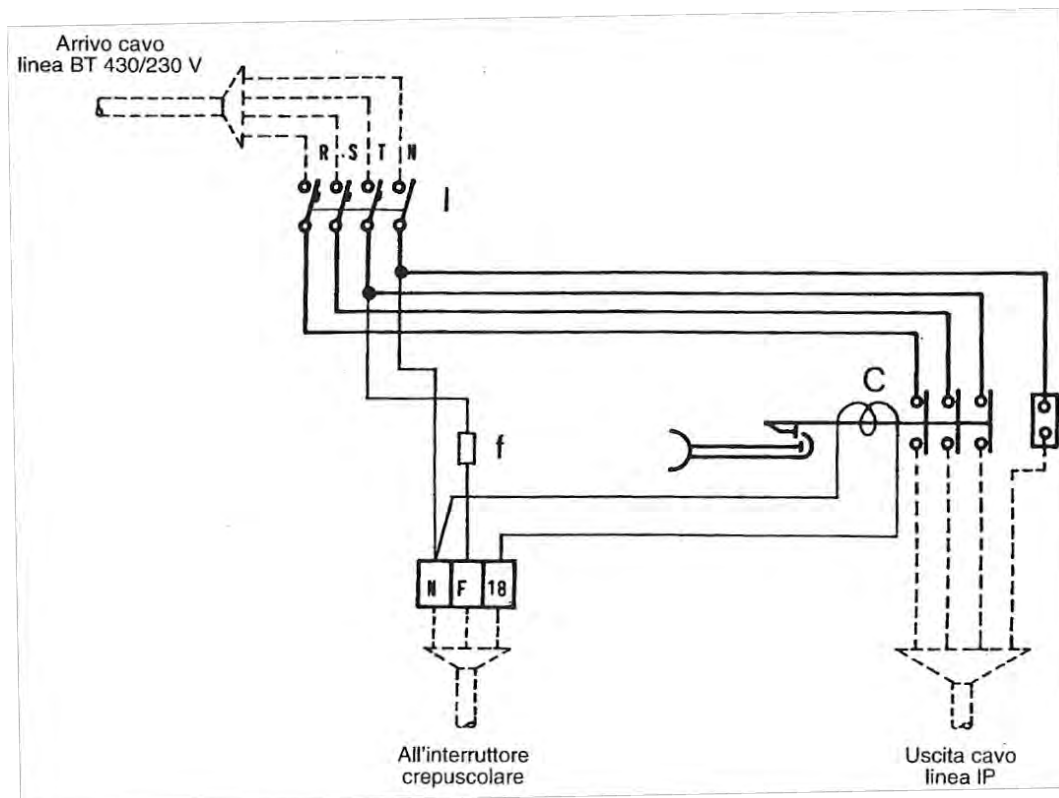


Figura 42 - Schema del quadro di alimentazione e di comando di un circuito trifase dedicato all'illuminazione pubblica (fonte: Fellin et al.; 1999).

Come si evince dagli schemi di dettaglio riportati in *figura 43*, la suddetta cellula fotoelettrica agisce di concerto con una lamina bimetallica, la quale apre e chiude il contatto tra il sistema di alimentazione e il circuito sul quale sono attestati i punti luce da comandare.

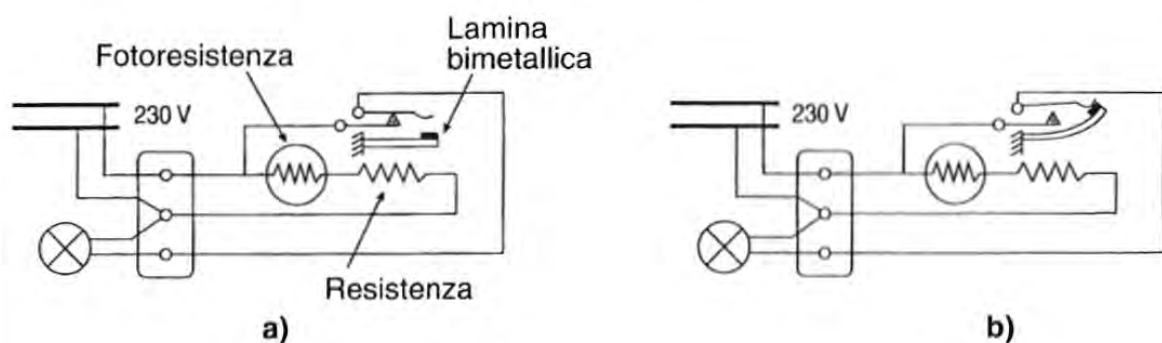


Figura 43 - Schema di funzionamento di un interruttore crepuscolare a lamina bimetallica: a) situazione notturna; b) situazione diurna (fonte: Fellin et al.; 1999).

In particolare, nella situazione notturna (caso a) la fotoresistenza, non essendo colpita dalla luce, assume un valore di resistenza elevato tale da non far passare una corrente sufficiente a riscaldare la resistenza della lamina bimetallica, garantendo l'afflusso di corrente ai punti luce; al contrario, nella situazione diurna (caso b) i bassi valori di

resistenza assunti dalla cellula fotoelettrica consentono il passaggio di una corrente sufficiente a riscaldare la resistenza della lamina bimetallica, la quale entra in azione escludendo il contatto di alimentazione dei corpi illuminanti.

Per evitare l'instabilità del sistema di comando, solitamente il livello di intervento degli interruttori crepuscolari posti su ciascun punto di consegna dell'energia viene fissato dal costruttore entro un intervallo compreso tra 10 e 50 lux, con tolleranze dell'ordine del 60%.

La vita di un interruttore crepuscolare è mediamente superiore agli otto anni; tuttavia, per garantire un corretto funzionamento, esso necessita di una frequente manutenzione volta a eliminare il pulviscolo che progressivamente si deposita sulla cellula fotoelettrica e che, a lungo andare, ne compromette la funzionalità.

Un secondo sistema di comando sovente utilizzato in alternativa al precedente è costituito da interruttori a orologio astronomico, dotati di un automatismo che varia di giorno in giorno l'orario di inserimento e di disinserimento dell'impianto in relazione al variare della durata delle ore di luce e di buio nel corso delle stagioni.

Tale sistema non è affetto dagli inconvenienti legati alle condizioni atmosferiche, tuttavia richiede una messa a punto periodica necessaria per correggere eventuali anticipi e ritardi nell'accensione e nello spegnimento dell'impianto di illuminazione.

2.4 Stabilizzazione della tensione e regolazione del flusso luminoso

Tra le sopra citate lampade impiegate nell'illuminazione stradale, alcune, come quelle a vapori di sodio ad alta pressione, a ioduri metallici e a ciclo di alogeni, sono sensibili alle oscillazioni della tensione di alimentazione al di sopra del valore nominale, fattore che ne influenza negativamente la durata e le prestazioni nel tempo.

Per ovviare a tali problematiche, nel corso degli anni si sono diffuse delle apparecchiature centralizzate in grado non solo di stabilizzare la tensione di funzionamento, ma anche di operare una opportuna riduzione del flusso luminoso emesso dalle lampade in opportuni intervalli temporali nel corso del funzionamento notturno.

In particolare, tali apparecchiature si distinguono in due principali tipologie a seconda del principio di funzionamento su cui si basano: esistono infatti riduttori a induttanze variabili e riduttori a taglio di fase.

La prima tipologia, a cui fa riferimento lo schema di *figura 44*, prevede l'inserimento, in serie su ciascuna fase, di induttanze variabili controllate elettronicamente in modo da fornire costantemente alle lampade la tensione desiderata indipendentemente da quella di alimentazione; modificando i valori di induttanza è possibile inoltre ridurre la tensione fornita ai corpi illuminanti al fine di limitare la potenza assorbita dagli

stessi e conseguire così un risparmio di energia proporzionale alla durata e all'entità della riduzione effettuata. La regolazione può avvenire simultaneamente sulle tre fasi, in base al confronto tra la media dei rispettivi valori e la tensione assunta come campione, oppure in maniera indipendente per ogni singola fase.

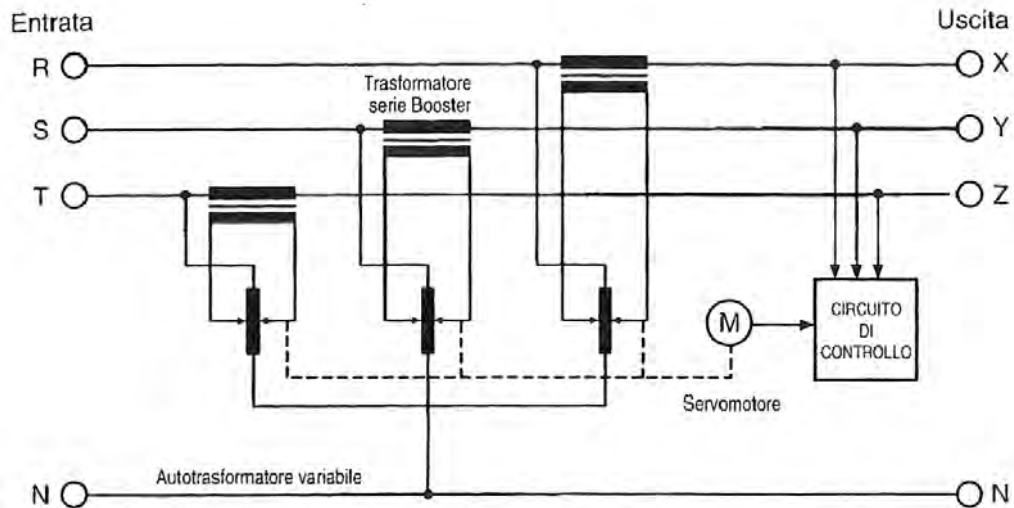


Figura 44 - Sistema di stabilizzazione e di riduzione della tensione mediante induttanze variabili (fonte: Fellin et al.; 1999).

La seconda tipologia è costituita da un dispositivo elettronico, detto regolatore di fase, in grado di ridurre la durata delle semionde di tensione in maniera tanto più marcata quanto maggiore è la parzializzazione desiderata; come si evince dai diagrammi di *figura 45*, la corrente assorbita dalla lampada risulta quindi ridotta rispetto alle condizioni di funzionamento nominale, garantendo una proporzionale diminuzione della potenza assorbita (Fellin et al.; 1999).

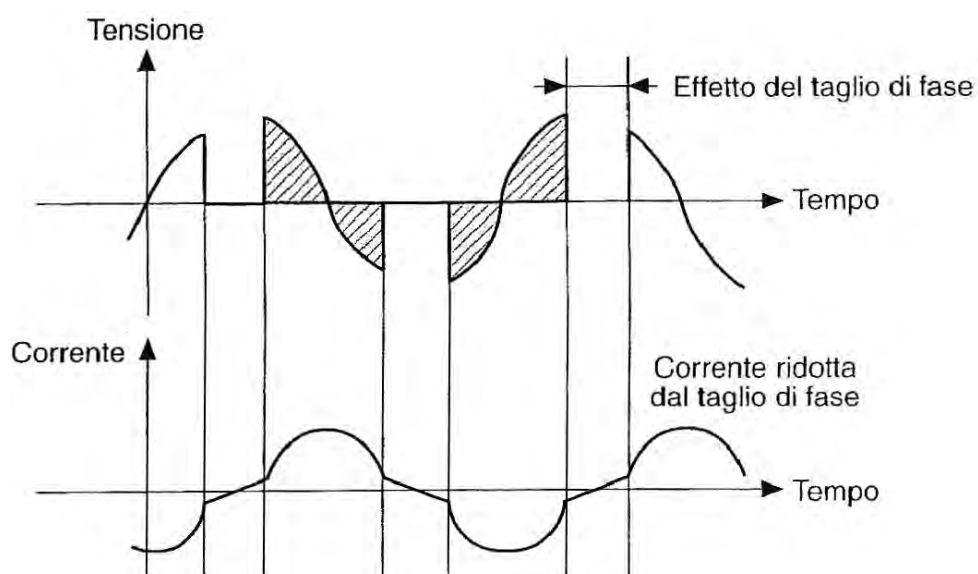


Figura 45 - Regolazione della tensione mediante sistema "a taglio di fase" (fonte: Fellin et al.; 1999).

Nonostante tali riduttori centralizzati siano ancora parecchio diffusi, essi presentano un inconveniente che ne limita la funzionalità; infatti, se vengono installati su linee che comprendono un numero elevato di punti luce, è possibile che la caduta di tensione generata sulle ultime lampade del circuito sia troppo elevata per garantirne il corretto funzionamento, provocando anche spegnimenti indesiderati nei casi in cui la tensione diventi inferiore a circa 175 V, valore limite per le lampade a scarica ad alta pressione. Per ovviare a tale fenomeno, negli ultimi anni sono stati sviluppati nuovi regolatori di flusso di tipo elettronico da installare sui singoli punti luce, in maniera da svincolare il funzionamento di ciascuna lampada rispetto al contesto. Detti dispositivi sono in grado di comunicare con un centro di gestione da remoto e consentono inoltre l'eliminazione di tutte le apparecchiature ausiliarie necessarie per l'accensione, l'alimentazione e il rifasamento delle comuni lampade a scarica, andando a migliorare notevolmente l'efficienza del corpo illuminante nel suo complesso.

Proprio per gli enormi vantaggi che tali dispositivi offrono, l'adozione dei regolatori di flusso elettronici costituisce uno degli elementi fondanti delle considerazioni inerenti i risparmi energetici conseguibili per un'intera rete di illuminazione pubblica comunale che saranno descritte a partire dal capitolo seguente.

Capitolo 3

Riqualificazione della rete di illuminazione pubblica di Breda di Piave

3.1 Introduzione

Breda di Piave è un piccolo comune di origine medievale esteso per circa 25,6 chilometri quadrati nella pianura trevigiana e situato tra gli 11 e i 27 metri sul livello del mare, in direzione nord-est rispetto alla provincia di Treviso (dati ISTAT, 2004); come si può notare nella piantina sotto riportata, i suoi 7.841 abitanti si distribuiscono nel capoluogo, Breda di Piave, e nelle quattro frazioni di Vacil, Pero, San Bartolomeo e Saletto (www.comune.bredadipiave.tv.it).



Figura 46 - Comune di Breda di Piave (fonte: www.comune.bredadipiave.tv.it).

Lo stemma comunale stesso (*fig. 47*), che consiste in uno scudo sannitico colorato d'azzurro, raffigurante un castello rosso merlato di sei "alla guelfa", munito di una torre merlata di tre "alla guelfa" e fondato su campagna di verde al naturale, si rifà al fortilizio attorno a cui gravitò nel Medioevo la vita del capoluogo.



Figura 47 - Stemma comunale (fonte: Simionato, 2002).

L'insediamento abitativo con assetto fondiario crebbe tuttavia nel corso del romanesimo, quando gli atteggiamenti bellicosi delle popolazioni d'oltralpe giustificarono la realizzazione di nuove vie militari costantemente sorvegliate da guarnigioni; l'etimologia stessa del nome Breda, derivante dal termine latino "Brayda", richiama i "praedia", ovvero i terreni concessi sia a coloro i quali servirono nell'esercito, sia alla collettività come stimolo alla colonizzazione.

Come diretta conseguenza, il territorio e le zone limitrofe si svilupparono in stretto rapporto con l'organizzazione economica e sociale dei Romani e la nuova rete viaria asservì ai traffici commerciali che collegavano l'altoadriatico e il continente; le arterie principali si identificavano nella Callalta, posta a sud, e nella via Claudia Augusta Altinate, la quale attraversava gli attuali territori del bellunese e del trentino fino al Danubio e si intersecava con la via Postumia, crocevia dei transiti commerciali tra Aquileia e Genova (*fig. 48*).



Figura 48 - Centuriazione romana del Trevigiano (fonte: Simionato, 2002).

Anche la toponomastica attuale di molteplici vie del comune rivela quale sia stata l'influenza dell'egemonia romana sul territorio; infatti, molte di esse in passato costituivano, nelle maglie centuriate, delle "calles", se parallele ai cardini, oppure dei "limites", se parallele ai decumani. L'appellativo dell'attuale via Levada, ad esempio, trae origine da "callis alta", in quanto essa si trova in posizione elevata sul piano di campagna; sinonimo dell'appoderamento ortogonale sono inoltre le "Crosere" di S. Pietro, località a nord-ovest del paese, quelle di S. Bartolomeo nella frazione omonima e le "Crosere ferrare" di Pero; l'odonomo di via Termine è riferibile invece a un cippo confinario associato alla suddivisione agricola romana e alcune vie di Pero, quali via Marche, via Code e vicolo Cannaregio sono connessi a nomi di coltivazioni, acquitrini e zone selvose (Simionato, 2002).

L'insistenza del traffico veicolare odierno sugli antichi tracciati romani e altomedievali risente della carenza di tangenziali e di strade di scorrimento adeguate all'entità dei

traffici pesanti riscontrata; la maggior parte delle tratte presenti nel territorio è costituita infatti da strade comunali, mentre solamente una ventina di chilometri sui circa 65 totali comprendono tre strade provinciali. Di queste, due collegano Breda di Piave con Treviso passando per il territorio comunale di Carbonera, mentre la rimanente corre lungo l'argine del fiume Piave da Candelù a Bocca Callalta, frazioni rispettivamente dei comuni limitrofi di Maserada e San Biagio di Callalta, attraversando San Bartolomeo e Saletto (fig. 49). Eccetto qualche tratta, dunque, la ristrettezza delle carreggiate, la pericolosità di molteplici curve notevoli e la criticità di molti incroci non consentono percorrenze sufficientemente rapide e sicure, in particolare nelle buie ore tardo-pomeridiane e serali caratterizzanti il periodo invernale.

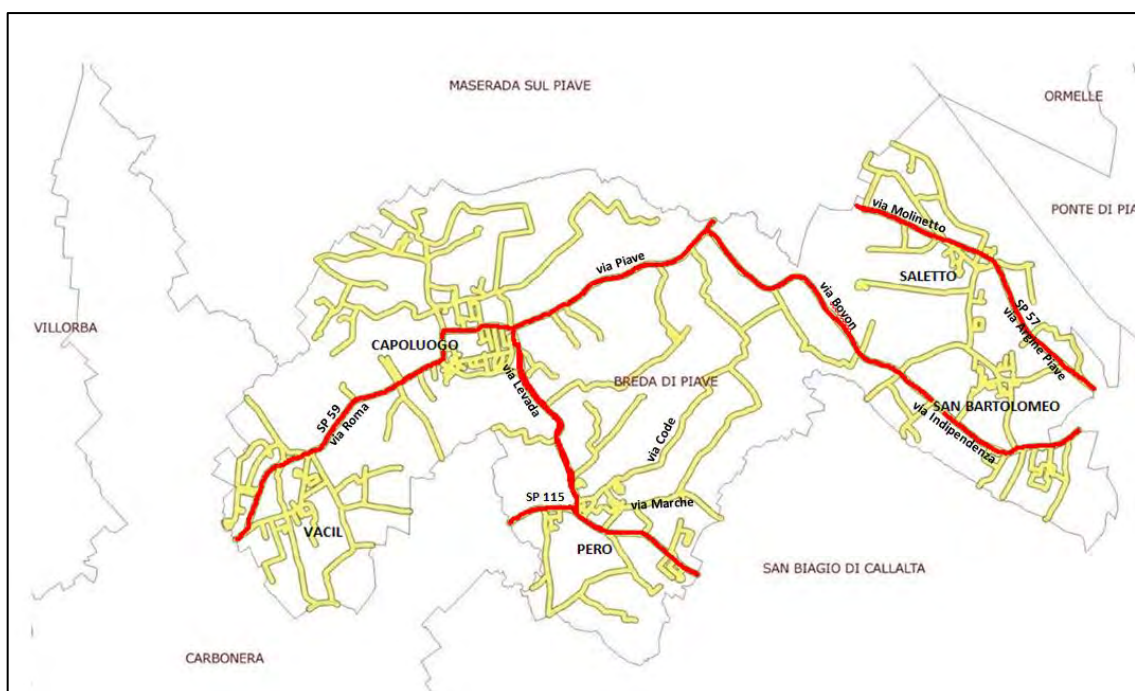


Figura 49 - Strade provinciali (in rosso) e vie caratteristiche (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

A ciò si aggiunge la difficoltà nel conciliare le esigenze di pendolarismo con il servizio di trasporto pubblico, derivante dal fatto che molte attività lavorative si svolgono entro i limiti comunali o in zone limitrofe e che le fasce a maggior densità abitativa non sempre sono associate alle strade con andamento radiale rispetto al polo Treviso: la conseguente propensione all'utilizzo dell'automobile quale mezzo di spostamento va dunque a incidere in maniera importante sull'entità del traffico veicolare presente.

Ad aggravare la situazione nel recentissimo periodo ha contribuito, infine, il poco florido periodo in cui verte l'economia del Paese, che ha costretto il Comune ad attuare politiche di risparmio energetico anche a costo di effettuare azioni poco virtuose dal punto di vista della sicurezza stradale, quali lo spegnimento di molti corpi illuminanti.

Alla luce di tali considerazioni, i paragrafi seguenti presentano una possibile soluzione di riqualificazione della rete di illuminazione pubblica comunale, realizzata allo scopo di associare al contenimento della spesa energetica una politica di gestione dei punti luce intelligente, garantendo contestualmente il pieno rispetto dei requisiti illuminotecnici suggeriti dalle norme vigenti.

3.2 Stato di fatto della rete di illuminazione pubblica comunale

La descrizione riportata nella presente sezione, inerente lo stato di consistenza in cui verte l'impianto di illuminazione pubblica di Breda di Piave, fa riferimento ai dati reperiti all'interno del portale del Consorzio dei Comuni del Bacino Imbrifero Montano del Piave appartenenti alla Provincia di Treviso, noto come Consorzio B.I.M. Piave; tale portale mette a disposizione un WebGIS, ovvero un sistema informativo geografico accessibile dal web, il quale fornisce, tra i vari servizi di localizzazione e di contabilizzazione, anche l'odonomastica del territorio comunale e, per ciascuna via, il numero, la tipologia, le caratteristiche e il quadro elettrico di riferimento dei vari punti luce esistenti.

Consultando la mappa del portale, della quale le *figure 50 e 51* sotto riportate costituiscono un estratto, si evince che nel comune sono presenti 1.372 apparecchi di illuminazione (in rosa), sottostanti a un totale di 68 quadri elettrici (in rosso) e distribuiti lungo un centinaio di strade; come è logico aspettarsi, i punti luce si concentrano nei centri abitati, i quali sono stati suddivisi per semplicità in settori evidenziati da rettangoli rossi: i settori 1, 2, 3 e i settori 5 e 6 inglobano rispettivamente i centri di Vacil, Breda di Piave, Pero, San Bartolomeo e Saletto, mentre il settore 4 comprende l'impianto di illuminazione di due vie nevralgiche quali via Piave e via Bovon.

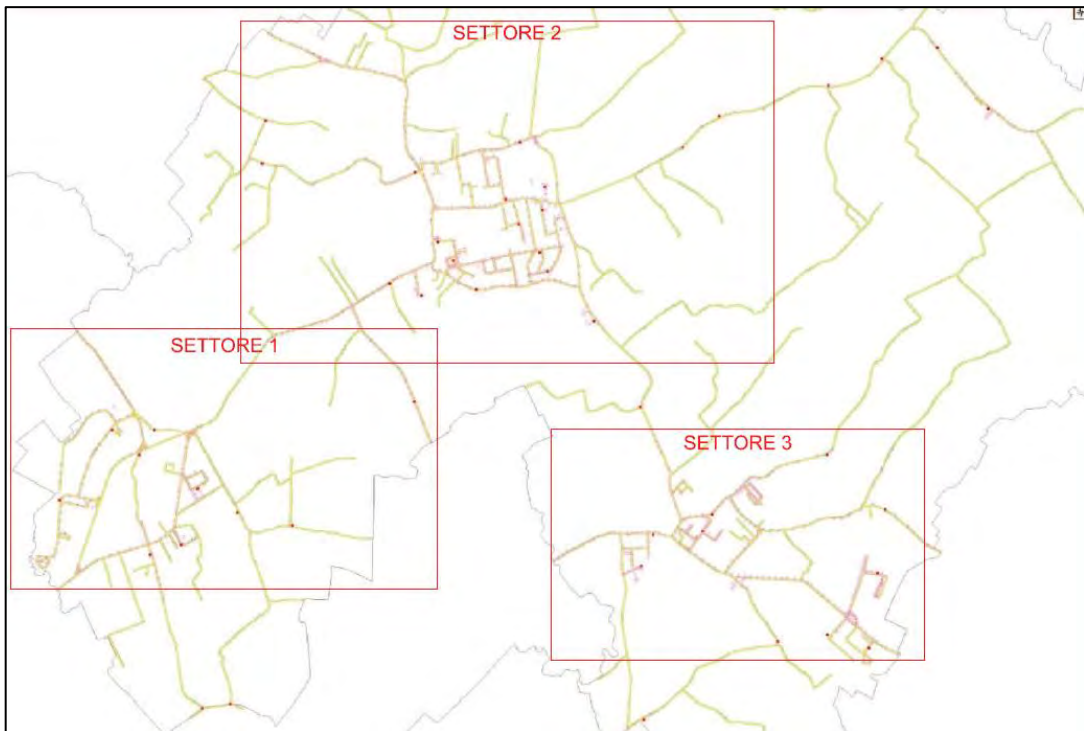


Figura 50 - Suddivisione del comune in settori: settori 1, 2 e 3 (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

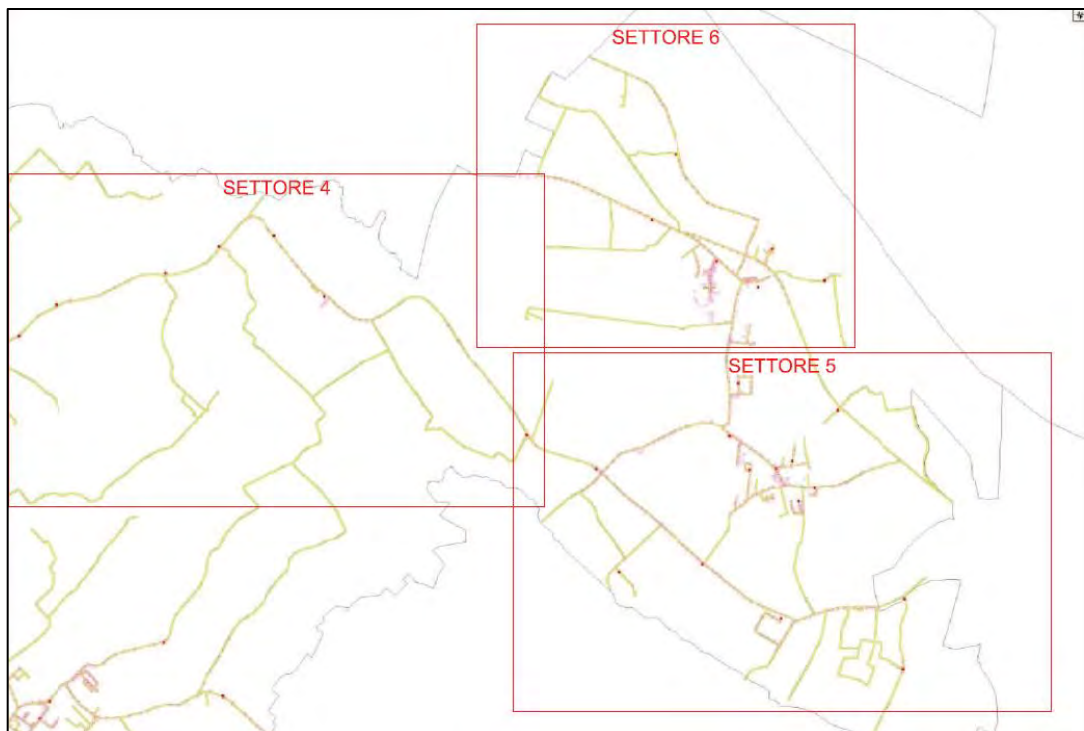


Figura 51 - Suddivisione del comune in settori: settori 4, 5 e 6 (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

In particolare, una classificazione dettagliata dei punti luce esistenti comprende:

- 1.098 lampade a vapori di sodio ad alta pressione (SAP), di cui 152 da 70 W, 944 da 100 W e due da 150 W;

- 169 lampade a vapori di mercurio (VM), tutte aventi potenza pari a 125 W;
- 48 lampade a LED da 36 W;
- 35 lampade fluorescenti da 42 W;
- 21 lampade a ioduri metallici da 150 W;
- una lampada a vapori di sodio a bassa pressione (SOX) da 26 W.

Il grafico seguente riporta inoltre la percentuale associata a ciascuna delle categorie di lampade sopra elencate rispetto all'ammontare dei corpi illuminanti esistenti.

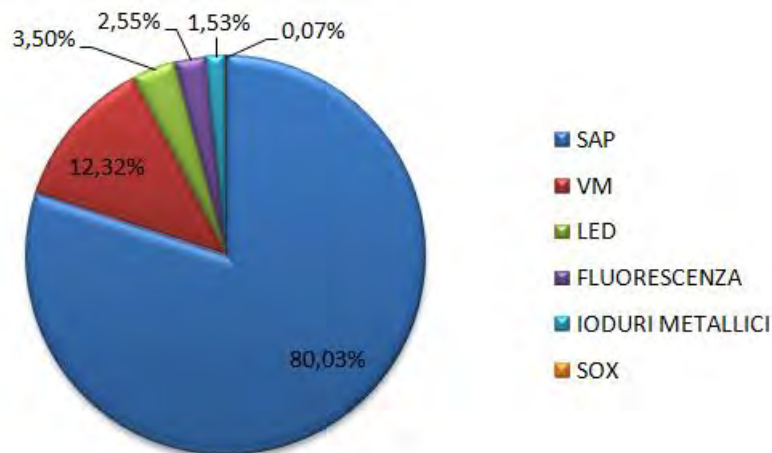


Figura 52 - Suddivisione dei corpi illuminanti esistenti.

Le 48 lampade a LED sopra elencate costituiscono parte integrante di un intervento di ammodernamento dell'impianto di illuminazione di via Indipendenza, strada situata all'interno del SETTORE 5 e riportata nella mappa di *figura 53*, avvenuto nell'ambito di un appalto affidato dal Comune in data 10 ottobre 2012; la realizzazione di tale intervento, che ha consentito di ridurre notevolmente i consumi energetici della via interessata grazie alla sostituzione delle vecchie lampade con altrettante sorgenti maggiormente efficienti e di potenza nominale inferiore, a parità di flusso luminoso emesso, costituisce un valore aggiunto anche in termini di punteggio conseguibile dal progetto di riqualificazione energetica proposto nell'ambito del bando regionale di cui all'introduzione. Infatti, tra i criteri specifici di selezione riportati nell'Allegato A alla Dgr n. 1421 del 05 agosto 2014, se l'intervento in oggetto si inserisce nell'ambito di precedenti iniziative intraprese dall'Amministrazione Comunale finalizzate a incrementare l'efficienza energetica del sistema di illuminazione, esso acquisisce due punti utili ai fini della graduatoria.



Figura 53 - Estratto di via Indipendenza (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

Un'ulteriore opera di virtuosismo dal punto di vista del risparmio energetico, effettuata però dal Comune in data meno recente rispetto a quella sopra citata, è riconducibile alla presenza di sette riduttori di potenza centralizzati, installati a livello di quadro, e di 35 alimentatori elettronici, in grado di effettuare la regolazione della potenza assorbita, montati su altrettante lampade a vapori di sodio ad alta pressione situate in via S. Pio X e in via Trento e Trieste, all'interno del SETTORE 1.

I riduttori centralizzati non sono tra loro coevi, infatti tre di essi sono stati acquistati nel 2006, mentre i rimanenti risalgono a una ventina di anni fa; inoltre, uno di essi si distingue per essere collegato alla rete di distribuzione monofase, al contrario degli altri sei i quali sono tutti trifase.

In particolare, la logica su cui si basa il funzionamento di tali riduttori consiste nella riduzione della tensione fornita alla linea sulla quale sono attestate le lampade controllate, in maniera tale da ridurre la potenza assorbita dalle lampade nelle ore centrali della notte rispetto alle condizioni nominali; ciò è reso possibile grazie all'orologio astronomico accoppiato a ciascun riduttore, il quale è in grado di calcolare l'esatto momento nel quale far avvenire la riduzione a seconda del periodo dell'anno.

Occorre tuttavia sottolineare che non tutti gli apparecchi centralizzati esistenti sono attualmente funzionanti poiché i riduttori posti in via Antelao e di via Masotti risultano guasti da più di due anni, mentre i riduttori restanti, seppur in grado di svolgere ancora la loro funzione, sono oramai obsoleti e, a causa della frequente manutenzione di cui necessitano, è prevista una loro rimozione a breve.

Il dettaglio di quanto appena esposto è riportato nella tabella seguente; nelle due figure successive sono inoltre proposte due fotografie rappresentanti rispettivamente un riduttore di vecchia concezione, situato in via Roma, e un riduttore più recente, posto in via Antelao.

Tabella 6 - Dettaglio riduttori di potenza centralizzati.

Tipologia di riduttore	Quadro elettrico	Via	Località	Settore	Vie gestite	N° di lampade gestite	Età	Stato
Monofase	Q12	Antelao	Breda di Piave	2	Antelao - Marmolada - Monte Bianco	13	Recente	Guasto
Trifase	Q14	Roma	Breda di Piave	2	Roma - Cal di Breda - Moretti	41	Vecchio	Funzionante
Trifase	Q33	dell'Artigianato	Pero	3	dell'Artigianato - IV novembre - Interna - della Vittoria	41	Vecchio	Funzionante
Trifase	Q46	Sg.te Davanzo	San Bartolomeo	5	Sg.te Davanzo - dei Salici	56	Recente	Funzionante
Trifase	Q55	Chiesa	Saletto	6	Chiesa - Argine Piave - Casette - Molinetto - P.zza Vittorio Veneto	57	Vecchio	Funzionante
Trifase	Q58	Pozzi	Saletto	6	Pozzi	51	Recente	Funzionante
Trifase	Q62	Masotti	Vacil	1	Masotti - Pozzetti - Cal di Breda - Brugnotto - Serenissima	60	Vecchio	Guasto



Figura 54 - Riduttore di potenza di via Roma.



Figura 55 - Riduttore di potenza di via Antelao.

Per quanto riguarda i consumi della rete di illuminazione pubblica comunale, l'analisi dei dati storici disponibili rivela una netta differenza tra il 2013 e gli anni precedenti, giustificata dalla sopra citata iniziativa di spegnimento di alcuni punti luce ai fini della riduzione della spesa energetica avviata con provvedimento datato 28 marzo 2013.

Facendo riferimento alla tabella riportata nell'*Appendice A*, i cui valori sono relativi a ciascun mese del 2011, anno considerato ben rappresentativo del trend storico, si evince un consumo annuo di circa 572.505 kWh, corrispondente a un esborso economico pari a circa 122.226 euro.

Nel 2013, invece, a fronte della politica di risparmio che ha portato allo spegnimento di circa 655 punti luce, il consumo e la relativa spesa rilevati risultano rispettivamente pari a circa 343.306 kWh e 80.677 euro.

Infine, un'ulteriore nota di rilievo per quanto concerne lo stato di consistenza dell'impianto di illuminazione riguarda la presenza su tutto il territorio comunale di 35 pali di sostegno in cemento, ai quali è associata una rilevante condizione di rischio legata alla possibilità di verificarsi di sinistri stradali in prossimità degli stessi: anche la loro sostituzione a favore di sostegni più sicuri costituisce un elemento rilevante ai fini della riqualificazione del sistema di illuminazione comunale.

Tabella 7 – Anagrafe dei pali in cemento (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

Via	Quadro	Punto luce	Altezza palo [m]	Tipo di palo
PIAVE	Q2	Q2_36	8,00	Cemento a Braccio
SAN PIO X	Q2	Q2_37	8,00	Cemento a Braccio
EUROPA	Q4	Q4_92	8,00	Cemento
EUROPA	Q4	Q4_93	8,00	Cemento
EUROPA	Q4	Q4_94	8,00	Cemento
EUROPA	Q4	Q4_95	8,00	Cemento
EUROPA	Q4	Q4_96	8,00	Cemento
ROMA	Q16	Q16_342	8,00	Cemento
ROMA	Q16	Q16_343	8,00	Cemento
TRENTO E TRIESTE	Q16	Q16_344	8,00	Cemento
TRENTO E TRIESTE	Q16	Q16_345	8,00	Cemento
BOVON DI BREDA	Q24	Q24_418	8,00	Cemento a Braccio
GARIBALDI GIUSEPPE	Q28	Q28_591	8,00	Cemento
GARIBALDI GIUSEPPE	Q28	Q28_592	8,00	Cemento
GARIBALDI GIUSEPPE	Q28	Q28_593	8,00	Cemento
GARIBALDI GIUSEPPE	Q28	Q28_594	8,00	Cemento
GARIBALDI GIUSEPPE	Q28	Q28_595	8,00	Cemento
MARCHE	Q34	Q34_729	8,00	Cemento a Braccio
MARCHE	Q34	Q34_730	8,00	Cemento a Braccio
MARCHE	Q34	Q34_731	8,00	Cemento a Braccio
MARCHE	Q34	Q34_733	8,00	Cemento a Braccio
MARCHE	Q34	Q34_734	8,00	Cemento a Braccio
DELLA VITTORIA	Q36	Q36_741	8,00	Cemento a Braccio
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q38	Q38_751	8,00	Cemento a Braccio
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q38	Q38_752	8,00	Cemento a Braccio
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q38	Q38_753	8,00	Cemento a Braccio
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q38	Q38_754	8,00	Cemento a Braccio
VILLANOVA	Q41	Q41_830	8,00	Cemento a Braccio
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q45	Q45_872	8,00	Cemento
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q45	Q45_873	8,00	Cemento
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM	Q38	Q38_885	8,00	Cemento a Braccio
CASSETTE DAVANTI	Q53	Q53_1003	8,00	Cemento a Braccio
CASSETTE DAVANTI	Q53	Q53_1005	8,00	Cemento a Braccio
STV BRUGNOTTO	Q61	Q61_1190	8,00	Cemento a Braccio
POZZETTI	Q62	Q62_1206	8,00	Cemento a Braccio

3.3 La proposta tecnica: una visione d'insieme

La proposta progettuale sviluppata nel seguito è relativa a uno stralcio dell'intero impianto di illuminazione e si articola in una serie di interventi che si integrano con le sopra citate iniziative già intraprese dal Comune e le estendono in maniera organica al resto della rete allo scopo di ottenere dei rilevanti effetti di risparmio energetico, ottenibili solamente attraverso un intervento su larga scala, e allo stesso tempo di porre le basi per future implementazioni di ulteriori misure di risparmio, quali la progressiva sostituzione di tutti i corpi illuminanti esistenti con nuove lampade a LED,

e di servizi aggiuntivi quali telecamere di videosorveglianza, rilevatori di traffico, hot-spot Wi-Fi, sonde meteorologiche, ecc.

In sintesi, l'intervento, più dettagliatamente descritto nel corso dei paragrafi successivi, si sviluppa secondo le disposizioni di seguito elencate:

- ottimizzazione del rendimento energetico dell'impianto esistente attraverso interventi diffusi sugli apparecchi di alimentazione e sostituzione dei corpi illuminanti a vapori di mercurio, energeticamente inefficienti;
- installazione di nuovi corpi illuminanti con tecnologia LED e SAP e riordino delle dotazioni esistenti lungo i vari assi viari;
- realizzazione di un sistema di gestione, funzionante da remoto, che consenta la regolazione della potenza delle lampade a esso assoggettate.

L'elemento qualificante la proposta risiede nel fatto che le opere necessarie per realizzare gli interventi atti a conseguire il controllo da remoto dei punti luce non richiedono la posa di nuove infrastrutture, con annessi cantieri stradali, ma si configurano come operazioni di manutenzione straordinaria dal momento che adibiscono la rete elettrica stessa alla trasmissione dei segnali, non prevedendo così alcuna installazione di nuovi conduttori.

Un ulteriore punto a favore della proposta è relativo al fatto che, oltre ai risparmi energetici derivanti dalla regolazione della potenza assorbita dalle lampade e alla maggiore efficienza caratterizzante i nuovi corpi illuminanti a LED, la maggior vita media di questi ultimi rispetto alle lampade tradizionali riduce sensibilmente i costi fissi per i ricambi e i costi variabili relativi alla manutenzione.

La regolazione del flusso luminoso emesso dai corpi illuminanti, conseguente alla diminuzione di potenza fornita agli stessi dal sistema di regolazione, può essere effettuata, secondo quanto previsto dalle norme, solamente in relazione alle condizioni di traffico e quindi alla corrispondente classificazione della specifica strada nel periodo di osservazione considerato; infatti, una riduzione significativa del flusso veicolare e l'assenza di particolari aree di conflitto quali curve e incroci pericolosi, attraversamenti pedonali e quant'altro, consentono di declassificare la strada stessa rispetto alle condizioni di pieno traffico e di passare a una categoria illuminotecnica di esercizio inferiore rispetto a quella garantita dall'impianto di illuminazione in condizioni di progetto.

Le norme di riferimento utili a quantificare i livelli prestazionali in termini di luminanza e di illuminamento da mantenere sul manto stradale a seconda della categoria illuminotecnica selezionata, sono le seguenti:

- UNI 11248:2007 e s.m.i., *"Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche"*;

- UNI EN 13201-2:2004, “*Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali*”.

In particolare, nel momento in cui nel tracciato considerato si registra un traffico veicolare inferiore rispetto alla sua portata massima, situazione che normalmente si verifica durante le ore centrali della notte, e le condizioni di sicurezza generale per tutti gli utenti della strada lo permettono, la seconda norma consente, in fase di esercizio, di ridurre il valore minimo della luminanza secondo i seguenti criteri:

- se l’afflusso di veicoli è inferiore del 50% rispetto alla portata massima è possibile declassare la strada di una categoria illuminotecnica;
- se l’afflusso di veicoli è inferiore del 50% rispetto alla portata massima è possibile declassare la strada di due categorie illuminotecniche, fatto salvo per una specifica categoria alla quale si applica una riduzione unitaria³.

In tale maniera, non solo si ottengono notevoli risparmi dal punto di vista della spesa energetica, che con la tecnologia attuale può contrarsi anche del 40%, ma si trae vantaggio pure in termini di vita utile delle lampade, le quali necessitano di minori interventi manutentivi in quanto meno sollecitate rispetto al funzionamento a pieno regime.

3.4 Lo stato di fatto dello stralcio di progetto

L’opera di riqualificazione della rete di illuminazione pubblica di Breda di Piave proposta nella presente trattazione consta, come già accennato, in un stralcio di entità compatibile da un lato con le disponibilità economiche del Comune e dall’altro con la necessità di ottenere un buon punteggio nella graduatoria inerente il bando regionale di cui all’introduzione.

Quest’ultimo, infatti, come riportato nell’*Allegato A* alla Dgr n. 1421 del 05 agosto 2014, attribuisce al progetto un punteggio superiore nei casi in cui:

- il soggetto attuatore metta a disposizione un contributo economico superiore rispetto alla quota minima prevista, pari al 15% del costo complessivo dell’intervento per i comuni con popolazione residente compresa tra i 5.000 e i 15.000 abitanti;
- la percentuale di risparmio energetico prevista in fase di progetto rispetto alla situazione ante intervento sia rilevante (condizione verificabile solamente se il numero di punti luce sui quali si agisce è sufficientemente elevato);

³ Un approfondimento in merito alla classificazione delle strade e alla selezione delle categorie illuminotecniche a esse associate sarà affrontato in una sezione apposita della presente trattazione.

- il rapporto tra la spesa prevista per la realizzazione del progetto e il numero degli abitanti residenti, con riferimento ai dati Istat del 2011, sia superiore ai valori di cui all'Art. 8 dell'allegato sopra menzionato.

Sulla base di tali considerazioni, la dimensione dello stralcio ritenuta idonea a soddisfare entrambe le esigenze suddette abbraccia un totale di 1.039 punti luce (più del 75% di tutti gli apparecchi presenti sul territorio comunale), suddivisibili in due diverse categorie a seconda della logica di funzionamento prevista per gli stessi: la prima è comprensiva di 822 corpi illuminanti che si intende gestire e regolare da remoto mediante un apposito sistema di telecontrollo, mentre la seconda ingloba le rimanenti 217 lampade per le quali l'implementazione di tale sistema non risulta vantaggioso dal punto di vista economico ed è preferibile quindi una soluzione basata sull'installazione di dispositivi di regolazione punto a punto o "stand alone".

Infatti, come sarà ampiamente illustrato nel prosieguo della trattazione, per effettuare una regolazione da remoto è necessario dotare ciascun quadro elettrico di riferimento posto a monte della linea che si intende tele-controllare di una centralina in grado di comunicare sia con il sistema di alimentazione delle lampade, sia con il centro di gestione; dal momento che non risulta dunque opportuno installare tale apparecchiatura nei quadri che controllano un numero esiguo di lampade, nella proposta progettuale si è scelto di gestire da remoto solamente le vie che presentano almeno 25 punti luce, prevedendo per i corpi illuminanti rimanenti un funzionamento di tipo "stand alone" mediante l'utilizzo di alimentatori elettronici aventi un profilo di regolazione prestabilito oppure attraverso l'adozione di nuove lampade a LED, anch'esse dotate da un profilo di riduzione interno non modificabile.

In particolare, gli 822 punti luce sopra citati sottostanno a un totale di 20 quadri e comprendono:

- 705 lampade a vapori di sodio ad alta pressione, di cui 678 da 100 W e 27 da 70 W;
- le 48 lampade a LED installate in via Indipendenza;
- 69 lampade a vapori di mercurio.

I restanti 217 punti luce che si intende regolare in modalità "stand alone" comprendono invece:

- 117 lampade SAP, di cui una da 150 W, 107 da 100 W e 9 da 70 W;
- 100 lampade VM.

Le figure sotto riportate mettono in evidenza settore per settore le vie interessate dall'intervento e la disposizione delle lampade e dei quadri elettrici esistenti nelle stesse; per non appesantire il contenuto delle mappe sono stati evidenziati solamente i nomi dei tracciati principali, lasciando alle didascalie il compito di esplicitare la lista

completa, confrontabile con quanto riportato all'interno della tabella proposta nell'Appendice B, recante la suddivisione nelle diverse vie dei punti luce costituenti lo stralcio di progetto.

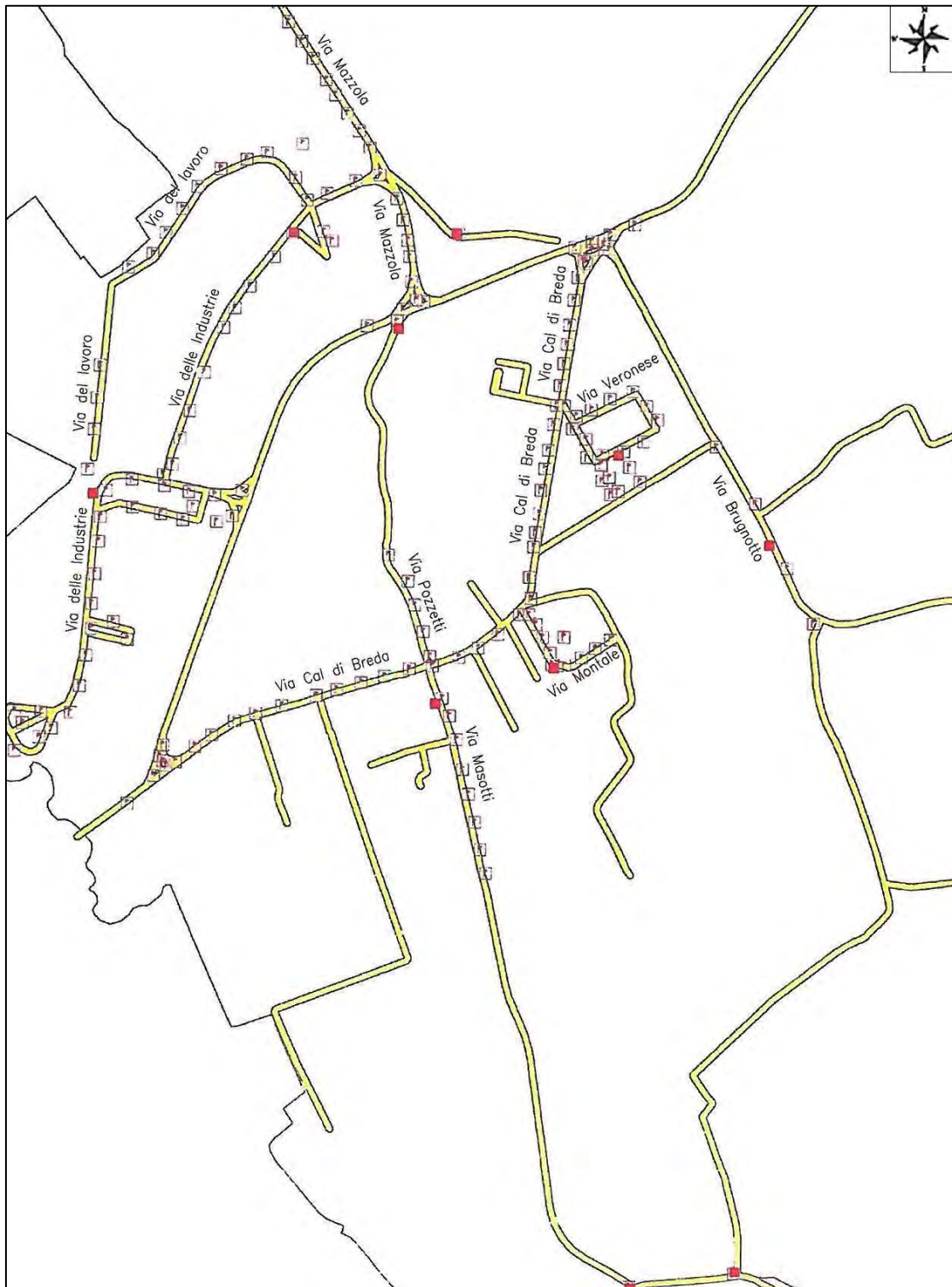


Figura 56 - SETTORE 1, Località Vacil:
via Mazzolà; via del Lavoro; via delle Industrie; via Cal di Breda; via Brugnotta; via Pozzetti; via Masotti;
via Serenissima (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

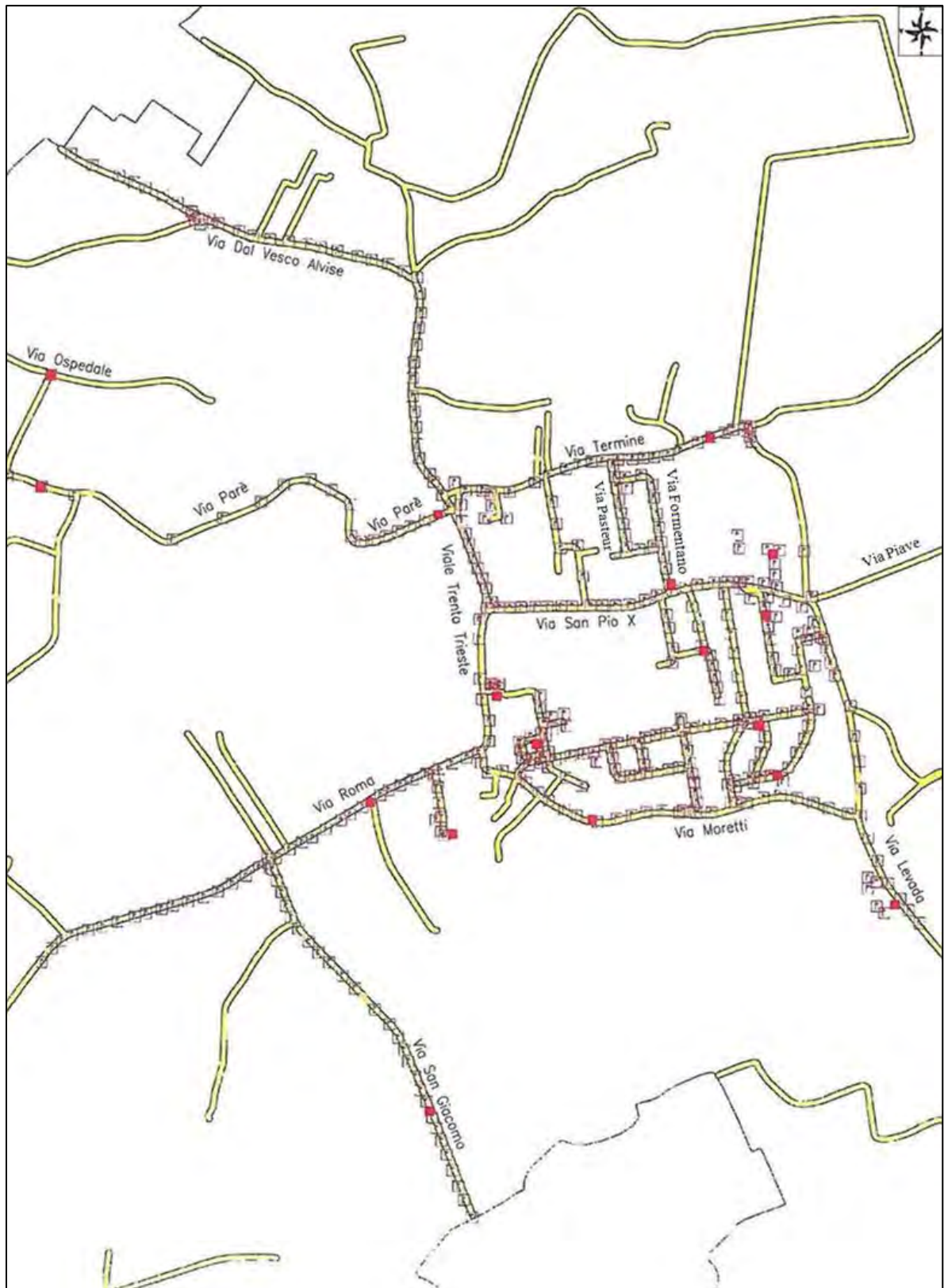


Figura 57 - SETTORE 2, località Breda di Piave:

via Dal Vesco Alvise; via Parè; via Trento e Trieste; via Termine; via Europa; via Pasteur; via Formentano; via San Pio X; via Carlesso; via Del Monaco; via Levada; via Marmolada; via Consiglio; via Monte Bianco; via Moretti; via Roma; via San Giacomo; via Antelao; piazza Italia; piazza Nazioni Unite; piazza Olivi; via Parè; via Ponteselli; via San Pietro (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

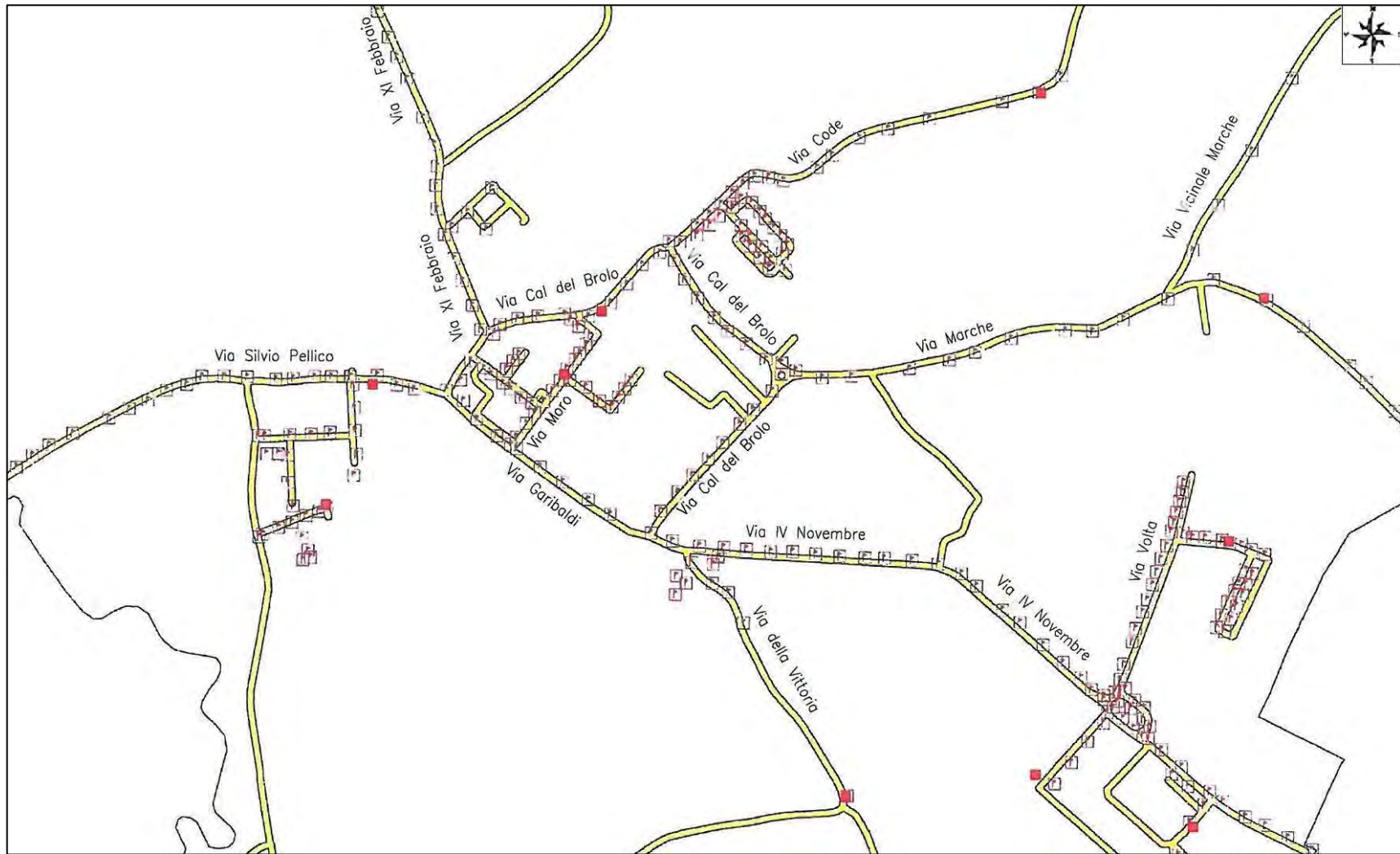


Figura 58 - SETTORE 3, località Pero:

via S. Pellico; Via Don Asti; via XI Febbraio; vicolo Cannaregio; via Pertini; via Einaudi; via Garibaldi; via Cal del Brolo; via Code; via Saragat; via Don Soldera; vicolo Don Soldera; via Marche; via Vicinale Marche; via della Vittoria; via IV novembre; via dell'artigianato; via Volta; via Toniolo; piazza Cesare Battisti; via Brigata Emilia; via Interna; vicolo Parnasso (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

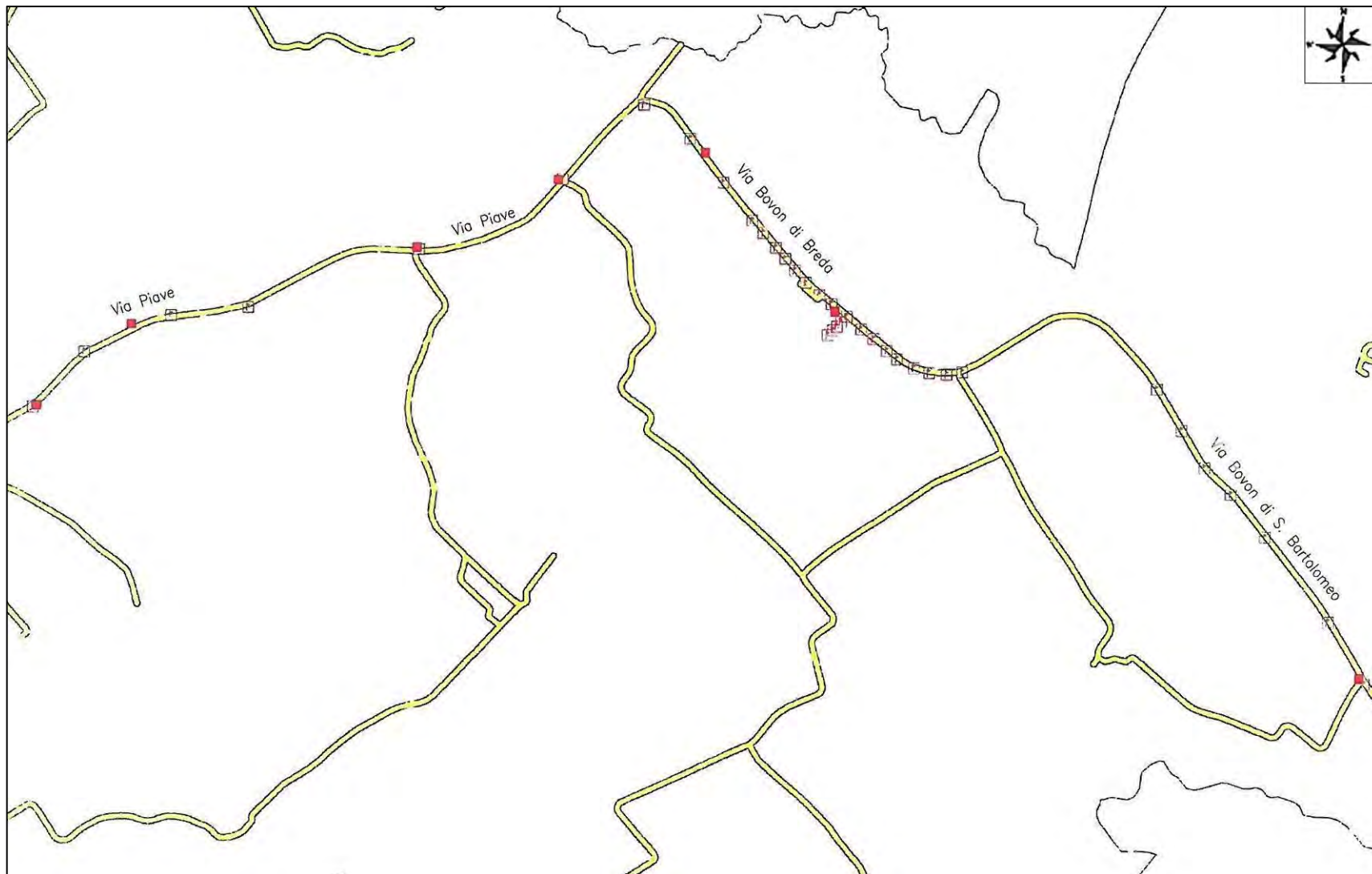


Figura 59 -SETTORE 4: via Piave; via Bovon di Breda; via Bovon di San Bartolomeo (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).

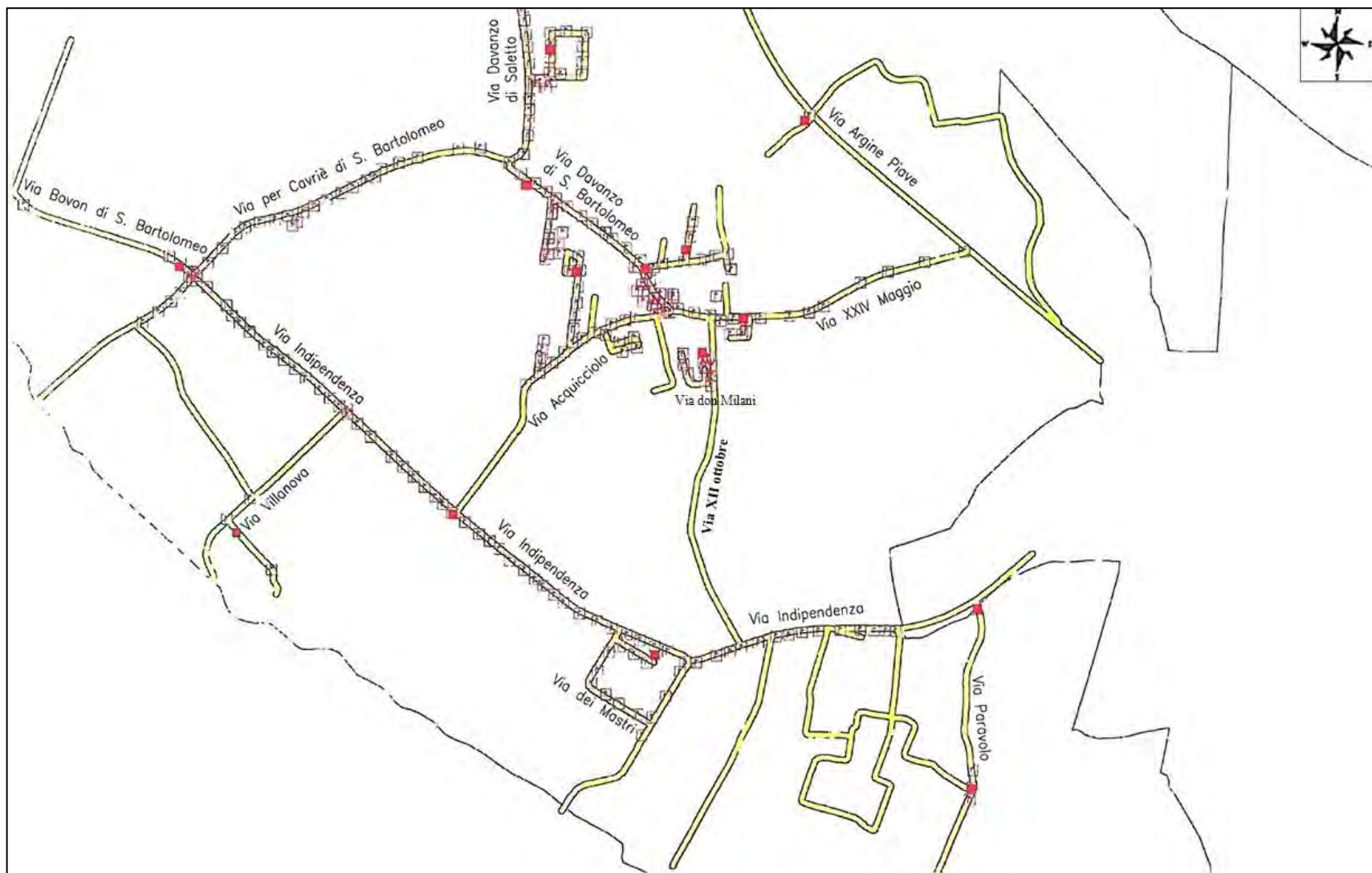
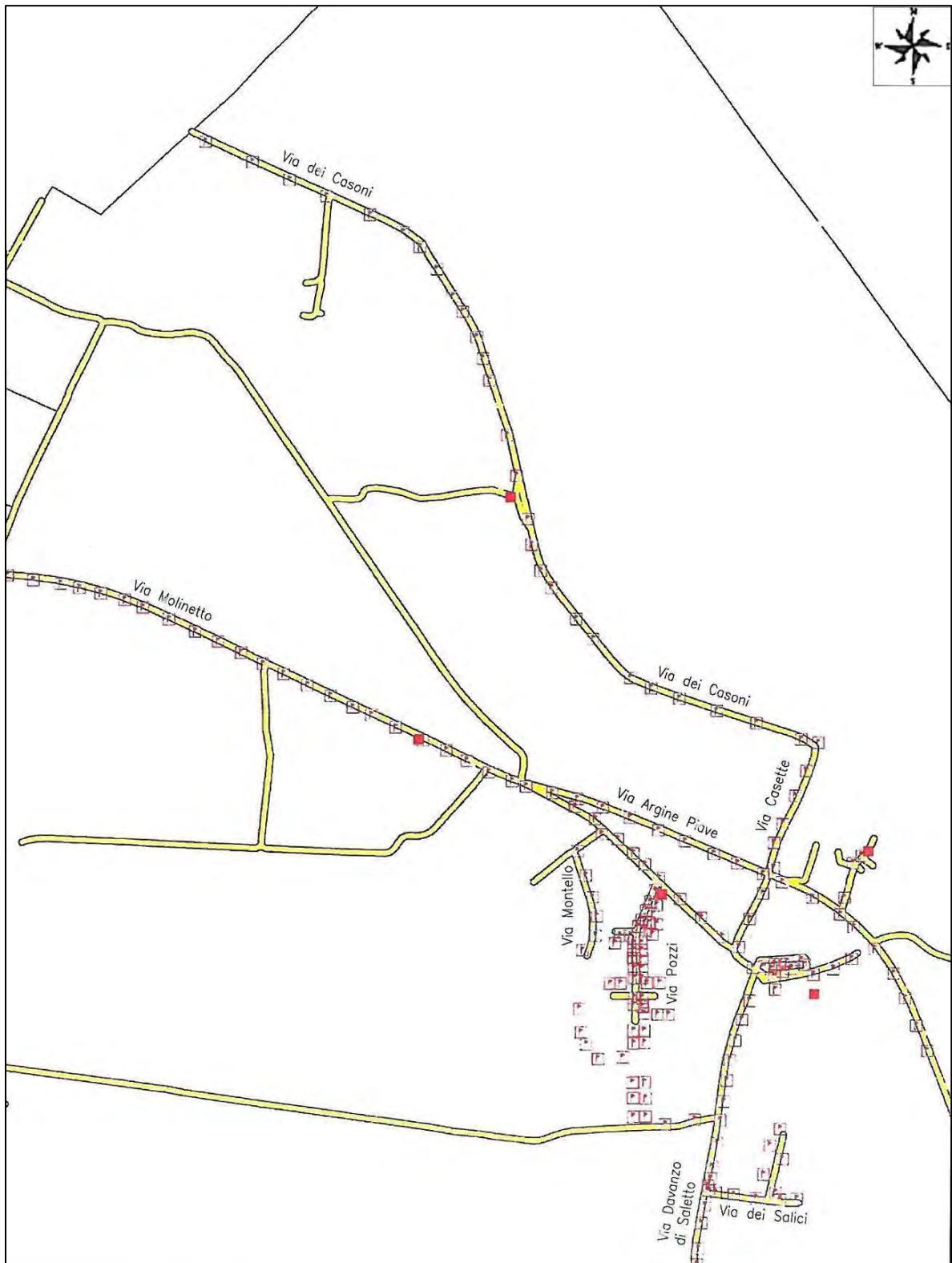


Figura 60 - SETTORE 5, località San Bartolomeo:
via Bovon di San Bartolomeo; via per Cavrie' di San Bartolomeo; via Sg.te Davanzo di San Bartolomeo; via dei Tigli; via Acquicciola; via Cavalieri di Vittorio Veneto; via Bianca Roveda; via don Lorenzo Milani; via XII ottobre; via XXIV maggio; via Villa del Bosco; via Argine Piave; via Indipendenza; via dei Mastri; via Paralovo; via Capitello; via Crosa Costantino; via Villanova; vicolo Villanova (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).



**Figura 61 – SETTORE 6, località Saletto:
via Molinetto; via dei Casoni; via Casette; via Casette Davanti; via Montello; via Argine Piave; via Chiesa;
piazza Vittorio Veneto (fonte: treviso.consorziobimpiave.bl.it).**

3.5 Le linee guida dell'intervento

Le ipotesi che stanno alla base della suddivisione tra punti luce gestiti da remoto e corpi illuminanti gestiti in modalità "stand alone" descritta in precedenza fanno riferimento a una logica fondata sulle seguenti azioni, costituenti le linee guida sulle quali si fonda l'intervento di riqualificazione proposto:

1. smaltire le lampade a vapori di mercurio secondo la normativa ambientale e sostituirle con delle lampade SAP o a LED di nuova fornitura provviste di regolatori di flusso;
2. dotare le lampade a vapori di sodio ad alta pressione presenti nel territorio comunale di regolatori di flusso luminoso elettronici per consentire una modulazione della potenza assorbita volta alla riduzione dei consumi di energia elettrica nelle ore notturne;
3. adibire le vie che presentano lungo il loro sviluppo sia lampade al sodio che lampade al mercurio, caratterizzate da temperature di colore correlate differenti, a un'illuminazione con sole sorgenti a vapori di sodio allo scopo di ottenere una migliore uniformità luminosa;
4. illuminare le piazze e le vie che conducono ai centri delle varie frazioni comunali, in particolar modo quelle interessate da traffico misto di pedoni e veicoli, con nuove lampade a LED, rispettivamente riutilizzando e smaltendo le lampade al sodio e quelle al mercurio ivi presenti;
5. non coinvolgere nell'intervento in oggetto i punti luce sottesi ai regolatori di recente installazione e attualmente funzionanti situati in via Sg.te Davanzo e in via Pozzi, al contrario di quelli gestiti dai riduttori di potenza più obsoleti per i quali è prevista l'eliminazione.

In particolare, le prime due linee guida abbracciano tutti gli interventi mirati all'incremento dell'efficienza energetica della rete di illuminazione e al conseguente abbattimento dei relativi consumi, mentre le rimanenti inglobano tutte le operazioni che hanno come scopo precipuo la riqualificazione e la razionalizzazione dai punti di vista funzionale, estetico ed economico della rete stessa, per rispondere alle esigenze di affidabilità, gradevolezza e sicurezza richieste al sistema di illuminazione.

3.5.1 La sostituzione delle lampade al mercurio e le direttive europee

In riferimento alla prima linea guida descritta poc'anzi, la più immediata azione di incremento dell'efficienza della rete di illuminazione pubblica consiste nella sostituzione di tutte le 169 lampade a vapori di mercurio esistenti nel territorio

comunale con lampade a LED e a vapori di sodio ad alta pressione, le quali richiedono una potenza installata inferiore a parità di prestazioni illuminotecniche.

La rimozione e lo smaltimento delle sorgenti al mercurio rientrano nell'ambito delle indicazioni fornite dalla *Direttiva EuP 2005/32/CE*, approvata dal Parlamento Europeo e dal Consiglio allo scopo di promuovere un quadro volto sia alla riduzione dell'impatto ambientale derivante dall'impiego di soluzioni poco efficienti, sia alla valutazione degli aspetti ambientali in fase di progettazione di tutti i prodotti in generale che consumano energia (*Energy using Products*).

Tale direttiva, approvata nel 2005, ha successivamente subito delle modifiche e delle integrazioni che sono confluite nella più recente *Direttiva ErP 2009/125/CE*, la quale ha esteso il campo di applicazione della precedente a ogni prodotto connesso all'energia (*Energy related Product*) e quindi anche a tutti i componenti, quali ad esempio quelli legati all'edilizia, che influiscono sulle prestazioni energetiche del sistema considerato.

Per quanto concerne il campo applicativo oggetto della presente trattazione, il *Regolamento (CE) n. 245/2009*, successivamente emendato dal *Regolamento (CE) n. 347/2010*, ha delineato i requisiti prestazionali da rispettare per la progettazione ecocompatibile di lampade fluorescenti senza alimentatore integrato e di lampade a scarica ad alta intensità, comprensive degli alimentatori e degli apparecchi di illuminazione annessi, sancendo la progressiva messa al bando dal mercato di tutti i dispositivi che non rispettano tali requisiti.

In particolare, il divieto di immissione si articola lungo un orizzonte temporale, scandito da tre fasi principali, la prima delle quali ha avuto inizio circa un anno dopo la pubblicazione del *Regolamento (CE) n. 245/2009*, intervallate da due fasi intermedie, come evidenziato nella tabella riportata nel seguito.

Tabella 8 - Entrata in vigore delle fasi previste dal Regolamento (CE) n. 245/2009 (fonte: Assil, 2010).

FASE I (1 anno dopo l'entrata in vigore)	13.04.2010
Fase Intermedia (18 mesi dopo l'entrata in vigore)	13.10.2010
FASE 2 (3 anni dopo l'entrata in vigore)	13.04.2012
Fase Intermedia (6 anni dopo l'entrata in vigore)	13.04.2015
FASE 3 (8 anni dopo l'entrata in vigore)	13.04.2017

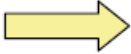

Per quanto riguarda le disposizioni già entrate in vigore, la FASE 1 ha portato al divieto di immissione nel mercato EU27 delle poco efficienti lampade fluorescenti ad alogenuri metallici delle seguenti tipologie:

- lineari con attacchi T5 e T8;
- aventi forma a U;
- circolari con attacco T9.

La FASE 2, a cui si riferisce la *tabella 9* sotto riportata, ha invece bandito dal mercato EU27:


- le lampade ad alogenuri metallici con attacchi E27/E40/PGZ12 che non rispettano specifici requisiti di efficienza energetica e di indice di resa cromatica;
- le lampade a vapori di sodio ad alta pressione standard con attacchi E27/E40/PGZ12 che non rispettano i criteri stabiliti dal regolamento.

Tabella 9 - FASE 2: requisiti minimi richiesti per lampade SAP e a ioduri metallici (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Requisiti minimi di efficienza energetica in lumen/watt		Potenza di lampada nominale [W]	[lm/W] Chiare	[lm/W] Non Chiare
Lampade SAP con Ra ≤ 60		W ≤ 45	60	60
		45 < W ≤ 55	80	70
		55 < W ≤ 75	90	80
		75 < W ≤ 105	100	95
		105 < W ≤ 155	110	105
		155 < W ≤ 255	125	115
		255 < W ≤ 605	135	130
Lampade SAP con Ra > 60 e Ioduri Metallici con Ra ≤ 80		W ≤ 55	60	60
		55 < W ≤ 75	75	70
		75 < W ≤ 105	80	75
		105 < W ≤ 155	80	75
		155 < W ≤ 255	80	75
		255 < W ≤ 405	85	75


Con la fase intermedia, che entrerà in vigore a partire dal 13 aprile 2015, tutte le lampade a vapori di mercurio, già da anni in fase di ritiro dal mercato, perderanno la certificazione CE e saranno messe al bando, così come le lampade a vapori di sodio ad alta pressione con accenditore integrato e quelle a ioduri metallici con indice di resa cromatica superiore a 80 che non rispettano i requisiti minimi richiesti riportati nella tabella sottostante.

Tabella 10 – FASE INTERMEDIA (13 aprile 2015): requisiti minimi richiesti per altre lampade ad alta intensità (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Requisiti minimi di efficienza energetica in lumen/watt		Potenza di lampada nominale [W]	[lm/W]
Altre Lampade ad Alta Intensità		$W \leq 40$	50
		$40 < W \leq 50$	55
		$50 < W \leq 70$	65
		$70 < W \leq 125$	70
		$W > 125$	75
Bandite tutte le lampade al Mercurio		-	-

Infine, nella terza fase non potranno più essere immesse nel mercato le lampade a fluorescenza compatte a due spinotti e le lampade a ioduri metallici che non rispettano i requisiti minimi riportati nella tabella di seguito proposta.

Tabella 11 – FASE 3: requisiti minimi richiesti per lampade a ioduri metallici (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Requisiti minimi di efficienza energetica in lumen/watt		Potenza di lampada nominale [W]	[lm/W] Chiare	[lm/W] Non Chiare
Lampade a Ioduri Metallici		$W \leq 55$	70	65
		$55 < W \leq 75$	80	75
		$75 < W \leq 255$	85	80
		$255 < W \leq 605$	90	85

Per uno studio più approfondito in merito ai requisiti minimi richiesti nelle varie fasi principali e intermedie relativi non solo alle sorgenti luminose, ma anche agli alimentatori e agli apparecchi annessi, si rimanda alle pubblicazioni della Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europa recanti i regolamenti sopra citati nella loro versione integrale.

3.5.2 Il sistema di regolazione da remoto e la comunicazione PLC

Il cuore della proposta progettuale, che conferisce valore aggiunto all’opera di realizzazione di un sistema di illuminazione al contempo efficace ed efficiente, consiste nella gestione e nella regolazione da remoto degli 822 punti luce sopra accennati, i quali costituiscono circa l’80% dell’intero stralcio di progetto.

L’architettura del sistema di telecontrollo, a cui fa riferimento la *figura 62* sotto riportata, si articola secondo una scala gerarchica fondata su tre livelli: il livello del supervisore, il livello dell’unità di controllo centrale e il livello del punto luce.



Figura 62 – Architettura del sistema di telecontrollo (fonte: ABB - Power One)

Il sistema di supervisione, costituito da un software di gestione installabile su un qualsiasi computer, comunica via GSM con l'unità di controllo centrale, ovvero con una centralina posta all'interno del quadro elettrico a cui sono sottesi i corpi illuminanti da regolare; questa interagisce a sua volta, via onde convogliate, con le unità di controllo periferiche installate a livello di ogni singolo punto luce, configurandone il comportamento in termini di accensione, spegnimento e regolazione secondo una logica "master-slave"⁴.

La comunicazione tra i componenti del sistema non è tuttavia monodirezionale; infatti, la centralina, oltre a impartire comandi ai dispositivi periferici, raccoglie continuamente le letture dei parametri di funzionamento dei punti luce che questi ultimi le trasmettono, inviando successivamente i dati al sistema di supervisione e segnalando eventuali anomalie quali guasti, fine vita della lampada, mancanza di una o più fasi, mancanza di comunicazione con uno o più punti (Guerra, 2014).

La comunicazione attraverso onde convogliate, altresì detta *Power Line Communication* (PLC), rappresenta, come già accennato, un metodo di trasmissione del segnale che sfrutta la linea elettrica esistente; svincolandosi dagli oneri annessi alla posa di nuovi cavi e alla messa in opera di cantieri, essa, oltre a conferire un'ulteriore funzionalità a un'infrastruttura diramata in maniera estesa sul territorio

⁴ La logica "master-slave" caratterizza un protocollo di comunicazione di dati digitali tra dispositivi elettronici "intelligenti", dotati di appositi circuiti ed interfacce, in cui il dispositivo di controllo (master) gestisce e comanda la comunicazione di tutti gli "slaves", ossia dei dispositivi di campo connessi alla linea di comunicazione che costituisce il livello fisico attraverso il quale l'informazione viene trasmessa (fonte: ABB, 2011).

Con riferimento al sistema di telecontrollo in oggetto, le varie centraline ubicate nei quadri elettrici svolgono la duplice funzione di "master", poiché gestiscono e comandano le unità di controllo periferiche a esse sottese, e di "slave" in quanto ciascuna di esse riceve il programma di gestione da impartire ai punti luce dal sistema di supervisione.

nazionale, semplifica notevolmente i costi e i tempi di implementazione del sistema di telecontrollo sopra illustrato.

Tale metodo di comunicazione nacque con connotati primordiali già a partire dagli anni '20 del secolo scorso, quando la necessità di tenere sotto controllo la rete elettrica anche in zone remote e non facilmente accessibili sfociò nell'idea di sfruttare l'infrastruttura stessa quale vettore di trasmissione dei segnali. Detta tecnologia, inizialmente ostacolata da problemi di attenuazione, di interferenza con servizi già erogati quali il supporto all'aeronautica e la trasmissione di segnali radiofonici, e di costi piuttosto elevati, ma al contempo inferiori rispetto all'implementazione di cavi pilota dedicati, ha subito un forte impulso nei primi anni 2000, spinta dalla diffusione di Internet e dalla sempre maggior richiesta di scambio di informazioni digitali (Rocchi, 2012).

In particolare, la comunicazione digitale consiste in uno scambio tra dispositivi elettronici "intelligenti", dotati di appositi circuiti e interfacce, di dati costituiti da "pacchetti di bit"⁵, ovvero da combinazioni di valori logici binari codificati con un'onda analogica di tipo "a gradini" (fig. 63) e trasmessi in maniera seriale sullo stesso mezzo fisico, in questo caso la rete elettrica (ABB, 2011).

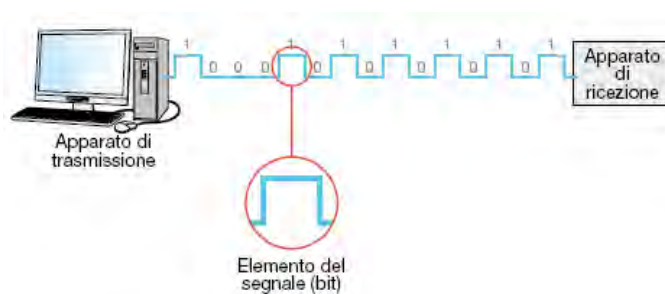


Figura 63 - Trasmissione di un "pacchetto di bit" (fonte: ABB, 2011).

Tuttavia, dal momento che un qualsiasi segnale di tipo elettrico trasmesso su un conduttore per lunghe distanze subisce una certa attenuazione, esso viene preferibilmente codificato con una portante, ovvero con un'onda sinusoidale continua che si propaga in modo migliore rispetto a un'onda a gradini. La portante deve inoltre subire un processo di modulazione che sposti lo spettro del segnale in maniera tale da farlo rientrare all'interno della banda passante caratterizzante il canale di trasmissione; una volta trasmesso il segnale, questo viene poi demodulato attraverso opportune operazioni di filtraggio (Maniezzo).

I principali metodi di modulazione di una portante, a cui fa riferimento la *figura 64* sotto proposta, sono i seguenti:

- ASK (Amplitude Shift Keying), che consiste nell'associare ai livelli binari 0 e 1 due ampiezze distinte della portante;

⁵ Il bit è l'unità di informazione elementare gestita da un calcolatore e corrisponde allo stato di acceso/spento, aperto/chiuso, ecc. di un dispositivo fisico, che viene rispettivamente interpretato con i due valori logici binari 0 e 1, o viceversa (fonte: ABB, 2011).

- FSK (Frequency Shift Keying), che associa ai livelli 0 e 1 due frequenze distinte della portante;
- PSK (Phase Shift Keying), che associa ai livelli 0 e 1 due fasi distinte della portante.

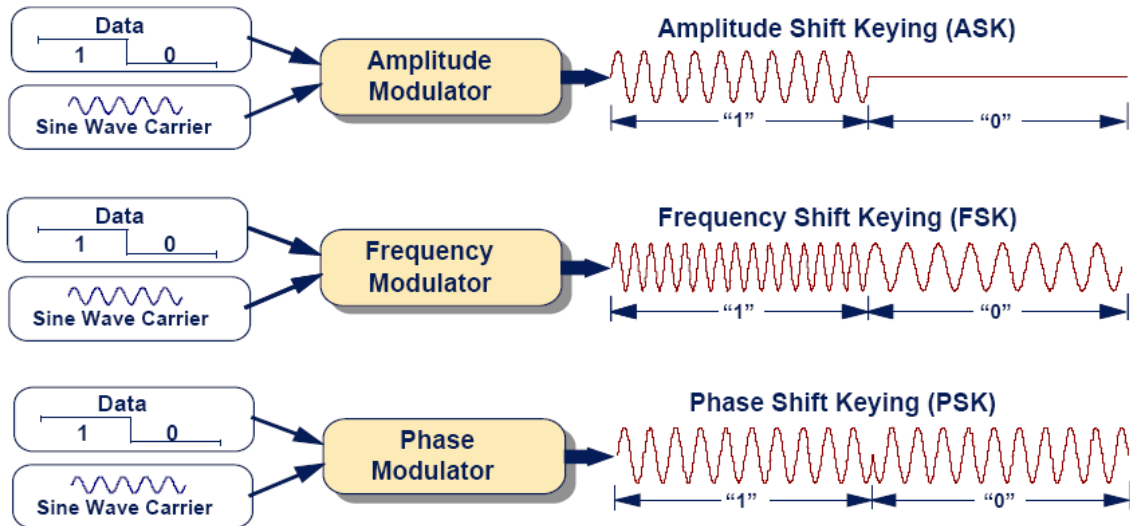


Figura 64 – Metodi di modulazione della portante (fonte: Sutterlin et al.).

Una descrizione dettagliata inerente le tecniche di modulazione e di trasmissione del segnale esula dagli obiettivi della presente trattazione: per ulteriori approfondimenti si rimanda a testi specialistici.

La Power Line Communication che, come accennato in precedenza, rende possibile la trasmissione di dati digitali codificati sulla linea elettrica esistente, consiste nella sovrapposizione dell'onda caratterizzante la corrente elettrica, avente frequenza pari a 50 Hz nel caso dell'Europa e a 60 Hz nel caso degli USA, e di un segnale a frequenza più elevata, dell'ordine dei kHz o dei MHz, modulato dell'informazione da trasmettere (fig. 65).

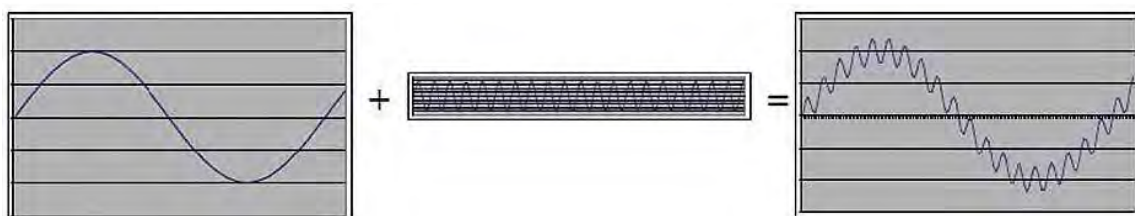


Figura 65 – Sovrapposizione di un'onda elettrica a 50 Hz e di un'onda avente frequenza molto maggiore (fonte: Lazzerini, 2011).

In particolare, per quanto riguarda i vari servizi a cui la rete elettrica risponde, la norma europea EN 50065 del 1991 definisce delle bande di frequenza concesse alla trasmissione di segnali sulla linea stessa, con priorità differenti a seconda del soggetto afferente. Come evidenziato in figura 66, la banda compresa tra 3 kHz e 8,5 kHz è

riservata ai fornitori di energia elettrica, la banda successiva, denominata con la lettera "A", arriva a 90 kHz ed è riservata ai fornitori di elettricità e ai loro licenziatari, mentre le tre bande seguenti, richiamate dalle lettere "B", "C" e "D" e comprese rispettivamente negli intervalli di frequenza 95-125 kHz, 125-140 kHz e 140-148,5 kHz, sono concesse agli utilizzatori con protocolli standard o proprietari (Shaver et al., 2009). Detta norma impedisce inoltre la trasmissione di segnali a frequenze superiori a 148,5 kHz a causa di possibili fenomeni di interferenza con servizi radio a bassa frequenza autorizzati (Sutterlin et al.).

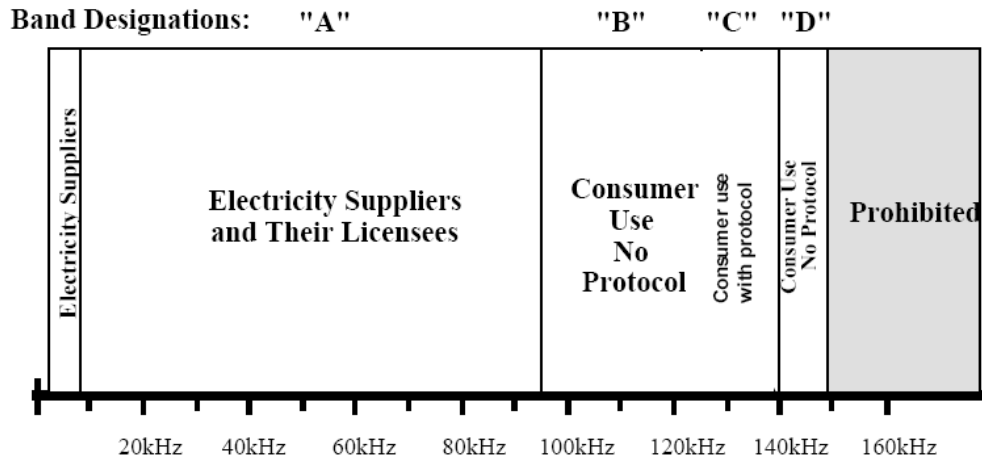


Figura 66 - Suddivisione delle bande di frequenza per la PLC secondo la norma EN 50065-1 (fonte: Sutterlin et al.).

Il particolare sistema per il telecontrollo e la regolazione da remoto dei punti luce preso in considerazione nella presente trattazione, denominato "I-Illumination", ricorre alla comunicazione mediante onde convogliate e fa riferimento alla tecnologia, strutturata secondo l'architettura sopra descritta, implementata da ABB-Power One. In particolare, il sistema è costituito dai seguenti dispositivi:

- il software di gestione "CB Manager";
- l'unità di controllo centrale chiamata "Collecting Unit" (fig. 67);
- l'unità di controllo periferica chiamata "Control Box" (fig. 68).



Figura 67 - Collecting Unit (fonte: Power One, 2011).



Figura 68 - Control Box (fonte: Power One, 2013).

Oltre al funzionamento secondo la logica PLC, detta tecnologia contempla inoltre degli alimentatori elettronici da installare a livello di ogni singolo punto luce utili per effettuare una regolazione di tipo “stand alone”, secondo profili prefissati, dei corpi illuminanti per i quali l’implementazione del sistema di telecontrollo e, in particolare, l’acquisto di una Collecting Unit non risultano economicamente giustificati.

3.5.2.1 La Control Box e l’alimentatore elettronico “HID Flat”

Procedendo con una descrizione a ritroso dei dispositivi sopra elencati, a livello di ciascuno degli 822 punti luce dello stralcio passibili della gestione da remoto, all’interno dell’armatura della lampada o, eventualmente, nel palo di sostegno a una distanza non superiore a tre metri dalla sorgente luminosa (*fig. 69*), è prevista l’installazione di una Control Box, la quale costituisce un dispositivo sia di telecontrollo che di pilotaggio: essa, infatti, dialogando con la Collecting Unit, è in grado di eseguire l’accensione e lo spegnimento non solo delle lampade alle quali è collegata, ma anche di sistemi di segnalazione stradale, di cartellonistica pubblicitaria, di telecamere digitali e di sensori di presenza, provvedendo anche all’invio di segnali d’allarme in caso di mancanza di tensione del carico collegato a valle della stessa.



Figura 69 – Possibili installazioni della Control Box (fonte: ABB – Power One, 2011).

Nel momento in cui quest'ultimo è costituito da una lampada predisposta alla ricezione di segnali di controllo analogico in bassa tensione 0-10 V in corrente continua, la Control Box funge anche da dispositivo in grado di regolarne il flusso luminoso emesso, andando a modulare la potenza assorbita dalla lampada stessa sulla base del valore di tensione inviatole, e di trasferire alla centralina le informazioni sullo stato di funzionamento del punto luce; in particolare, il valore 10 V corrisponde all'accensione della sorgente luminosa e il valore 0 V corrisponde al suo completo spegnimento.

Come si evince dallo schema riportato in *figura 70*, collegando la Control Box direttamente ai capi della lampada si riescono ad effettuare lo spegnimento e l'accensione della stessa a seconda che l'interruttore posto al suo interno apra o chiuda il contatto che collega la linea elettrica al corpo illuminante; nel caso in cui quest'ultimo sia invece provvisto di un alimentatore elettronico regolabile 0-10 V, collegando i morsetti presenti nella parte inferiore della Control Box all'alimentatore, come mostrato in *figura 71*, è possibile realizzare anche la suddetta modulazione della potenza assorbita, riducendola in maniera tale da ottenere il risparmio energetico desiderato.

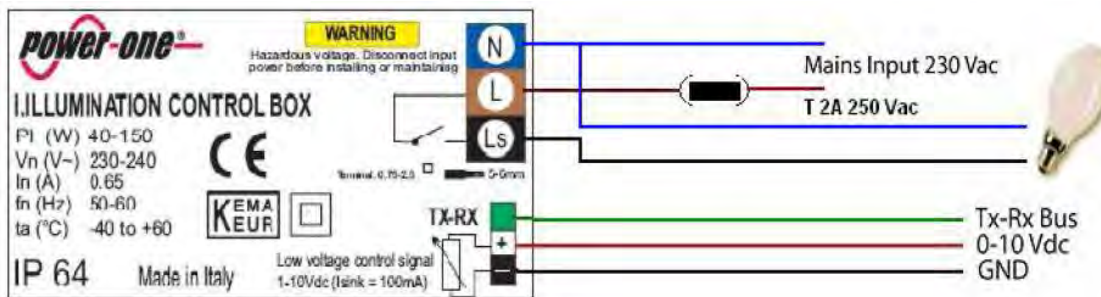


Figura 70 - Schema di collegamento della Control Box (fonte: ABB - Power One, 2011).

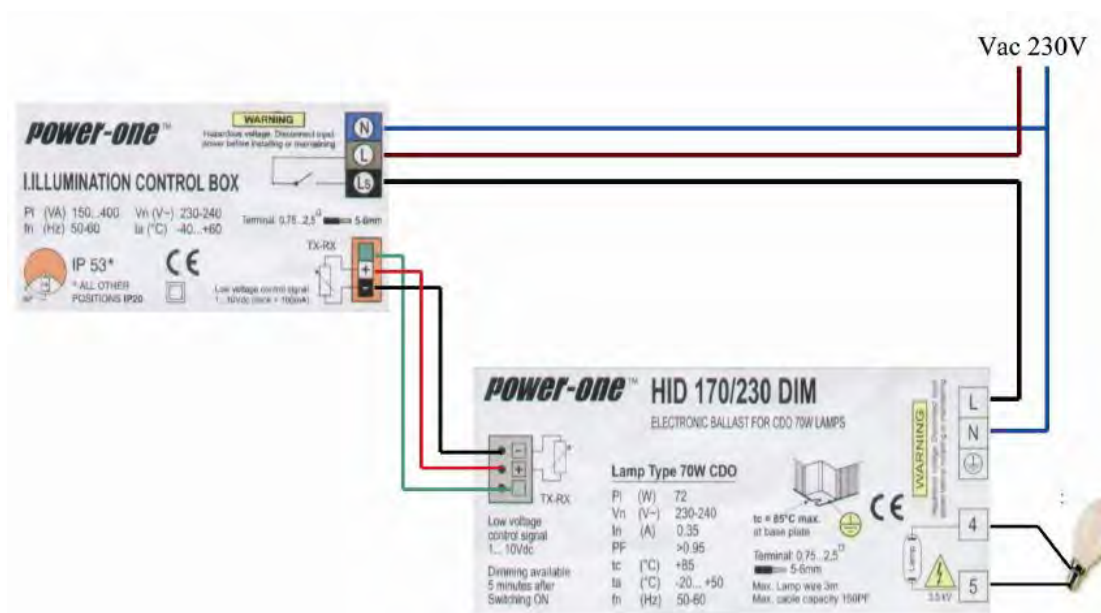


Figura 71 - Schema di collegamento della Control Box a un alimentatore elettronico regolabile 0-10 V (fonte: ABB - Power One, 2011).

Per quanto concerne le moderne lampade a LED, già equipaggiate con un driver elettronico nella maggior parte dei casi regolabile con il sistema 0-10 V, l'installazione della Control Box non richiede disposizioni aggiuntive e può essere collegata al driver stesso come evidenziato nella *figura 72* sotto riportata.

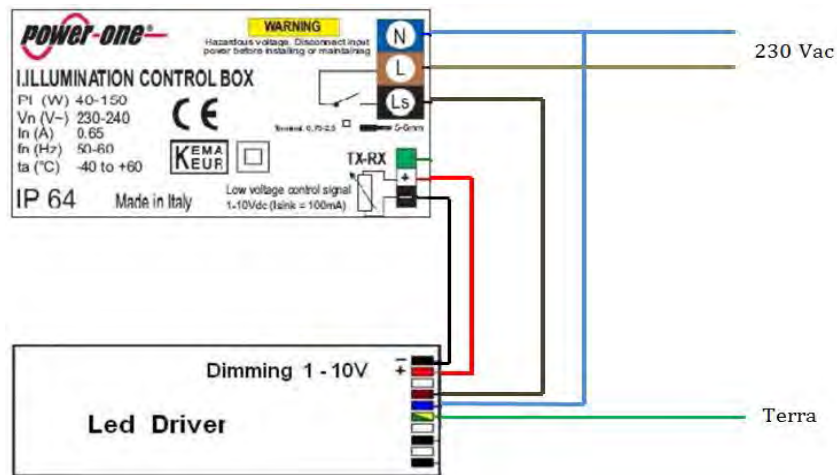


Figura 72 – Schema di collegamento della Control Box a un driver LED (fonte: ABB – Power One, 2011).

Occorre tuttavia sottolineare che l'attuale penetrazione dei dispositivi a LED nel sistema di illuminazione pubblica dei comuni italiani è ancor oggi assai limitata rispetto all'ammontare delle lampade a scarica esistenti (in tal senso il caso di Breda di Piave costituisce un esempio calzante), e che i circuiti ausiliari preposti all'accensione e all'alimentazione di queste ultime sono normalmente di tipo tradizionale e non possono essere associati alla Control Box sopra descritta.

Per far fronte a tale problematica, il sistema proposto da ABB-Power One prevede anche una soluzione basata sulla sostituzione dell'accenditore, del reattore e del condensatore presenti nella maggioranza delle lampade a scarica esistenti, con un unico dispositivo elettronico della serie "HID Flat" che ingloba al suo interno anche la Control Box necessaria per la comunicazione con la Collecting Unit e la ricezione dei segnali di regolazione. Tale apparecchio, una cui riproduzione è proposta in *figura 73*, oltre a dialogare via onde convogliate con la centralina posta a livello del quadro elettrico, presenta il vantaggio, accennato in precedenza, di essere dotato anche di un profilo di regolazione prefissato che lo rende particolarmente adatto ai casi in cui si desidera gestire delle sorgenti luminose in modalità "stand alone".



Figura 73 – Alimentatore elettronico regolabile con Control Box integrata (fonte: ABB – Power One, 2011).

Proprio per questa sua duplice logica di funzionamento e per la sua economicità rispetto a un'altra tipologia di alimentatore elettronico con Control Box integrata proposta da ABB–Power One, più compatta e provvista di alette per la dispersione del calore, l'adozione di tale dispositivo rappresenta uno dei cardini fondamentali caratterizzanti il progetto di riqualificazione energetica qui presentato in quanto lo stesso può essere accostato non solo alle lampade al sodio presenti nel comune di Breda di Piave che si desidera pilotare da remoto, ma anche a quelle che si intende gestire in modalità “stand alone”, secondo il profilo di regolazione riportato in *figura 74*. La scelta di sfruttare questa seconda logica di funzionamento per alcuni punti luce del comune deriva, come già accennato, esclusivamente da un fattore di tipo economico, legato al numero di Collecting Unit da acquistare; tuttavia, essa non pregiudica assolutamente la possibilità di affrontare future implementazioni volte alla connessione di tali sorgenti a una centralina in maniera tale da consentire loro di seguire la schedulazione impostata dal centro di gestione al posto del profilo di riduzione fisso già programmato.

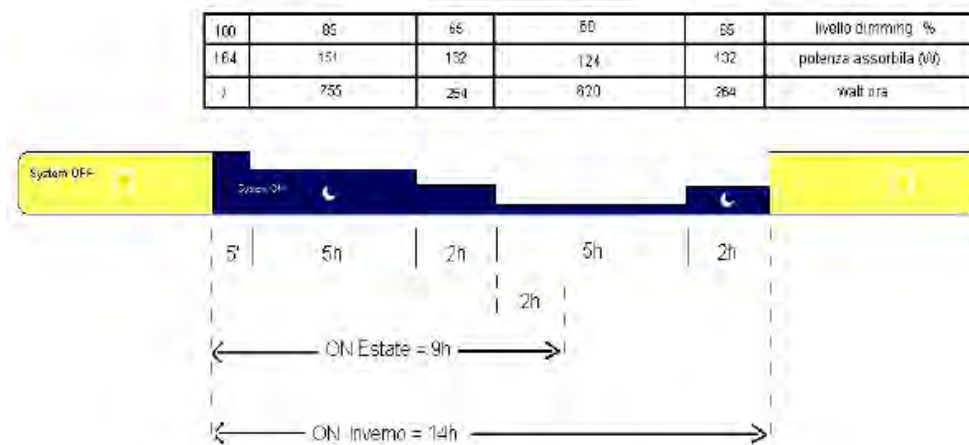


Figura 74 – Profilo di autoregolazione in modalità “stand alone” per una lampada SAP da 150 W (fonte: ABB – Power One, 2011).

Volendo approfondire le caratteristiche di quest'ultimo, dalla figura sopra riportata, riferita al funzionamento di una lampada a vapori di sodio ad alta pressione da 150 W collegata a un alimentatore elettronico “HID Flat”, si evince che nel susseguirsi delle ore notturne tale sorgente viene sottoposta a cinque differenti “livelli di dimming”, espressi come riduzione percentuale rispetto alle condizioni di funzionamento nominali, a ciascuno dei quali corrisponde una diversa potenza assorbita; tale profilo, che si attiva giorno dopo giorno all'atto dell'accensione della lampada da parte del crepuscolare o dell'orologio astronomico attestati nel quadro elettrico di riferimento della linea considerata, è fisso nel corso dell'anno, motivo per cui in estate la minor durata della notte determina dei risparmi inferiori rispetto al periodo invernale, nel quale si riescono a sfruttare tutte e cinque le ore in cui si ha la riduzione massima in corrispondenza al “livello di dimming” 60. Mediamente, nel corso dell'anno si ottiene

dunque un risparmio di energia pari a 16% circa rispetto al funzionamento a piena potenza.

Un ulteriore vantaggio che l'adozione di tali dispositivi elettronici presenta è rappresentato dal fatto che il sistema di regolazione del flusso luminoso proposto consente, anche in condizioni di piena potenza, di operare a una tensione applicata ai capi della lampada costante, preservando quest'ultima dagli inevitabili picchi che si verificano in maniera piuttosto frequente sulla rete elettrica e che determinano il rapido decadimento delle prestazioni della sorgente nel tempo e la riduzione della sua vita utile, incidendo di conseguenza sugli oneri relativi alla manutenzione della rete d'illuminazione.

Per quanto riguarda l'invio e la ricezione di comandi e informazioni tramite onde convogliate tra i punti luce e la centralina di riferimento, le Control Box e gli alimentatori elettronici con tale dispositivo integrato offrono il grande vantaggio di fungere da ripetitore del segnale, il quale si ridonda di palo in palo evitando la necessità di ricorrere ad alcun sistema esterno; l'unico accorgimento consiste nell'evitare che tra il primo punto luce della linea e la centralina di riferimento non vi siano più di 300/400 metri, in modo da non incorrere in attenuazioni eccessive del segnale. Per distanze superiori, al massimo fino a 500/600 metri di distanza, è necessaria una valutazione ad hoc inerente lo stato e l'età della linea in oggetto e le peculiarità dell'ambiente contingente quali la presenza di disturbi rilevanti; per distanze superiori, comunque assai difficilmente riscontrabili, risulta inevitabile l'inserimento un apparecchio di ripetizione del segnale e un eventuale filtro di attenuazione dei disturbi.

3.5.2.2 La Collecting Unit

La Collecting Unit, come già accennato, è la centralina che va installata all'interno del quadro elettrico al quale le lampade che si intende gestire da remoto sono sottese; la comunicazione a onde convogliate con ciascun punto luce, fino a un massimo di 380 unità, avviene mediante una modulazione di tipo FSK con una portante a 110 kHz, rientrando quindi all'interno della banda "B" secondo la classificazione EN 50061-1. Tale tecnica, basata sulla discriminazione di frequenza per la determinazione del livello logico binario ricevuto, presenta delle caratteristiche peculiari di robustezza e di immunità ai disturbi che altri tipi di modulazione, in particolare quella basata sulla discriminazione di ampiezza, non riescono a garantire senza l'adozione di appositi filtri per l'attenuazione dei rumori di linea.

Grazie alla comunicazione con i singoli punti luce, la Collecting Unit consente di gestirne la programmazione secondo schedulazioni impostate da un qualsiasi computer dotato del software di gestione "CB Manager" e inviate alla centralina stessa da remoto, mediante comunicazione GSM; esiste anche una versione con interfaccia Ethernet ma questa esclude la possibilità di programmare la centralina da un centro di gestione.

Inoltre, essa è in grado di comunicare via GPRS anche con un webserver dedicato, al quale vengono inviati i dati inerenti lo stato dell'impianto, compresi i parametri di funzionamento delle lampade, quali la tensione, la corrente, il fattore di potenza e il livello di regolazione, ed è predisposta per la segnalazione in tempo reale di eventuali guasti verificatisi a livello dei punti luce mediante l'invio di sms al numero di telefono impostato in fase di programmazione.

All'atto della prima attivazione del sistema, la Collecting Unit invia dei segnali ai vari alimentatori elettronici posti sulla linea da essa gestita e resta in attesa di una loro risposta al fine di identificarli univocamente, tramite il loro serial number, e di inglobarli in una lista il cui ordine può essere modificato a discrezione dell'utente; una volta effettuato ciò, ad ogni accensione del sistema, la centralina ripete tale fase di accredito in maniera molto più breve, avendo già identificato il numero e l'ubicazione dei dispositivi periferici con cui deve comunicare. Ogniqualvolta che, passato un determinato intervallo di tempo, la centralina non riceve alcun segnale della presenza degli alimentatori, essa invia all'utente un "*communication fault*", ossia un messaggio di errore derivante da una mancata comunicazione; inoltre, se il carico posto a valle delle unità periferiche non supera i 10 W per 300 secondi, valori modificabili a discrezione dell'utente, la Collecting Unit fa dei tentativi di riaccensione della lampada per un massimo di venti minuti, trascorsi i quali invia un segnale d'allarme che avverte della presenza di un corpo illuminante guasto.

Un accorgimento essenziale per garantire una comunicazione efficace e caratterizzata da tempistiche di breve entità consiste nel porre le diverse centraline previste per il telecontrollo dei punti luce delle vie considerate a una distanza minima di 500 metri, in modo da evitare che il segnale trasmesso sotto forma di onde convogliate si trasferisca da una linea all'altra per via capacitiva; spesso la disposizione dei quadri elettrici all'interno dei vari territori comunali non evidenzia criticità in tal senso, tuttavia è possibile che si verifichino situazioni nelle quali due diverse linee confluiscono ad esempio in una stessa piazza o in uno stesso incrocio e non rispettino così il vincolo di distanza. In tal caso, durante la prima fase di accreditamento, le centraline in questione si "accordano" e stabiliscono una priorità di azione, a discapito però della tempistica di comunicazione, la cui entità si ripercuote, seppur in misura minore, anche sulle successive fasi di trasmissione dei segnali.

Una buona pratica da seguire in fase di installazione, utile a facilitare l'acquisizione dei dispositivi periferici da parte della Collecting Unit, prevede i seguenti step:

- 1) installare la centralina nel quadro elettrico di riferimento;
- 2) collegare a circa dieci punti luce della linea elettrica a esso sottesa i rispettivi apparecchi elettronici, identificabili nelle Control Box, nel caso di lampade a LED, e negli alimentatori "HID Flat", nel caso di lampade SAP;
- 3) alimentare la centralina, attendendo che tutti i punti luce vengano acquisiti;

- 4) completare l'installazione per la linea considerata ripetendo tale procedura ogni 15/20 lampade.

Per quanto riguarda il collegamento della Collecting Unit al proprio quadro elettrico di riferimento, sono possibili differenti configurazioni a seconda della logica con cui si desidera accendere e spegnere il sistema, la quale deve trovare riscontro nella modalità di funzionamento comunicata alla centralina stessa per mezzo del software di gestione.

Il primo sistema operativo, a cui si riferisce lo schema di collegamento proposto in *figura 75*, è definito *"always on"* in quanto la linea che va ad alimentare i vari punti luce in oggetto viene mantenuta costantemente in tensione e lo stato di on-off delle lampade viene gestito dalla Collecting Unit, la quale invia dei segnali all'interruttore posto all'interno di ciascuna Control Box, determinandone l'apertura e la chiusura negli orari prestabiliti dalla schedulazione impostata.

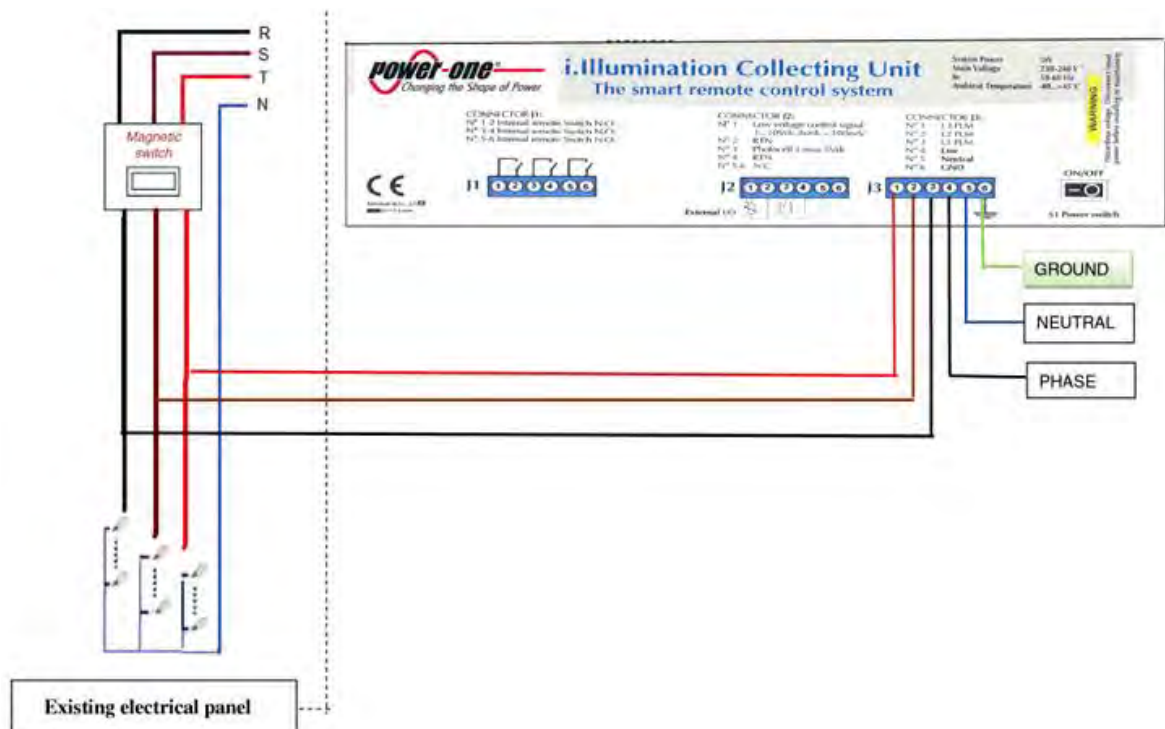


Figura 75 - Collegamento della Collecting Unit in modalità *"always on"* (fonte: Power One, 2011).

Una seconda modalità di funzionamento, che confluisce nello schema di collegamento di *figura 76*, è chiamata *"relay and photocell"* ed è implementabile per tutte le centraline poste all'interno di un quadro elettrico dotato di un interruttore crepuscolare. Tale sistema operativo non presuppone che la linea sia continuamente in tensione anche durante il giorno dal momento che l'atto di accensione e di spegnimento dei punti luce è determinato dalla fotocellula stessa, la quale, a seconda del livello di luminosità percepita, commuta il teleruttore della linea elettrica, chiudendolo e aprendolo, e il relè J2 posto all'interno della centralina.

In particolare, il sistema è intrinsecamente sicuro in quanto, a fronte di un guasto dell'interruttore crepuscolare, la Collecting Unit è in grado, tramite lo stesso relè che va collegato in parallelo alla bobina del teleruttore principale, di agire direttamente su quest'ultimo grazie all'orologio astronomico presente al suo interno e configurato secondo le coordinate specifiche della località di installazione, il quale attiva l'impianto in base alla schedulazione impostata dall'utente tramite il software di gestione.

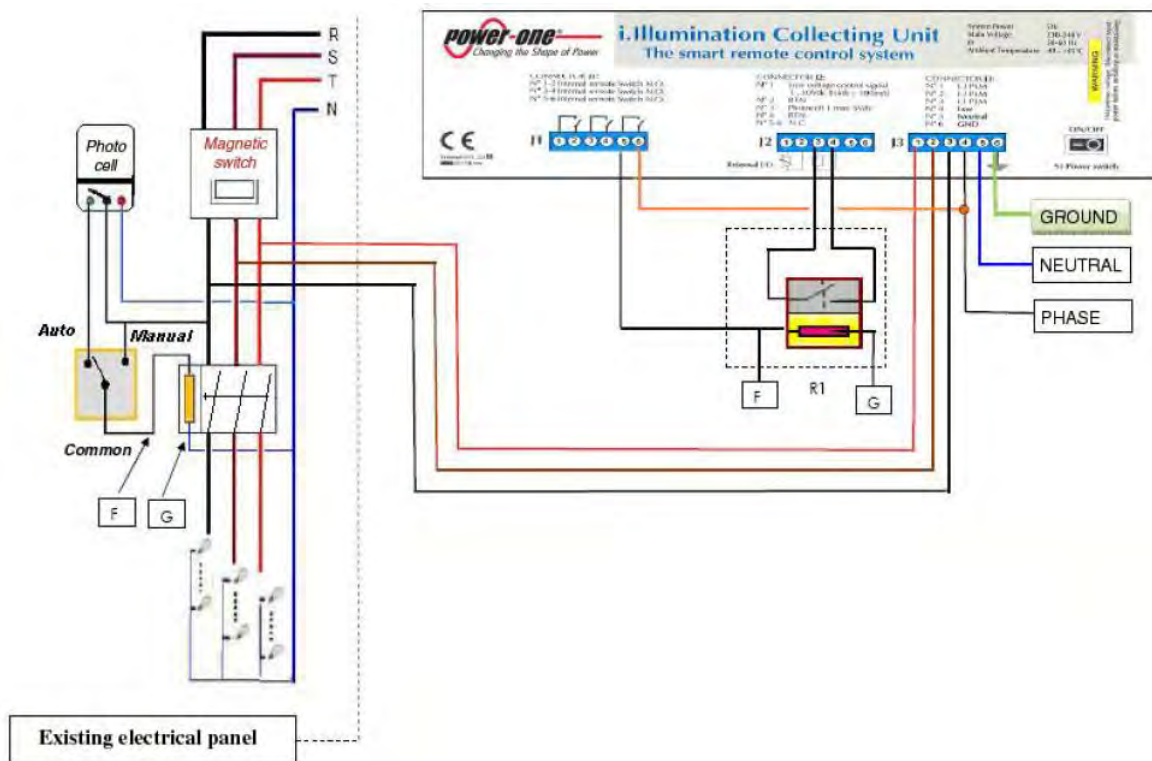


Figura 76 - Schema di collegamento della Collecting Unit in modalità "relay and photocell" (fonte: Power One, 2011).

La terza opzione, già anticipata poc'anzi, è quella relativa alla modalità definita "astronomical clock", il cui principio di funzionamento si basa sull'accensione e sullo spegnimento dell'impianto per mezzo dell'orologio astronomico interno alla Collecting Unit e risulta del tutto analogo a quello dei comuni orologi astronomici di cui sono dotati molti quadri elettrici presenti nelle reti di pubblica illuminazione. Come si evince dallo schema di collegamento proposto in figura 77, il relè della centralina che gestisce accensioni e spegnimenti è quello identificato con "J1", i cui contatti vanno collegati sia alla bobina del teleruttore principale, sia alla fase della linea di alimentazione della centralina, la quale deve essere, come per tutti i casi descritti, sempre alimentata.

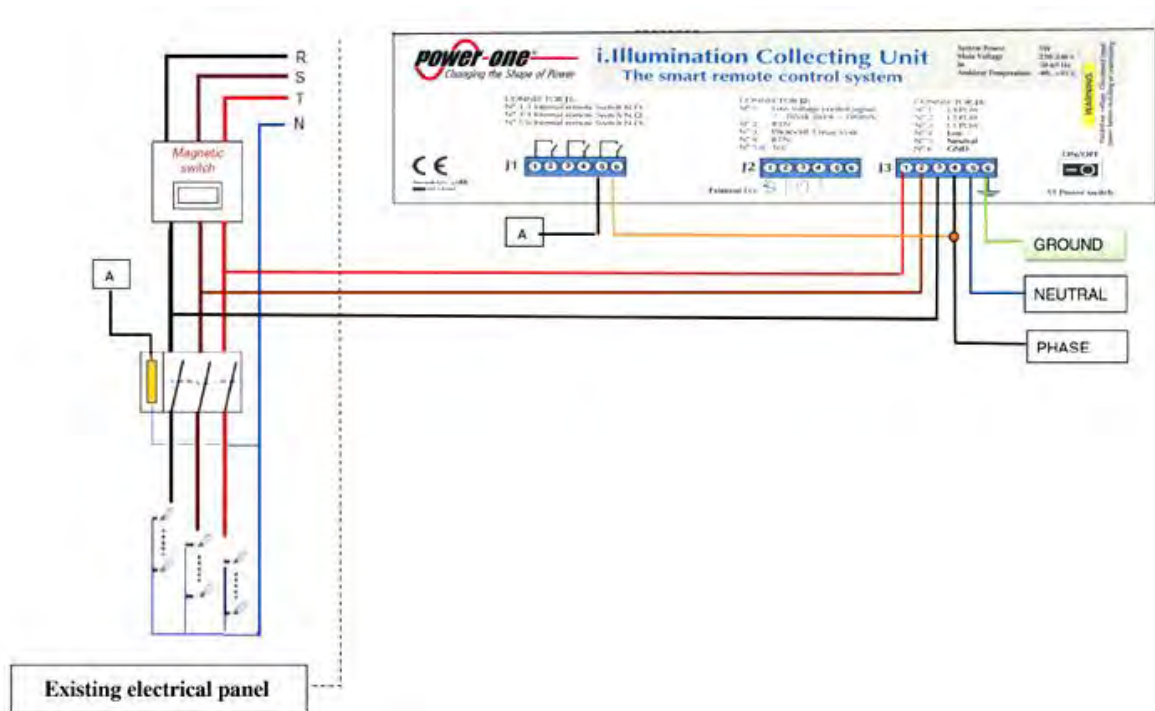


Figura 77 -Schema di collegamento della Collecting Unit in modalità “astronomical clock”
(fonte: Power One, 2011).

3.5.2.3 Il software CB Manager

Lo strumento che conclude la panoramica inerente il sistema di telecontrollo ABB-Power One è costituito dal software di gestione CB Manager, il quale, una volta installato in un qualsiasi computer con sistema operativo Windows, permette di configurare la centralina, impostando i profili di regolazione del flusso luminoso desiderati, i parametri per la comunicazione GSM con il centro di gestione, i parametri per la comunicazione GPRS con il webserver ABB, i dati inerenti la località d’installazione e la logica con la quale si vuole far funzionare il sistema, in relazione ai collegamenti elettrici realizzati in fase di installazione della Collecting Unit. Inoltre, il software consente di visualizzare in qualsiasi istante, grazie ai dati inviati dai dispositivi di controllo periferici alla centralina, lo stato delle lampade collegate, la potenza assorbita e i valori di tensione, corrente e fattore di potenza di funzionamento.

Il settaggio iniziale della Collecting Unit avviene tramite il collegamento della “Porta A” (fig. 78), con il computer tramite un cavo seriale RS 232, attraverso il quale tutti i dati impostati dall’utente vengono comunicati alla centralina stessa. Successive modifiche dei dati di input possono avvenire anche da remoto, tramite comunicazione via GSM tra il modem interno centralina, contenente una scheda SIM abilitata al solo trasferimento dati, e un modem di cui il centro di gestione deve essere dotato.

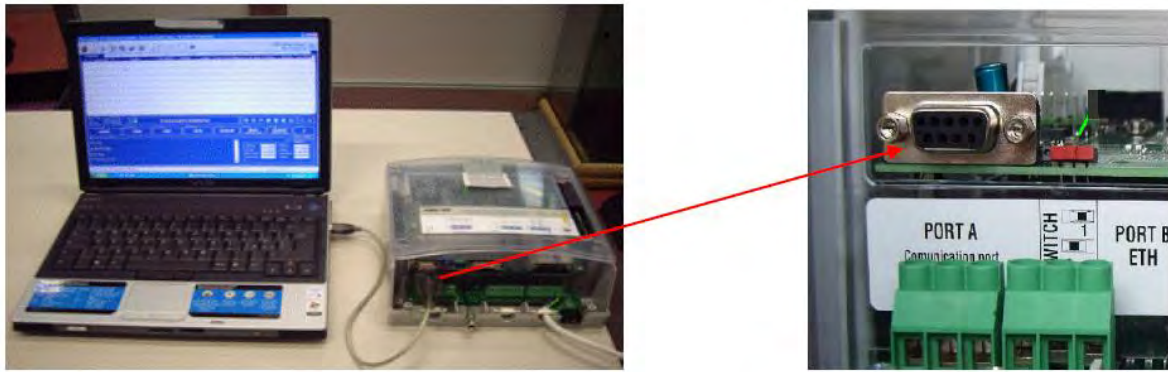


Figura 78 – Collegamento seriale tra la Collecting Unit e il pc (fonte: Power One, 2011).

3.5.3 Le opere di razionalizzazione

Come già accennato, contestualmente all'esigenza di incrementare l'efficienza energetica della rete di illuminazione pubblica del comune di Breda di Piave, il progetto di riqualificazione qui presentato risponde anche alla necessità di realizzare una serie di interventi diffusi volti all'ottimizzazione funzionale dell'impianto esistente e alla sua armonizzazione con il nuovo sistema di telecontrollo.

Facendo riferimento alle ultime tre linee guida presentate all'inizio del *paragrafo 3.5*, l'attività di razionalizzazione di seguito descritta comprende sia un opportuno spostamento di alcune lampade ai vapori di sodio ad alta pressione in zone in cui la sostituzione di sorgenti a vapori di mercurio con altre a LED non è giustificata dal punto di vista illuminotecnico o estetico, sia il recupero di alcuni regolatori di potenza centralizzati e "stand alone" già esistenti.

Una prima voce riguarda le vie che presentano lungo il loro sviluppo longitudinale illuminazione mista con lampade SAP e, in misura minore, con sorgenti a vapori di mercurio, le quali, come già menzionato, sono caratterizzate da temperature di colore correlate differenti ed emanano rispettivamente una luce tendente al giallo e una luce di tonalità bianca; allo scopo di assicurare una migliore uniformità visiva al fruitore della strada, è dunque prevista una sostituzione delle lampade VM con altrettante lampade a vapori di sodio ad alta pressione.

Tutte le vie interessate da tale intervento sono riportate in *tabella 12*, ove è evidenziata la quantità di sorgenti al sodio presenti e di quelle al mercurio da sostituire con lampade da 100 W appartenenti alla prima tipologia, in parte reperibili dalla scorta disponibile nel magazzino comunale (21 lampade) e in parte di nuova acquisizione.

Tabella 12 – Lampade VM da sostituire con SAP per una miglior uniformità luminosa (fonte: Consorzio B.I.M. Piave, 2014).

via	Lampade SAP presenti	Lampade VM da sostituire con SAP
Marche	20	6
per Cavrie' di S. Bart.	23	5
S. Pio X	25	3
Ponteselli	3	1
Levada	16	1
Brigata Emilia	3	1
XXIV Maggio	8	2
Monte Bianco	4	2
Antelao	3	2
Villa del Bosco	4	4
Brugnotto	6	1
TOTALE	115	28

Una seconda opera di razionalizzazione, non solo dal punto di vista estetico ma anche funzionale, consiste nel riservare l'illuminazione con luce a LED, la quale è in grado di riprodurre più fedelmente la resa cromatica degli oggetti illuminati e del manto stradale rispetto alle sorgenti al sodio, alle zone critiche e di maggior interesse che presentano traffico misto di veicoli e pedoni, quali gli incroci e le piazze, e destinare alle lampade SAP il compito di illuminare le zone non principali o periferiche.

In questa ottica rientra il criterio con il quale è stata scelta la tipologia di sorgente luminosa maggiormente adeguata per la sostituzione delle rimanenti 141 lampade a vapori di mercurio; queste ultime sono distribuite nelle vie riportate nella tabella seguente e risultano evidenziate in azzurro se principali e in rosa se periferiche.

Tabella 13 – Disposizione delle rimanenti lampade VM (fonte: Consorzio B.I.M. Piave, 2014).

Via/Piazza	Lampade VM da sostituire
Europa	5
D. Asti	12
Vlo Cannaregio	4
Pertini	20
Einaudi	9
Cav. Di Vitt. V.to	8
p.zza Italia	4
D. Milani	11
Crosa Costantino	4
Casette Davanti	2
Villanova	3
Paralovo	3
del Lavoro	13
delle Industrie	43
TOTALE	141

In particolare, le prime sono vie residenziali nelle quali la frequente presenza di persone giustifica un investimento volto all'acquisizione e all'installazione di nuove lampade a LED, mentre le seconde sono vie non principali dove l'affidabilità e la durata dei corpi illuminanti sono ritenute più rilevanti rispetto alla loro valenza estetica; per tale ragione per le otto lampade a vapori di mercurio delle vie Casette Davanti, Villanova e Paralovo è prevista una sostituzione con lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W di nuova acquisizione, mentre per le 56 rimanenti presenti nella zona industriale di Vacil (via del Lavoro e via delle Industrie) è previsto un avvicendamento con:

- 4 lampade SAP da 100 W prelevate da piazza Olivi;
- 10 lampade SAP da 70 W prelevate da piazza Vittorio Veneto;
- 2 lampade SAP da 100 W prelevate da piazza Cesare Battisti;
- 12 lampade SAP da 100 W prelevate da via Pasteur;
- 10 lampade SAP da 100 W prelevate da via Formentano;
- 18 lampade SAP prelevate da diverse zone conflittuali quali incroci pericolosi, rotatorie e attraversamenti pedonali.

A sostituzione delle lampade prelevate da tali vie è prevista l'installazione di apparecchi a LED di nuova acquisizione, giustificata dalla presenza nelle stesse di traffico misto di pedoni e veicoli; inoltre, per quanto concerne le zone conflittuali di cui all'ultimo punto dell'elenco citato, il ricorso a un fascio di luce concentrato e di tonalità fredda quale quello a LED risponde a un'esigenza di sicurezza poiché consente di mettere in risalto specifici tratti stradali situati lungo tracciati nei quali si ha una prevalente illuminazione con la luce gialla caratteristica del sodio.

Una terza operazione di ottimizzazione funzionale, come anticipato in precedenza, riguarda i regolatori di potenza già esistenti nel territorio comunale. Per quanto concerne quelli centralizzati presenti in via Sg.te Davanzo e in via Pozzi, dal momento che il loro investimento è stato effettuato in tempi non eccessivamente lontani, non è prevista una loro eliminazione a favore di un nuovo sistema di telecontrollo, che tuttavia sarebbe giustificato dal punto di vista del numero dei punti luce sottesi ai quadri interessati, rispettivamente pari a 56 e a 51.

In merito invece ai 35 regolatori di flusso presenti in via San Pio X e in via Trento e Trieste, tracciati principali intersecanti il capoluogo comunale per i quali si prevede un controllo da remoto sia per motivi funzionali che per ragioni annesse alla manutenzione e al rilevamento in tempo reale dei guasti, è stato ipotizzato un loro spostamento a favore di altre lampade SAP presenti in differenti zone del comune, ad esempio quelle da trasferire nella zona industriale sopra citata.

Infine, all'interno delle opere di razionalizzazione previste dal progetto rientra anche l'intervento di adeguamento e di messa in sicurezza delle infrastrutture costituenti la rete di pubblica illuminazione; infatti, i 35 pali in cemento presentati nello stato di fatto sono destinati a essere eliminati e sostituiti con altrettanti sostegni in acciaio o in

vetroresina, meno pericolosi dal punto di vista dell'incolumità delle persone in caso di sinistro stradale in prossimità del punto luce.

3.6 Calcoli illuminotecnici

Un intervento di progettazione o di riqualificazione di una rete di illuminazione pubblica si può considerare realizzato “a regola d’arte” nel momento in cui riesce a coniugare tre esigenze principali: la sicurezza e il comfort degli utenti della strada, siano essi automobilisti, ciclisti o pedoni, la riduzione della spesa energetica sostenuta dalle amministrazioni comunali e il contenimento del flusso disperso, concausa dell'inquinamento luminoso.

In particolare, la necessità di conferire un senso di benessere psicofisico alle persone e di migliorarne la visibilità in orario notturno, che è stata la ragione storica per la quale nel corso dei decenni la rete di illuminazione pubblica si è radicata in maniera sempre più capillare su tutto il territorio nazionale, coincide con specifici requisiti richiesti al sistema di illuminazione stesso, diversificati a seconda del prevalente uso a cui è destinata la strada considerata.

Infatti, per le strade a prevalente o esclusivo traffico pedonale è importante garantire oltre a un livello medio adeguato e sufficientemente uniforme di illuminamento orizzontale e a una corretta limitazione dell'abbagliamento, necessaria all'identificazione delle persone, dell'ambiente circostante e di eventuali ostacoli, anche la valorizzazione di elementi naturali e architettonici mediante sorgenti luminose a elevata resa dei colori.

Per quanto concerne invece gli impianti adibiti all'illuminazione della rete viaria destinata al traffico motorizzato, i requisiti fondamentali e vincolanti per non compromettere la sicurezza degli utenti e per contrastare l'elevato tasso di incidenti notturni sono:

- una opportuna e uniforme luminanza della carreggiata e dei suoi dintorni, atta a garantire il risalto per contrasto di eventuali ostacoli o persone;
- una sicura limitazione dell'abbagliamento, atta a consentire una guida pulita e pronta contro il verificarsi di fenomeni accidentali nelle immediate vicinanze, quali, ad esempio, sinistri stradali tra altre autovetture, perdita di materiale sull'asfalto da parte di autocarri, ecc.

Una buona progettazione non può prescindere dunque da un corretto calcolo illuminotecnico che indirizzi la scelta della tipologia, della potenza e, nel caso di nuova installazione, della disposizione degli apparecchi di illuminazione atti a soddisfare i requisiti stabiliti dalle norme per ciascuna tipologia di tracciato definita nel Codice della Strada, argomento della sezione proposta nel seguito.

3.6.1 La norma UNI 11248

La prima delle due norme di cui si è già fatta menzione all'interno del *paragrafo 3.3*, vale a dire la UNI 11248, consta in una serie di prescrizioni redatte ad ausilio del progettista per la determinazione della categoria illuminotecnica idonea alla tipologia di strada in oggetto, classificata in base alle disposizioni contenute all'interno del *Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285 "Nuovo Codice della Strada"*, successivamente emendato con alcune modifiche e integrazioni.

Oltre a ciò essa fornisce delle linee e dei parametri da seguire per implementare possibili declassificazioni della strada considerata, e quindi della categoria illuminotecnica associata, note la geometria, le caratteristiche e l'uso prevalente della zona di studio e l'influenza dell'ambiente circostante.

In particolare, la norma definisce tre tipi di categorie illuminotecniche:

- la *categoria illuminotecnica di riferimento (o di ingresso)*, assegnata dal *prospetto 1 (tab. 14)* per ciascuna tipologia di tracciato, la cui determinazione non è compito del progettista ma deve essere fornita dalla committenza (in questo caso l'Amministrazione Comunale) oppure dal gestore della strada;
- la *categoria illuminotecnica di progetto*, definita dal progettista a seguito di un'accurata analisi dei rischi volta a identificare le peculiarità della strada in oggetto che consentono di ridurre i requisiti imposti dalla categoria di riferimento o impongono un loro incremento a seconda, ad esempio, dell'assenza o meno di zone conflittuali quali incroci, rotonde, attraversamenti pedonali, ecc.;
- una o più *categorie illuminotecniche di esercizio*, anch'esse derivanti da un'attenta analisi dei rischi volta soprattutto a evidenziare la possibilità di declassificare la strada in esame nelle ore centrali della notte in relazione ai minori valori di traffico riscontrati, con conseguente riduzione dei requisiti illuminotecnici imponibili.

Tabella 14 - Estratto del prospetto 1 della UNI11248:2007 inerente l'identificazione della categoria illuminotecnica di riferimento (fonte: UNI11248:2007).

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

Per ciascuna tipologia di tracciato ricavabile all'interno della classificazione prevista dal "Nuovo Codice della Strada", la categoria illuminotecnica di riferimento definita dalla UNI 11248:2007 si basa sulle condizioni definite all'interno del *prospetto 2* della norma stessa, riproposto in *tabella 15*.

Tabella 15 - Prospetto 2 della UNI11248 inerente i parametri considerati per la formulazione della categoria illuminotecnica di riferimento per le diverse tipologie di strada (fonte: UNI 11248:2007).

Tipo di strada	Parametro di influenza							
	Flusso di traffico	Complessità del campo visivo	Zona di conflitto	Dispositivi rallentatori	Indice di rischio di aggressione	Pendenza media	Indice del livello luminoso dell'ambiente	Pedoni
A ₁	Massimo	Elevata	-	-	-	-	-	-
A ₂		Normale						
B			Assente					
C								
D								
E								
F		Normale	Assenti					
Piste ciclabili	-	-	-	-	<= 2%	Ambiente urbano	Non ammessi	

L'analisi dei rischi può evidenziare una variazione dei parametri di influenza riportati in tabella, consentendo di modificare la categoria illuminotecnica associabile alla strada considerata sia in condizioni di progetto che di esercizio, al fine di consentire la riduzione dei consumi energetici e di garantire al contempo dei requisiti di sicurezza definiti da normativa. Tale analisi fondamentale consta in un sopralluogo per la valutazione della tipologia e dell'entità dei parametri di influenza presenti nel sito considerato, in uno studio preliminare del rischio di insorgenza di eventi potenzialmente pericolosi, classificandoli a seconda della loro frequenza e della loro gravità, e nella pianificazione di interventi su scala prioritaria necessari per assicurare a lungo termine i livelli di sicurezza richiesti da leggi, direttive e norme.

A fronte di tali operazioni è possibile dunque determinare la categoria illuminotecnica di progetto, la quale deve essere valutata considerando il flusso veicolare massimo che può verificarsi nel tipo di strada in esame, indipendentemente dai valori di punta effettivamente registrati nella stessa; spetta infatti alle categorie illuminotecniche di esercizio prevedere eventuali declassificazioni del tracciato in termini di requisiti illuminotecnici tenendo conto degli scenari reali di traffico rilevati.

Come evidenziato nella *tabella 16* (recante il *prospetto 3* della UNI 11248:2007), in cui i valori numerici sono riportati a titolo esemplificativo, è buona norma limitare l'influenza di ogni parametro considerato al più alla variazione di una categoria illuminotecnica, fatto salvo per flussi veicolari inferiori al 25% rispetto alla portata massima.

Tabella 16 – Prospetto 3 della UNI 11248:2007 inerente la variazione dei parametri di influenza (fonte: UNI 11248:2007).

Parametro di influenza		Variazione categoria illuminotecnica	Non si applica a
Compito visivo normale		-1	A ₁
Condizioni non conflittuali			
Flusso di traffico <50% rispetto al massimo			
Flusso di traffico <25% rispetto al massimo		-2	
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali		-1	
Colore della luce	con indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60 si può ridurre la categoria illuminotecnica	-1 ⁴⁾	-
	con indice di resa dei colori minore di 30 si deve incrementare la categoria illuminotecnica	1	
Pericolo di aggressione		1	
Presenza di svincoli e/o intersezioni a raso			
Prossimità di passaggi pedonali			
Prossimità di dispositivi rallentatori			
⁴⁾ In relazione a esigenze di visione periferica verificate nell'analisi dei rischi.			

Gli effetti che l'applicazione di tali scostamenti rispetto ai valori previsti per la categoria di riferimento comportano sulla determinazione delle categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio sono proposti a titolo d'esempio nelle *tabelle 17 e 18* sotto riportate, relative rispettivamente a strade a prevalente uso veicolare e a strade ed aree a traffico misto.

Tabella 17 – Identificazione delle categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio per le strade a traffico veicolare in funzione dei principali parametri di influenza individuati dalla UNI 11248:2007 (fonte: norma CEI 315-4).

Tipo di strada	Portata di servizio per corsia (veicoli/ora)	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di riferimento	Area di conflitto	Complessità campo visivo	Dispositivi Rallentatori	Flusso di Traffico		
								Categoria illuminotecnica di progetto	Categoria illuminotecnica di esercizio	
									100%	50%
A ₁	1100	Autostrade extraurbane	130-150	ME1	-	Normale	-	ME2	ME3a	ME4a
A ₁		Autostrada urbane	130		-	Elevata	-	ME1	ME2	ME3a
A ₂	1100	Strade di servizio alle autostrade	70-90	ME3a	No	Normale	-	ME3a	ME4a	-
						Elevata	-	ME2	ME3a	-
A ₂	1100	Strade di servizio alle autostrade urbane	50		Si	Normale	-	ME2	ME3b	-
						Elevata	-	ME1	ME2	-
B	1100	Strade extraurbane principali	110	ME3a	No	Normale	-	ME3a	ME4a	ME4a
						Elevata	-	ME2	ME3a	ME3a
B	1100	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	ME4a	Si	Ininfluente	-	ME1	ME2	ME2
C	600	Strade extraurbane secondarie (tipo C1e C2)	70-90	ME3a	No	-	-	ME3a	ME4a	ME5
					Si	-	-	ME2	ME3a	ME4a
C	600	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b	No	-	-	ME4a	ME5	ME6
					Si	-	-	ME3c	ME4b	ME5
C	600	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	ME3a	No	-	-	ME3a	ME4a	ME5
					Si	-	-	ME2	ME3a	ME4a
D	950	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a	No	-	-	ME3a	ME4a	ME5
					Si	-	-	ME2	ME3a	ME4a
D	950	Strade urbane di scorrimento	50	ME3a	No	-	-	ME3a	ME4a	ME5
					Si	-	-	ME2	ME3a	ME4a
E	800	Strade urbane interquartiere	50	ME3c	No	-	No	ME3c	ME4b	ME5
						-	Nei pressi	ME2	ME3c	ME4b
					Si	-	No	ME2	ME3c	ME4b
E	800	Strade urbane di quartiere	50	ME3c	No	-	No	ME3c	ME4b	ME5
						-	Nei pressi	ME2	ME3c	ME4b
					Si	-	No	ME2	ME3c	ME4b
F	800	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70-90	ME3a	No	-	-	ME3a	ME4a	ME5
					Si	-	-	ME2	ME3a	ME4a
					F	450	Strade locali extraurbane	50	ME4b	No
Si	-	-	ME3c	ME4b						ME5
F	800	Strade locali urbane (tipo F1 e F2)	50	ME4b	No	-	-	ME4a	ME5	ME6

Tabella 18 - Identificazione delle categorie illuminotecniche di progetto e di esercizio per strade e aree a traffico misto in funzione dei principali parametri di influenza individuati dalla UNI 11248:2007 (fonte: norma CEI 315-4).

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [Km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di riferimento	Area di conflitto	Complessità campo visivo	Dispositivi Rallentatori	Flusso di Traffico			
							Indice rischio di aggressione	Categoria illuminotecnica di progetto		
								100%	50%	25%
F	Strade locali extraurbane	30	S3	No	–	–	–	S3	S4	S5
				Si	–	–	–	S2	S3	S4
F	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30km/h	30	CE4	–	Normale	No	Normale	CE4	CE5	S4
							Elevato	CE3	CE4	CE5
						Nei pressi	Normale	CE3	CE4	CE5
							Elevato	CE2	CE3	CE4
					Elevata	No	Normale	CE3	CE4	CE5
							Elevato	CE2	CE3	CE4
						Nei pressi	Normale	CE2	CE3	CE4
							Elevato	CE1	CE2	CE3
F	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3	–	Normale	No	Normale	CE5	S4	S5
							Elevato	CE4	CE5	S4
						Nei pressi	Normale	CE4	CE5	S4
							Elevato	CE3	CE4	CE5
					Elevata	No	Normale	CE4	CE5	S4
							Elevato	CE3	CE4	CE5
						Nei pressi	Normale	CE3	CE4	CE5
							Elevato	CE2	CE3	CE4
F	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE5/S3	–	–	–	Normale	CE5	S4	S5
							Elevato	CE4	CE5	S4
F	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE/S3	–	–	–	Normale	CE5	S4	S5
							Elevato	CE4	CE5	S4
F	Strade locali interzonali	50/30	CE5/S3	–	–	–	Normale	CE5	S4	S5
							Elevato	CE4	CE5	S4
F	Strade a destinazione particolare	30	S3	Si	–	–	–	S3	S4	S5
				No	–	–	–	S2	S3	S4

Quanto riportato all'interno delle stesse può essere anche implementato sotto forma di uno schema a blocchi recante il percorso logico da seguire per la determinazione delle categorie di progetto e di esercizio; la *figura 79* ne propone un esempio relativamente alle strade locali extraurbane, realizzato considerando la presenza di zone di conflitto quale parametro di influenza per la determinazione della categoria illuminotecnica di progetto e l'entità del flusso veicolare per l'identificazione della categoria di esercizio.

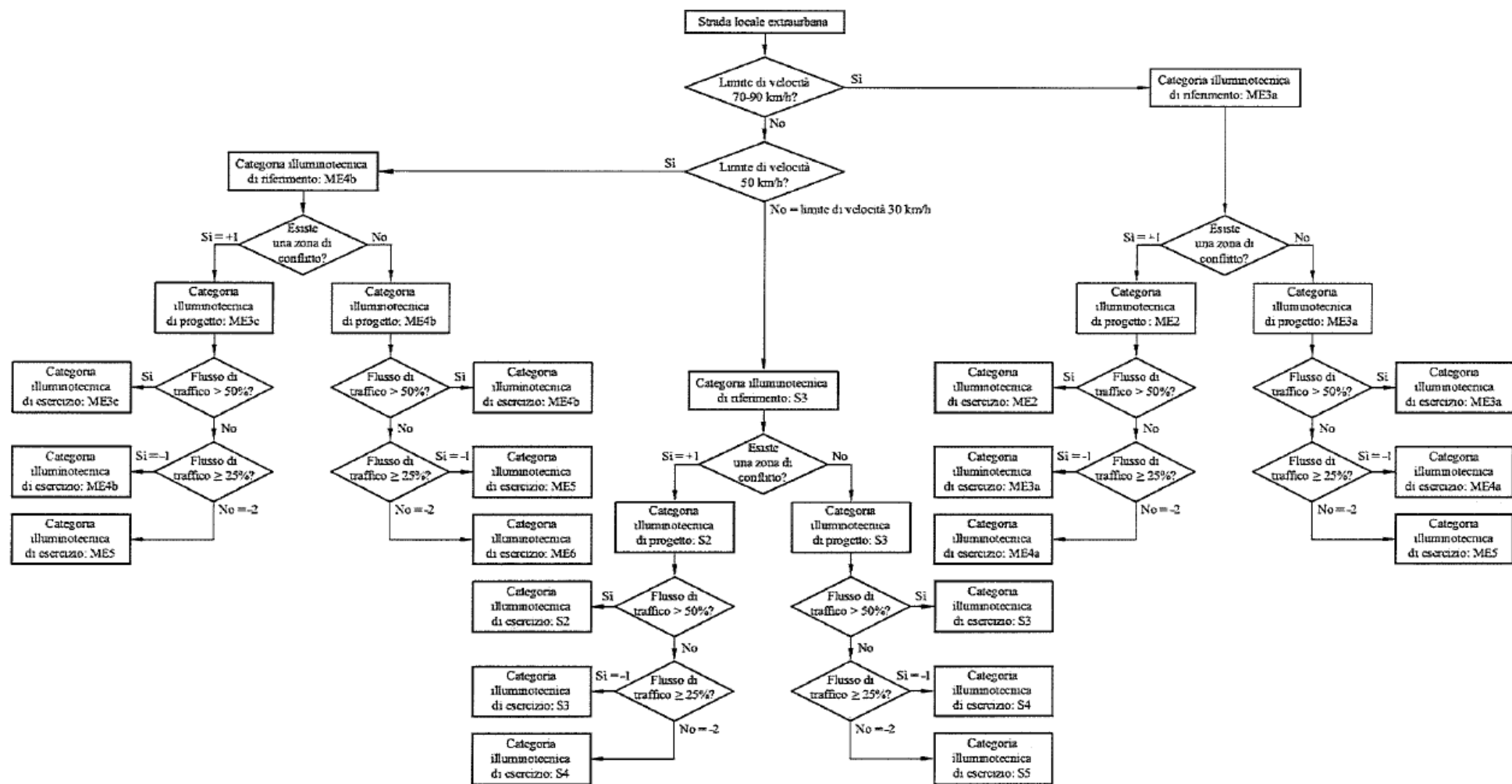


Figura 79 - Esempio di schema a blocchi per la determinazione delle categorie di progetto e di esercizio per strade locali extraurbane (fonte: norma UNI 11248:2007).

Occorre sottolineare che la norma in oggetto ha recentemente subito un processo di revisione, che ha portato all'entrata in vigore a partire dal mese di ottobre del 2012 della nuova UNI 11248:2012; quest'ultima ricalca tutte le linee guida riportate nella versione precedente e appena descritte, tuttavia ha apportato un'unica, ma decisiva, modifica che riguarda il prospetto 1 inerente l'identificazione della categoria illuminotecnica di riferimento (ora definita "di ingresso per l'analisi dei rischi"). In particolare, per tutti i tipi di strada, ad eccezione delle autostrade, le classi di illuminazione riportate nella *tabella 14* sono state sostituite da quelle mostrate nella *tabella 19* sotto riportata, le quali impongono requisiti di luminanza e di illuminamento più restrittivi, andando a limitare la possibilità di regolare il flusso luminoso emesso dalle lampade e quindi di ridurre i consumi energetici imputabili alla rete di illuminazione.

Tabella 19 - Estratto del prospetto 1 della UNI11248:2012 inerente l'identificazione della categoria illuminotecnica di riferimento (fonte: UNI11248:2012).

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi
A ₁	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1
	Autostrade urbane	130	
A ₂	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70 - 90	ME2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	ME2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	ME3b
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	70 - 90	ME2
	Strade extraurbane secondarie	50	ME3b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME2
D	Strade urbane di scorrimento	70	ME2
		50	
E	Strade urbane interquartiere	50	ME2
	Strade urbane di quartiere	50	ME3b
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70 - 90	ME2
	Strade locali extraurbane	50	ME3b
		30	S2
	Strade locali urbane	50	ME3b
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE3
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE4/S2
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	
	Strade locali urbane: centri storici (uteni principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE4/S2
5			
Strade locali interzonali	50	CE4/S2	
	30		
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali	Non dichiarato	S2
	Strade a destinazione particolare	30	

3.6.2 La norma UNI EN 13201-2

La norma UNI 11248 analizzata nella sezione precedente fornisce, come visto, un metodo per la valutazione delle categorie illuminotecniche (o classi di illuminazione) associabili a ciascuna tipologia di strada, ma non definisce alcun requisito illuminotecnico per le stesse.

Il riferimento normativo in grado di colmare tale lacuna è identificabile nella norma UNI EN 13201-2 del 2004, avente come oggetto *“Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti Prestazionali”*; essa, infatti, per ogni singola classe di illuminazione, stabilisce i requisiti in termini di luminanze, illuminamenti, abbagliamento e illuminazione delle aree circostanti che il progettista deve rispettare per garantire ai fruitori della rete viaria una qualità visiva adeguata alla specifica tipologia di strada.

In termini operativi, il progettista deve in primo luogo far riferimento alla norma UNI 11248 per la determinazione della classe illuminotecnica di riferimento e di quelle derivanti dall'analisi dei rischi e, successivamente, consultare le tabelle fornite dalla UNI EN 13201-2 per l'individuazione dei requisiti corrispondenti. In particolare, le classi a cui vengono assegnati i rispettivi requisiti sono suddivise in “serie”, diversificate a seconda della tipologia di strada e della particolare prescrizione per esse prevista, come di seguito riportato (Grattieri et al.; 2012):

- Serie ME – strade con traffico motorizzato e manto stradale asciutto;
- Serie MEW – strade con traffico motorizzato e manto stradale asciutto/umido;
- Serie CE – strade conflittuali con traffico misto, quali strade commerciali, incroci principali, rotonde, sottopassi pedonali, ecc.;
- Serie S – strade pedonali e ciclabili (sono forniti gli illuminamenti orizzontali);
- Serie A – strade pedonali e ciclabili (sono forniti gli illuminamenti emisferici);
- Serie ES – strade pedonali (sono forniti gli illuminamenti semicilindrici);
- Serie EV – strade in presenza di superfici verticali (sono forniti gli illuminamenti verticali).

Le tabelle seguenti riportano il dettaglio per quanto concerne rispettivamente le serie ME, CE, S ed EV.

Tabella 20 - Requisiti illuminotecnici per le classi di illuminazione della serie ME estratti dalla norma UNI EN 13201-2 (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Classe di illuminazione	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto			Abbagliamento debilitante	Illuminazione aree circostanti
	L media [cd/m ²] (minima mantenuta)	U _o (*) (minimo)	UI (**) (minimo)	TI [%] (max)	SR (***) (minima)
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	-

Tabella 21 - Requisiti illuminotecnici per le classi di illuminazione della serie CE estratti dalla norma UNI EN 13201-2 (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Classe di illuminazione	Illuminamento orizzontale		Abbagliamento debilitante
	E medio [lux] (minimo mantenuto)	U _o (minimo)	TI [%] (max)
CE0	50	0,4	10
CE1	30	0,4	10
CE2	20	0,4	10
CE3	15	0,4	10
CE4	10	0,4	15
CE5	7,5	0,4	15

Tabella 22 - Requisiti illuminotecnici per le classi di illuminazione della serie S estratti dalla norma UNI EN 13201-2 (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Classe di illuminazione	Illuminamento orizzontale		Abbagliamento debilitante
	E medio [lux] (minimo mantenuto)	E minimo [lux] (mantenuto)	TI [%] (max)
S1	15	5	15
S2	10	3	15
S3	7,5	1,5	15
S4	5	1	20
S5	3	0,6	20
S6	2	0,6	20
S7	Non determinato	Non determinato	-

Tabella 23 - Requisiti illuminotecnici per le classi di illuminazione della serie EV estratti dalla norma UNI EN 13201-2 (fonte: Grattieri et al.; 2012).

Classe di illuminazione	Illuminamento verticale
	E medio [lux] (minimo mantenuto)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Con riferimento alla simbologia utilizzata nelle stesse, tralasciando le ovvie definizioni di illuminamento medio e di luminanza media e la già fornita definizione di incremento di soglia (TI), i rimanenti parametri possono essere esplicitati come segue:

- Uniformità globale (U_0): rapporto tra il valore minimo e il valore medio di luminanza o di illuminamento (Grattieri et al.; 2012)
- Uniformità longitudinale (U_1): rapporto tra il valore minimo e il valore massimo di luminanza misurata lungo una linea parallela all'asse principale rispetto alla posizione dell'osservatore (Fellin et al.; 1999)
- Surround Ratio (SR): rapporto tra l'illuminamento medio nelle fasce appena al di là dei confini della carreggiata e quello nelle fasce appena all'interno della stessa (EN 13201:2003)

Quest'ultimo parametro va tuttavia considerato solo nel caso in cui non vi siano aree di traffico con requisiti propri adiacenti alla carreggiata.

3.6.3 Introduzione al software di calcolo DIALux

Una componente fondamentale che caratterizza il progetto qui presentato consiste nella validazione delle scelte legate all'installazione e al funzionamento dei sistemi di regolazione del flusso luminoso previsti mediante il ricorso al software DIALux, utile per l'implementazione dei calcoli illuminotecnici necessari a svolgere un'analisi predittiva della realtà e a garantire che le decisioni progettuali prese rispettino le norme specificate nelle sezioni precedenti. Infatti, sia la selezione della potenza nominale dei corpi illuminanti di nuova installazione, sia il calcolo preliminare dei risparmi conseguibili attraverso la riduzione della potenza assorbita dai punti luce nuovi ed esistenti nelle fasi di esercizio in cui le norme lo consentono, richiedono l'ausilio di metodi che siano al contempo accurati e di immediata applicazione per il calcolo dell'illuminamento e della luminanza della zona di studio considerata.

Come detto, il software utilizzato nella presente trattazione è DIALux, il quale utilizza come modello di calcolo il cosiddetto “metodo di *radiosity*”, che permette di ottenere dati quantitativi precisi e una rappresentazione grafica media dell’ambiente complessivo, suddividendo la zona di studio in un certo numero di celle costituenti la *mesh*, ovvero la griglia di calcolo, e calcolando i livelli medi di energia luminosa presenti sulla superficie stessa (Bisegna et al.; 2010).

Il metodo di *radiosity* è stato sviluppato sulla base delle teorie di trasmissione del calore e si basa sul principio di conservazione dell’energia, secondo il quale si può assumere che tutta la luce che è proiettata verso una superficie e non viene da essa assorbita, viene riflessa dalla stessa; tale principio confluisce in una serie di equazioni di bilancio, una per ogni elemento costituente la griglia di calcolo, la cui soluzione rappresenta l’illuminamento globale delle superfici implementate. Una volta determinata la soluzione del sistema di equazioni, la visualizzazione grafica dei risultati, che prende il nome di *rendering*, risulta indipendente dal punto di vista e la scena realizzata può essere ruotata tridimensionalmente per evidenziare gli effetti della luce da qualsiasi angolo di osservazione (www.dial.de; 2014).

In particolare, l’intensità luminosa che si riscontra su ciascuna superficie è data da due contributi, ovvero dalla quota parte di luce che essa stessa emette, come nel caso delle sorgenti luminose, e dalla parte di luce riflessa, la quale a sua volta dipende dalle riflessioni che avvengono nell’ambiente circostante e raggiungono la superficie stessa, implementate nel modello matematico attraverso l’introduzione dei fattori di forma.

Le considerazioni sopra esposte consentono di introdurre la seguente equazione differenziale:

$$B_{dAi}dA_i = M_{dAi}dA_i + \rho_{dAi} \int_j B_{dAj}F_{dAj-dAi}dA_j \quad (3.1)$$

dove, con riferimento alla *figura 80* sotto riportata,

- B_{dAi} rappresenta la *radiosity*, ossia flusso di energia per unità di area, dell’elemento differenziale i -esimo dA_i ;
- M_{dAi} rappresenta l’emittanza (flusso di energia emesso per unità di area) dell’elemento differenziale i -esimo;
- ρ_{dAi} rappresenta il coefficiente di riflessione dell’elemento differenziale i -esimo;
- $F_{dAj-dAi}$ rappresenta il fattore di forma, avente valore compreso tra 0 e 1, il quale esprime la quantità di luce che, emessa dall’elemento di area infinitesima dA_j raggiunge l’elemento di area infinitesima dA_i (*fig. 81*).

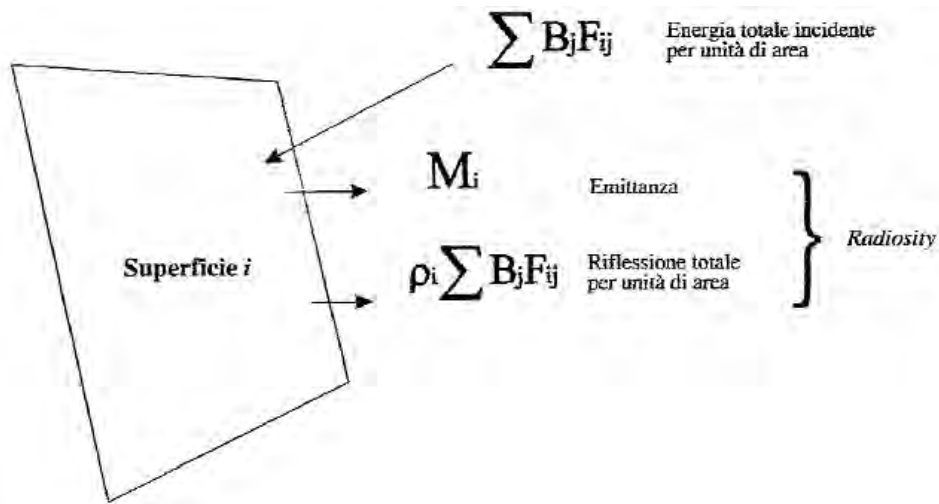


Figura 80 - Bilancio di radiosity su una superficie (fonte: Fellin et al.; 1999).

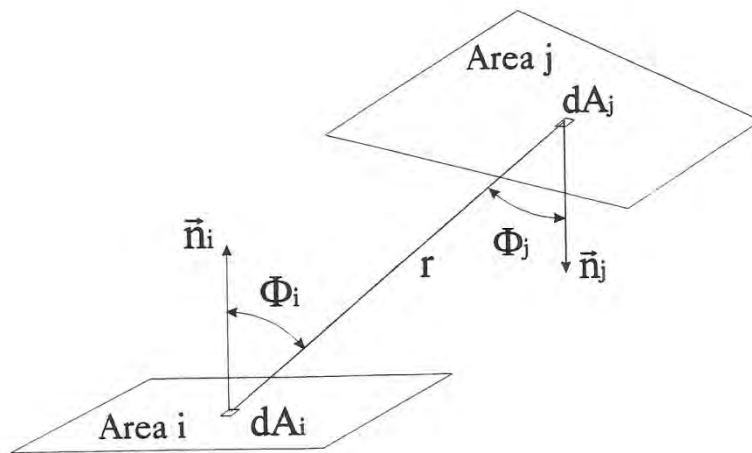


Figura 81 - Fattori di forma (fonte: Fellin et al.; 1999).

Passando attraverso la discretizzazione delle superfici e riconducendo il problema all'analisi degli elementi finiti, tale equazione, assumendo che la *radiosity* non vari sull'elemento finito, diventa:

$$B_{Ai}A_i = M_{Ai}A_i + \rho_{Ai} \sum_j B_{Aj}F_{Aj-Ai}A_j \quad (3.2)$$

Nota la seguente relazione di reciprocità che lega i fattori di forma dell'elemento di area A_i e di quello di area A_j :

$$F_{Ai-Aj}A_i = F_{Aj-Ai}A_j \quad (3.3)$$

e dividendo ambo i membri dell'equazione (3.2) per il termine A_i , si ottiene quindi:

$$B_{Ai} = M_{Ai} + \rho_{Ai} \sum_j B_{Aj} F_{Ai-Aj} \quad (3.4)$$

Estendendo tale analisi a tutti gli N elementi costituenti la griglia di calcolo, è possibile scrivere, secondo la forma matriciale sotto riportata, un sistema di N equazioni lineari indipendenti risolvibile, con garanzia di convergenza, utilizzando il *metodo di Gauss-Seidel* (Fellin et al.; 1999):

$$(3.5) \quad \begin{bmatrix} 1 & -\rho F_{1,2} & \cdot & -\rho F_{1,N-1} & -\rho F_{1,N} \\ -\rho F_{2,1} & & \cdot & -\rho F_{2,N-1} & -\rho F_{2,N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -\rho F_{N-1,1} & -\rho F_{N-1,2} & \cdot & & -\rho F_{N-1,N} \\ -\rho F_{N,1} & -\rho F_{N,2} & & -\rho F_{N,N-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ B_{N-1} \\ B_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{N-1} \\ M_N \end{bmatrix}$$

Occorre tuttavia notare che, dal punto di vista dei calcoli illuminotecnici aventi come zona di studio una superficie stradale, l'influenza della luce riflessa sull'illuminamento globale della stessa assume un peso poco rilevante rispetto a quello della luce emessa dalle sorgenti luminose e diverso a seconda delle caratteristiche dell'ambiente circostante; per tale ragione i calcoli riportati nel seguito sono riferiti esclusivamente all'illuminazione della superficie stradale per effetto dei corpi illuminanti inseriti, in modo tale da mantenere un profilo di aderenza ai requisiti illuminotecnici imposti dalle norme suddette. All'interno di queste ultime, infatti, non vi sono riferimenti in merito a contributi indiretti dovuti a edifici posti sul ciglio della strada o a contributi luminosi dovuti a sorgenti non adibite alla pubblica illuminazione, motivo per cui, anche inserendo la superficie stradale implementata all'interno di una scena esterna comprensiva di alberi, edifici e quant'altro, DIALux consente di implementare un calcolo a norma non considerando gli effetti sulla soluzione luminosa dovuti a tali oggetti.

Per quanto concerne l'onere computazionale, quest'ultimo, come evidenziato in *figura 82*, aumenta con legge esponenziale al diminuire del passo di griglia, ovvero della grandezza delle celle in cui viene suddivisa la zona di studio ai fini del calcolo.

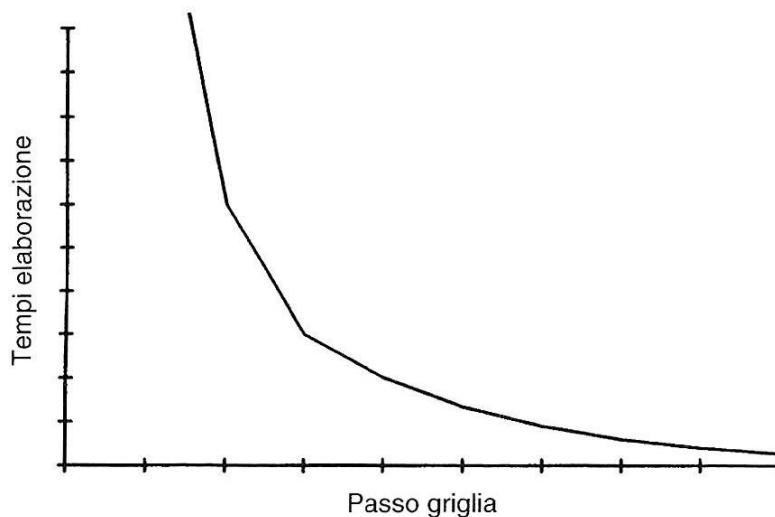


Figura 82 - Tempo di elaborazione in funzione del passo di griglia (Fonte: Fellin et al.; 1999).

Dal punto di vista dell'accuratezza dei risultati, la soluzione ottimale consisterebbe nel far tendere il passo a 0, in modo da evidenziare al meglio le differenze tra i punti adiacenti; tuttavia, al fine di non incrementare in maniera improponibile il tempo-macchina, il software utilizza l'algoritmo di Stockmar sotto riportato, il quale fornisce il passo di griglia massimo applicabile a una superficie da non superare per mantenere un livello di accuratezza sufficiente (Fellin et al., 1999; www.dial.de, 2014):

$$P = 0,2 \cdot 5^{\log_{10} D} \quad (3.6)$$

dove

- P rappresenta il passo di griglia massimo;
- D rappresenta la dimensione più lunga caratterizzante superficie.

L'utente risulta quindi sollevato dal gravoso compito di dover scegliere il passo della griglia di calcolo, la quale dovrà essere in particolare più fitta nelle zone caratterizzate da elevati gradienti di illuminamento, in quanto DIALux è in grado di riconoscere queste ultime e di creare la *mesh* opportuna in grado di coniugare accuratezza dei risultati e onere computazionale, sfruttando la cosiddetta "Adaptive Meshing", o maglia adattiva (Favaretti; 2011).

3.6.4 La classificazione delle pavimentazioni

Il dato con cui il software di calcolo tiene conto del fatto che il manto stradale non riflette il flusso luminoso ricevuto in maniera uniforme, ma secondo una certa distribuzione delle luminanze che dipende dalla tipologia di pavimentazione implementata, consiste proprio nell'identificazione e nell'inserimento della classe

della superficie, al fine di tener conto delle proprietà fotometriche del manto stradale in maniera più fedele possibile alla realtà.

In particolare, tali proprietà sono caratterizzate dalla ripartizione spaziale del cosiddetto *coefficiente di luminanza* q , il quale, per ogni punto P costituente il reticolo di calcolo, è dato dal rapporto tra la luminanza e l'illuminamento sul punto stesso, che dipende sia dalla posizione della sorgente, sia da quella dell'osservatore di riferimento. La *figura 83* sotto riportata, estratta dalla norma EN 13201-3, illustra una schematizzazione di riferimento utile per il calcolo della luminanza nel punto P e identifica con il numero 2 la direzione dell'intensità luminosa dalla sorgente al punto e con i numeri 1 e 3 le posizioni rispettivamente del centro fotometrico della sorgente stessa e dell'osservatore, la cui direzione di mira rispetto alla superficie stradale si suppone, per semplicità, inclinata di un angolo α pari a 1° : tale ipotesi trae giustificazione dal fatto che i vari punti del tratto stradale di maggior interesse per il conducente di un veicolo sono visti sotto angolazioni non troppo discoste da quella citata, nell'intorno della quale le caratteristiche di riflessione del manto stradale non risentono di variazioni sostanziali.

Le altre grandezze geometriche di rilievo proposte nella figura in esame sono:

- l'angolo β compreso tra le proiezioni sulla carreggiata delle due direzioni di incidenza (sorgente-punto e punto-osservatore) della luce di osservazione;
- l'angolo di inclinazione γ rispetto alla verticale con cui la sorgente emette l'intensità luminosa in direzione del punto P;
- l'altezza h di installazione del corpo illuminante.

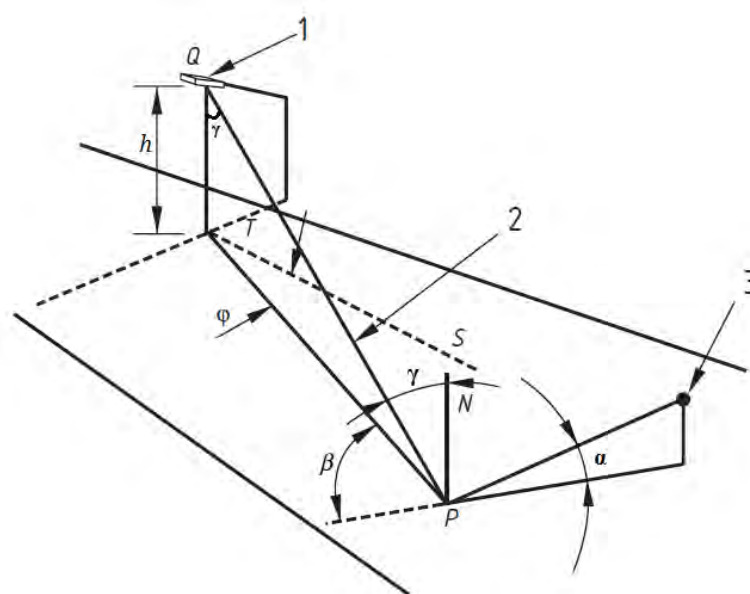


Figura 83 - Schema di riferimento per il calcolo della luminanza di un punto della carreggiata (fonte: EN 13201-3:2003).

Come anticipato in precedenza, il coefficiente di luminanza, individuato per ciascuna coppia di valori angolari β e γ caratterizzanti il punto della superficie stradale in oggetto, è definito dal seguente rapporto:

$$q(\beta, \gamma) = \frac{L}{E} \quad (3.7)$$

in cui l'illuminamento E nel punto P può essere espresso, riprendendo l'equazione (1.6) introdotta al *sottoparagrafo 1.2.3* e notando che l'angolo ϑ coincide con l'angolo γ introdotto poc'anzi, tramite la relazione seguente:

$$E = I \cos^3 \gamma / h^2 \quad (3.8)$$

dove I rappresenta l'intensità luminosa diretta dal centro fotometrico della sorgente al punto P.

Di conseguenza, la luminanza del medesimo punto della carreggiata risulta pari a:

$$L = q I \cos^3 \gamma / h^2 \quad (3.9)$$

Se all'illuminazione del punto P concorrono poi più sorgenti che emettono la stessa intensità e sono poste alla stessa altezza h , la luminanza totale in tale punto è data dalla sommatoria delle singole luminanze dovute a ciascuna sorgente:

$$L = \sum_i L_i = \sum_i q_i I \cos^3 \gamma_i / h^2 \quad (3.10)$$

Come evidenziato nella *figura 84* sottostante, i punti luce che contribuiscono alla determinazione di tale luminanza sono solamente quelli posti lungo un tratto di strada che si estende, a partire dalla prima sorgente individuata, per $4h$ nel senso di marcia del guidatore e per $12h$ in direzione opposta.

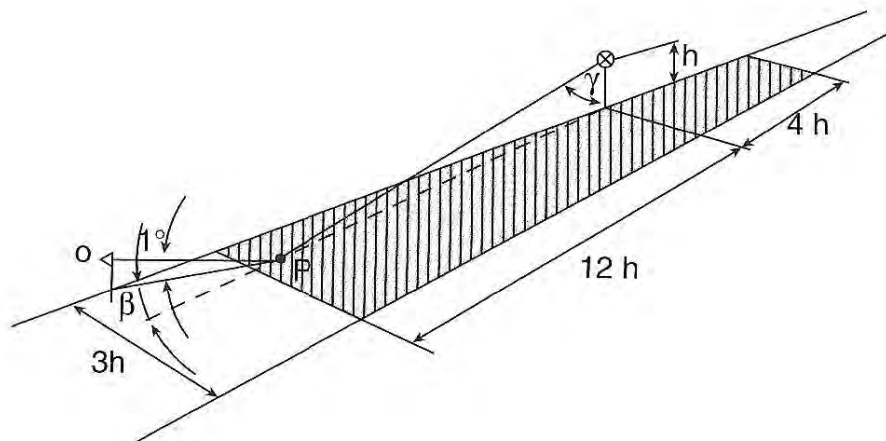


Figura 84 – Campo utile per la misura della luminanza prodotta da più sorgenti in un punto della carreggiata (fonte: Fellin et al.; 1999).

La rilevazione del coefficiente di luminanza può essere eseguita direttamente sul campo utilizzando una sorgente, montata a un'altezza h rispetto alla superficie stradale e avente una distribuzione luminosa sferica nella zona inferiore in modo che l'intensità emessa in tutte le direzioni incidenti sulla pavimentazione sia costante, e misurando per diverse coordinate definite dagli angoli β e γ la corrispondente luminanza; dal momento che h e l sono costanti per tutti i punti, quest'ultima assume valori proporzionali a:

$$r = q \cos^3 \gamma \quad (3.11)$$

dove il nuovo parametro introdotto, indicato con la lettera r , prende il nome di *coefficiente di luminanza ridotto*, di cui la CIE fornisce dei valori tabulati in funzione degli angoli β e γ per le due tipologie di manto stradale normalizzate. In particolare, si può quindi distinguere tra la classe normalizzata C1, riportata in *tabella 24*, e la classe normalizzata C2, proposta in *tabella 25*; i valori numerici riportati all'interno di entrambe vanno moltiplicati per 10^{-4} al fine di ottenere il dato reale desiderato.

**Tabella 24 - Valori del coefficiente di luminanza ridotto per pavimentazioni di classe C1
(fonte: UNI EN 11248:2012).**

β tg ε	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770	770
0,25	710	708	703	710	712	710	708	708	707	704	702	708	698	702	704	714	708	724	719	723
0,5	586	582	587	581	581	576	570	567	564	556	548	541	531	544	546	562	566	587	581	589
0,75	468	467	465	455	457	446	430	420	410	399	390	383	373	384	391	412	419	437	438	445
1	378	372	373	363	347	331	314	299	285	273	263	260	250	265	278	295	305	318	323	329
1,25	308	304	305	285	270	244	218	203	193	185	179	173	173	183	194	207	224	237	238	245
1,5	258	254	251	229	203	178	157	143	134	128	124	120	120	132	140	155	163	177	179	184
1,75	217	214	205	182	153	129	110	100	95	90	87	84	88	98	103	116	123	134	137	138
2	188	181	174	142	116	95	80	73	69	64	62	64	64	72	78	88	95	105	108	109
2,5	145	136	121	90	66	53	46	41	39	37	36	36	39	44	50	55	60	66	69	71
3	118	108	87	57	41	32	28	26	25	23	22	23	25	28	31	37	41	45	47	51
3,5	97	87	64	39	26	20	18	17	16	15	15	16	17	19	23	27	30	33	35	37
4	80	69	50	29	17	14	13	12	11	11	11	11	13	16	17	19	22	26	27	29
4,5	70	58	37	21	13	10	9	8	8	8	8	9	10	12	14	16	17	20	21	22
5	60	51	29	15	9	7	7	6	6	6	6	7	7	9	10	12	14	17	17	18
5,5	52	41	23	12	7	6	6	6	5	4										
6	48	36	19	8	6	5	5	5	5											
6,5	44	32	17	7	6	5	5	5												
7	41	28	14	6	5	4	4	4												
7,5	37	26	12	6	4	3	3													
8	34	23	11	5	4	3	3													
8,5	32	21	9	5	4	3	3													
9	29	19	8	4	3	3														
9,5	27	17	7	4	3	3														
10	26	16	6	3	3	3														
10,5	25	16	6	3	2	1														
11	23	15	6	3	2	1														
11,5	22	14	6	3	2															
12	21	14	5	3	2															

Tabella 25 - Valori del coefficiente di luminanza ridotto per pavimentazioni di classe C2
(fonte: UNI EN 11248:2012).

β tg ε	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
0,25	362	358	371	364	371	369	362	357	351	349	348	340	328	312	299	294	298	288	292	281
0,5	379	368	375	373	367	359	350	340	328	317	306	280	266	249	237	237	231	231	227	235
0,75	380	375	378	365	351	334	315	295	275	256	239	218	198	178	175	176	176	169	175	176
1	372	375	372	354	315	277	243	221	205	192	181	152	134	130	125	124	125	129	128	128
1,25	375	373	352	318	265	221	189	166	150	136	125	107	91	93	91	91	88	94	97	97
1,5	354	352	336	271	213	170	140	121	109	97	87	76	67	65	66	66	67	68	71	71
1,75	333	327	302	222	166	129	104	90	75	68	63	53	51	49	49	47	52	51	53	54
2	318	310	266	180	121	90	75	62	54	50	48	40	40	38	38	38	41	41	43	45
2,5	268	262	205	119	72	50	41	36	33	29	26	25	23	24	25	24	26	27	29	28
3	227	217	147	74	42	29	25	23	21	19	18	16	16	17	18	17	19	21	21	23
3,5	194	168	106	47	30	22	17	14	13	12	12	11	10	11	12	13	15	14	15	14
4	168	136	76	34	19	14	13	11	10	10	10	8	8	9	10	9	11	12	11	13
4,5	141	111	54	21	14	11	9	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	10	10	11
5	126	90	43	17	10	8	8	7	6	6	7	6	7	6	6	7	8	8	8	9
5,5	107	79	32	12	8	7	7	7	6	5										
6	94	65	26	10	7	6	6	6	5											
6,5	86	56	21	8	7	6	5	5												
7	78	50	17	7	5	5	5	5												
7,5	70	41	14	7	4	3	4													
8	63	37	11	5	4	4	4													
8,5	60	37	10	5	4	4	4													
9	56	32	9	5	4	3														
9,5	53	28	9	4	4	4														
10	52	27	7	5	4	3														
10,5	45	23	7	4	3	3														
11	43	22	7	3	3	3														
11,5	43	22	7	3	3															
12	42	20	7	4	3															

La conoscenza della ripartizione del coefficiente di luminanza ridotto permette di calcolare per ciascuna pavimentazione due parametri globali caratterizzanti la stessa: il *fattore di specularità* e il *coefficiente medio di luminanza*.

Il fattore di specularità è dato dal rapporto tra i coefficienti di luminanza ridotti ottenuti considerando un angolo β pari a 0° e valori della tangente dell'angolo γ rispettivamente pari a 2 e a 0, come esplicitato dalla seguente relazione (Fellin et al.; 1999):

$$S_1 = \frac{r(\beta = 0^\circ; \tan \gamma = 2)}{r(\beta = 0^\circ; \tan \gamma = 0)} \quad (3.12)$$

Le due pavimentazioni normalizzate C1 e C2 sono caratterizzate da valori del fattore di specularità rispettivamente pari a 0,24 e a 0,97. Tutte le superfici stradali che presentano valori inferiori a 0,24 possono essere assimilate alla pavimentazione C1 e pertanto per i calcoli inerenti la distribuzione delle luminanze su di esse può essere utilizzata la *tabella 24*; al contrario quelle che presentano fattori di specularità superiori a 0,24 possono essere assimilate alla pavimentazione C2.

Mentre il fattore S_1 esprime il grado di specularità del manto stradale, ossia l'entità con la quale la superficie riflette in maniera più o meno direzionale la luce, il coefficiente medio di luminanza Q_0 ne esprime la "chiarezza" in quanto rappresenta la media dei coefficienti di luminanza della pavimentazione, pesata con i rispettivi angoli solidi; esso può essere espresso come segue (norma UNI EN 11248:2012):

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega} \int_0^{\Omega} q(\beta, \gamma) d\Omega = \frac{1}{\Omega} \int_0^{\Omega} \frac{r(\beta, \gamma)}{\cos^3 \gamma} d\Omega \quad (3.13)$$

dove Ω è l'angolo solido misurato da un elemento di superficie stradale considerato (posto nell'intorno del punto P) e contenente tutte le direzioni di provenienza della luce in grado di contribuire in modo apprezzabile alla luminanza dell'elemento stesso; esso viene inoltre assunto convenzionalmente pari all'angolo solido sotteso da un'area, parallela al suolo e posta a un'altezza h da esso, che si estende per $3h$ a destra e a sinistra dell'elemento di superficie, per $4h$ verso la posizione dell'osservatore e per $12h$ nella direzione opposta a quest'ultimo (*fig. 85*).

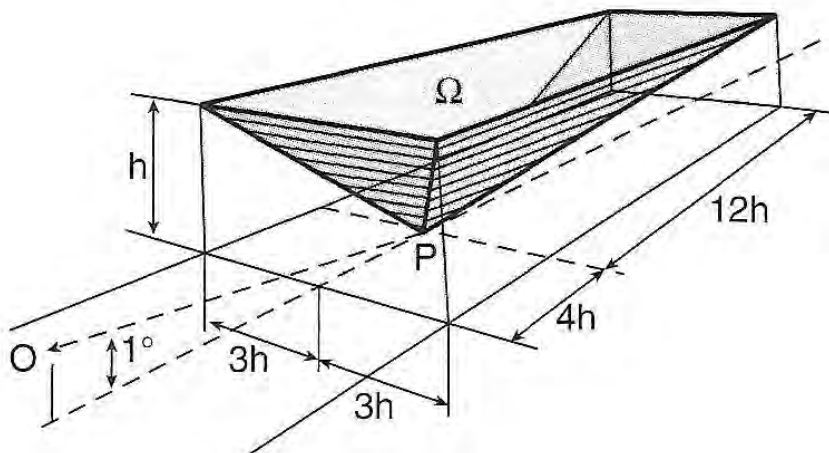


Figura 85 - Rappresentazione grafica dell'angolo solido considerato nel calcolo del coefficiente medio di luminanza (fonte: Fellin et al.; 1999).

I valori di Q_0 normalizzati corrispondenti alle due classi di pavimentazione C1 e C2 sono rispettivamente pari a 0,1 e a 0,07; qualora non sia possibile caratterizzare una pavimentazione mediante una serie di misurazioni inerenti la distribuzione del

coefficiente di luminanza è possibile avere un'indicazione in merito a tale ripartizione seguendo le seguenti operazioni:

- misurare il fattore di specularità e scegliere la classe normalizzata in base alla gamma di valori permessi, come illustrato in precedenza e riproposto nella tabella riassuntiva sotto riportata;
- moltiplicare i valori del coefficiente di luminanza ridotto della classe selezionata per il rapporto tra il coefficiente medio di luminanza misurato e quello normalizzato.

Tabella 26 - Classificazione delle pavimentazioni stradali (fonte: Fellin et al.; 1999).

Classe	Pavimentazione normalizzata			Gamma dei fattori di specularità appartenenti ad ogni classe
	Tabella delle r	Fattore di specularità S_1	Coefficiente medio di luminanza Q_0	
C1	C1	0,24	0,1	$S_1 \leq 0,4$
C2	C2	0,97	0,07	$S_1 > 0,4$

Tenuto conto del fatto che le pavimentazioni stradali impiegate in Italia rientrano normalmente all'interno delle classi C1 e C2, in mancanza del dato relativo al fattore di specularità si può ritenere la classe C1 rappresentativa delle pavimentazioni in calcestruzzo e la classe C2 di quelle in asfalto.

Tornando dunque all'implementazione del calcolo illuminotecnico in DIALux, dal momento che tutte le strade del comune di Breda di Piave analizzate sono realizzate in calcestruzzo, all'interno della sezione degli input inerenti le caratteristiche del manto stradale è stata selezionata la classe C1 con il relativo coefficiente medio di luminanza (0,1).

3.6.5 Casi di studio

I calcoli illuminotecnici proposti nella presente sezione, e riportati per esteso all'interno dell'*Appendice C*, assolvono a una funzione esemplificativa inerente i casi di riferimento ai quali la quasi totalità degli interventi previsti dal progetto qui presentato si rifanno.

Essi consistono in particolare in verifiche effettuate al fine di validare, secondo i dettami delle norme sopra presentate, le scelte progettuali fatte in termini di tipologia e di potenza delle lampade a LED di cui è prevista l'installazione; inoltre, tramite detti calcoli illuminotecnici sono stati esaminati anche dei possibili scenari di riduzione della potenza emessa dagli apparecchi nuovi ed esistenti come conseguenza della

declassificazione dal punto di vista illuminotecnico delle strade prese in considerazione a fronte delle analisi dei rischi effettuate.

3.6.5.1 Il caso di via Formentano

Via Formentano, una cui sezione è illustrata in *figura 86*, è una strada insita nel contesto residenziale del capoluogo di Breda di Piave che collega le parallele via Termine e via San Pio X; quest'ultima confluisce poi in via Piave, la quale mette in comunicazione Breda con la frazione Saletto, tramite via Bovon, e con il limitrofo comune di Maserada.



Figura 86 - Sezione di via Formentano.

Come si evince dalla figura suddetta, tale tracciato è costituito da una carreggiata, di larghezza complessivamente pari a 4 metri, la quale nella sezione iniziale è ripartita in due corsie (una per ogni senso di marcia) e nella porzione posta oltre l'attraversamento pedonale è costituita da un'unica corsia a senso unico; essa è inoltre affiancata da una pista ciclabile, adibita anche alla circolazione dei pedoni, avente una larghezza di 1,5 metri.

Il sistema predisposto all'illuminazione della via comprende, allo stato attuale, dieci lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, di cui solamente la metà regolarmente in esercizio, per le quali le opere di razionalizzazione funzionale di cui al *sottoparagrafo 3.5.3* prevedono uno spostamento nella zona industriale di Vacil e una sostituzione con lampade a LED.

In particolare, la soluzione proposta prevede il mantenimento dei pali di sostegno presenti, aventi un'altezza pari a cinque metri e un'interdistanza mediamente pari a circa 20 metri, e l'avvicinamento degli apparecchi illuminanti esistenti con dei corpi SOLED LED, scelti dal catalogo AEC ILLUMINAZIONE per la loro capacità di inserirsi in

maniera armoniosa all'interno del contesto residenziale considerato, grazie alle fattezze estetiche apprezzabili in *figura 87*.



Figura 87 - Rappresentazione del corpo illuminante SOLED LED (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Per quanto concerne gli aspetti tecnici, la lampada scelta per la simulazione illuminotecnica di via Formentano, estesa poi a tutte le strade aventi caratteristiche analoghe a quest'ultima, è la SOLED OH ST 4.5-18, la quale è costituita da 18 LED, disposti secondo l'ottica asimmetrica adatta all'illuminazione stradale descritta dal diagramma fotometrico di *figura 88*, in grado di emettere una luce di tonalità bianca neutra con un indice di resa cromatica pari a 70.

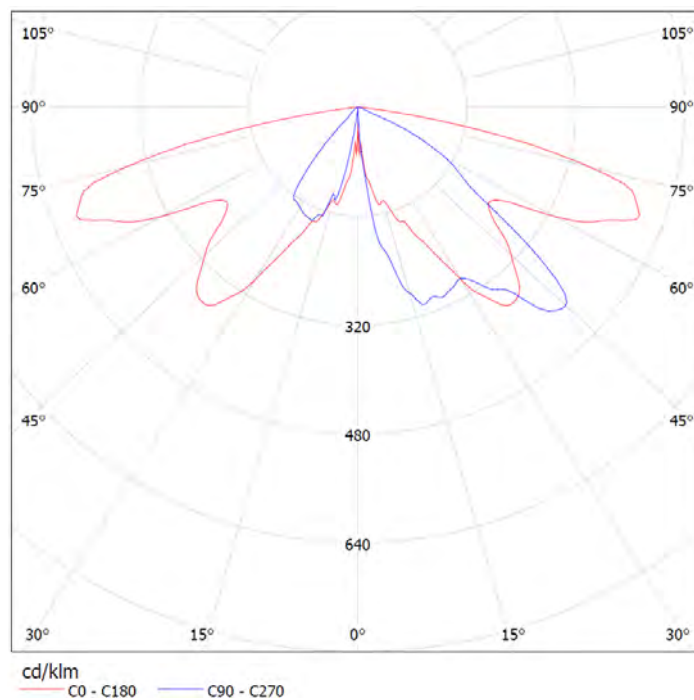


Figura 88 - Diagramma fotometrico SOLED OH ST 4.5-18 (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

In condizioni nominali di temperatura ambiente, pari a 25°C, l'apparecchio nel suo complesso presenta inoltre una potenza di 30 W, un flusso luminoso emesso di 2.460 lm e un'efficienza pari a 82 lm/W; per tener conto della variabilità di tali grandezze al modificarsi delle condizioni meteorologiche esterne, il costruttore fornisce dei coefficienti moltiplicatori della potenza assorbita e del flusso luminoso emesso, tabulati in funzione della temperatura ambiente e riportati nel seguito. Per ricavare poi l'efficienza dell'apparecchio nella specifica condizione di funzionamento è sufficiente rapportare tra loro i due parametri suddetti, pesati con i rispettivi coefficienti.

Tabella 27 - Coefficienti moltiplicatori della potenza assorbita dall'apparecchio SOLED LED al variare della temperatura ambiente (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Ta (°C)	Moltiplicatore
50	0,99
25	1,00
0	1,01

Tabella 28 - Coefficienti moltiplicatori del flusso luminoso emesso dall'apparecchio SOLED LED al variare della temperatura ambiente (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Ta(°C)	Moltiplicatore
50	0,95
40	0,97
25	1,00
15	1,01
5	1,02
0	1,03

Tornando all'analisi del tracciato considerato, come si evince dal segnale di obbligo messo in risalto in *figura 86* il limite di velocità per i veicoli che vi transitano è pari a 30 km/h, motivo per cui esso è stato indicato, ai sensi del "prospetto 1" della norma UNI EN 11248:2012, come facente parte della tipologia "*Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali e zone 30*", a cui corrisponde la categoria illuminotecnica d'ingresso per l'analisi dei rischi CE3.

L'itinerario ciclo-pedonale adiacente alla carreggiata rappresenta una zona di studio a parte, a cui va assegnata una categoria illuminotecnica differente che impone requisiti prestazionali specifici, ma che deve al contempo essere compatibile con quella attribuita alla carreggiata stessa in modo da non generare eccessive difformità luminose; in tal senso, il *prospetto 5* della norma sopra citata fornisce una tabulazione in cui a ciascuna classe di illuminazione propria della sezione stradale di riferimento, per la quale il livello luminoso raccomandato è il più elevato, è associata una categoria illuminotecnica per le zone adiacenti che presenta un livello luminoso comparabile ed è quindi posta all'interno della stessa colonna, come riportato nella tabella seguente.

Tabella 29 – Comparazione di categorie illuminotecniche associabili a zone della strada tra loro adiacenti (fonte: UNI EN 11248:2012).

Categoria Illuminotecnica								
	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

Nello specifico, avendo assegnato alla carreggiata di via Formentano la categoria illuminotecnica CE3, la corrispondente classe da attribuire al percorso ciclo-pedonale adiacente è la S1; tuttavia, dal momento che la stessa norma suggerisce di evitare un differenza maggiore di due categorie tra le diverse zone di studio, anche la classe S2 può essere selezionata.

Nota la classificazione della strada in esame, la categoria illuminotecnica di progetto, sulla quale si fondano i calcoli in condizioni nominali con l'impianto acceso a piena potenza, è stata ricavata a fronte di un'attenta analisi dei rischi.

In primo luogo, la presenza di una scuola elementare nella via considerata e di un parco giochi nella vicina via Pasteur evidenziano l'elevato afflusso di bambini che interessa la zona, con conseguente necessità per gli automobilisti e per i ciclisti di evitare velocità troppo sostenute e disattenzioni di vario tipo. Tuttavia, tale criticità si manifesta solo in determinati orari della giornata, coincidenti con l'inizio delle lezioni (8:00-8:30) e la fine dell'attività scolastica (12:30-13:00 per le lezioni mattutine e 16:00-16:30 per quelle pomeridiane), nei quali l'impianto di illuminazione non entra in funzione oppure può essere chiamato solamente a migliorare la visibilità in condizioni di luce crepuscolare durante i mesi invernali.

Un ulteriore elemento preso in considerazione è dato dalla presenza di un attraversamento pedonale, con dispositivo rallentatore di velocità posto in corrispondenza allo stesso, nei pressi dell'incrocio con via Pasteur; tale parametro di influenza, che determinerebbe un incremento dei requisiti prestazionali richiesti al sistema di illuminazione, è tuttavia controbilanciato dalla presenza di una segnaletica cospicua che limita l'insorgere di situazioni potenzialmente pericolose.

Infine, considerando il fatto che, al di fuori delle fasce orarie sopra citate, la complessità del campo visivo può essere ritenuta normale, le categorie illuminotecniche di progetto che prescrivono i requisiti prestazionali che il sistema di illuminazione proposto, basato sulla tipologia di lampada a LED sopra descritta, deve soddisfare risultano rispettivamente:

- la classe CE4 per la carreggiata;
- la classe S3 per il percorso ciclo-pedonale.

Impostate dunque tali categorie in DIALux, all'interno delle sezioni relative al campi di valutazione dei due elementi stradali suddetti, e implementate le caratteristiche geometriche del tracciato e la disposizione dei corpi illuminanti, i risultati elaborati

dal software evidenziano la bontà della soluzione proposta in quanto tutti i requisiti fotometrici risultano rispettati.

In particolare, la carreggiata presenta un illuminamento medio E_m , distribuito secondo le curve isolux riportate in *figura 89*, pari a 12,43 lux, maggiore quindi dei 10 lux minimi prescritti dalla norma UNI EN 13201-2 per la classe CE3, e un'uniformità globale U_0 pari a 0,48, che supera il minimo di 0,40 richiesto.

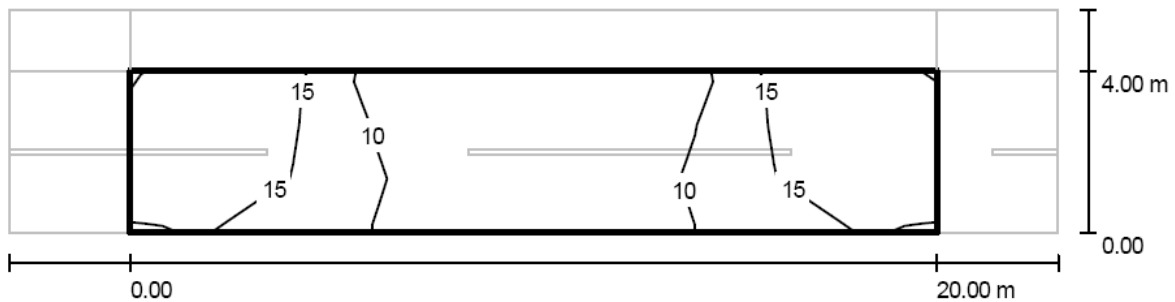


Figura 89 - Curve isolux in condizioni di progetto per la carreggiata di via Formentano.

Per quanto riguarda il percorso ciclo-pedonale, caratterizzato dalle linee isolux di *figura 90*, i vincoli imposti dalla norma sopra citata per la classe di illuminazione S3 sono inerenti l'illuminamento medio e l'illuminamento minimo che devono essere garantiti, rispettivamente pari a 7,50 lux e a 1,50 lux. Anche in questo caso gli output forniti dal software soddisfano i requisiti fissati, presentando per la configurazione implementata un illuminamento medio di 8,98 lux e uno minimo di 4,32 lux.

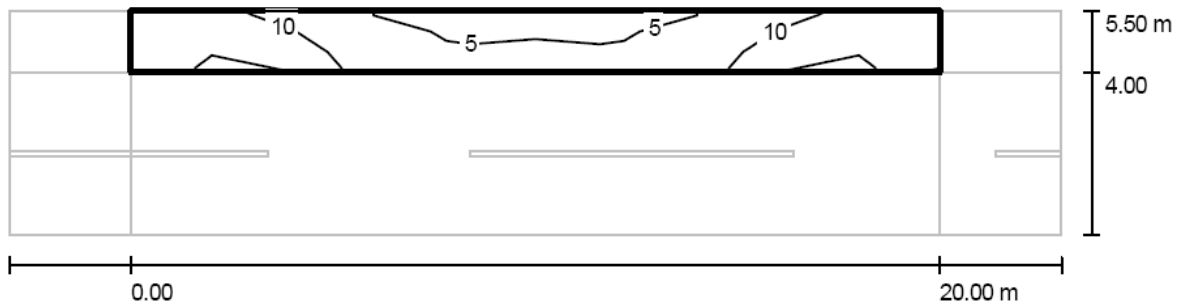


Figura 90 - Curve isolux in condizioni di progetto per il percorso ciclo-pedonale di via Formentano.

All'interno degli output forniti dal programma di calcolo e presentati nell'*Appendice C* sono inoltre riportati, sia per la carreggiata che per il percorso ciclo-pedonale, i valori:

- dell'illuminamento minimo E_{min} ;
- dell'illuminamento massimo E_{max} ;
- del rapporto tra gli illuminamenti minimo e medio;
- del rapporto tra gli illuminamenti minimo e massimo.

Nonostante non vi sia alcun vincolo in merito, la valutazione degli ultimi due rapporti riveste comunque fondamentale importanza dal momento che essi offrono

indicazione di come la luce investe in maniera più o meno uniforme la pavimentazione stradale: valori troppo bassi non garantirebbero una qualità dell'illuminazione soddisfacente, incrementando la possibilità di insorgenza di coni d'ombra tra un punto luce e l'altro che renderebbero difficoltoso il compito visivo da parte dell'utente della strada.

L'adozione dei sopra citati dispositivi elettronici per la regolazione del flusso luminoso rappresenta, come detto, una soluzione per assolvere alle necessità di risparmio energetico e di contenimento dell'inquinamento luminoso in fase di funzionamento dell'impianto di illuminazione.

Per tale motivo, oltre al calcolo illuminotecnico di progetto sopra descritto, è stato ritenuto opportuno individuare una categoria illuminotecnica di esercizio, caratterizzata da vincoli meno restringenti rispetto a quelli precedentemente presentati, in modo da consentire il contenimento dei consumi energetici nelle ore notturne in cui il flusso veicolare è ridotto.

In particolare, ipotizzando un traffico più che dimezzato rispetto alla portata massima associata alla tipologia di strada considerata, sia la carreggiata che il percorso ciclo-pedonale di via Formentano hanno subito la riduzione di una categoria illuminotecnica, ricadendo rispettivamente all'interno delle classi CE5 e S4.

Il calcolo in condizioni di esercizio è stato implementato considerando un flusso luminoso emesso dalle sorgenti SOLED LED pari a 1.484 lm, corrispondente a una riduzione del 40% rispetto alle condizioni nominali; potendo inoltre considerare per un'apparecchiatura a LED una curva di decadimento della potenza assorbita proporzionale a quella di riduzione del flusso luminoso, la potenza associabile a ogni singola lampada in condizioni di esercizio risulta pari a circa 18 W.

Mantenendo invariati i parametri inerenti la disposizione geometrica dei punti luce e le caratteristiche della strada, il nuovo calcolo illuminotecnico implementato ha condotto per entrambi gli elementi del tracciato a valori che soddisfano i vincoli prescritti dalla norma per le rispettive classi; infatti, gli output forniti dal software offrono:

- per la carreggiata un illuminamento medio di 7,50 lux e un'uniformità globale pari a 0,48;
- per il percorso ciclo-pedonale un illuminamento medio di 5,42 lux e un illuminamento minimo pari a 2,60 lux.

Come si evince dalle curve isolux riportate nelle *figure 91 e 92* proposte nel seguito, gli indici che rapportano l'illuminamento minimo all'illuminamento medio e a quello massimo risultano inoltre praticamente inalterati rispetto al caso precedente, evidenziando come la riduzione del flusso luminoso non vada a compromettere l'uniformità dell'illuminamento del manto stradale nel suo complesso.

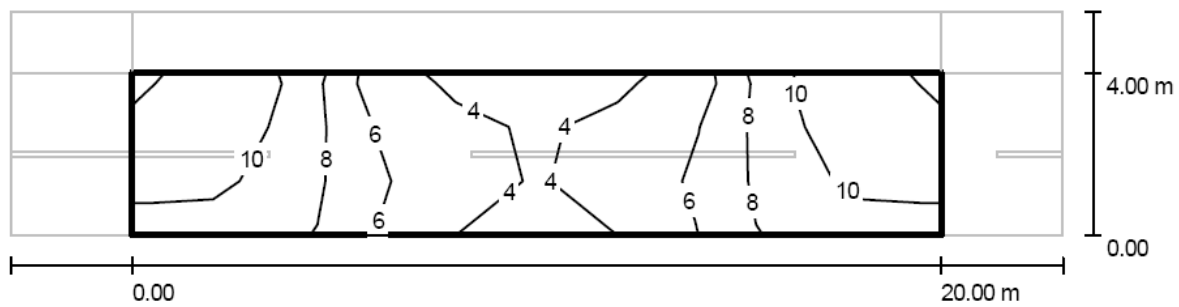


Figura 91 - Curve isolux in condizioni di esercizio per la carreggiata di via Formentano.

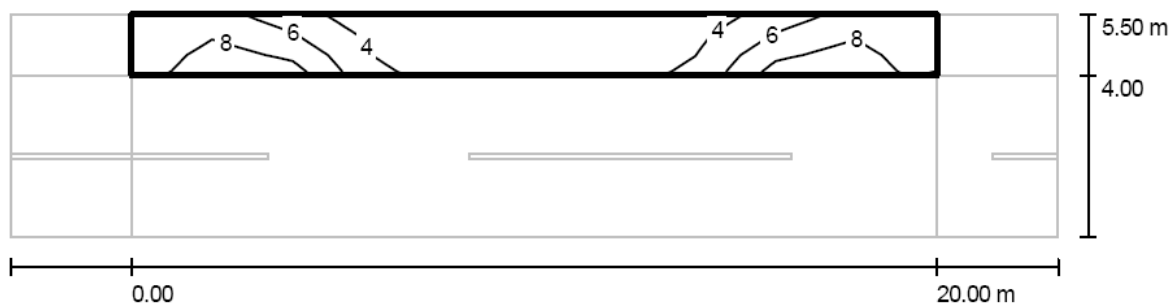


Figura 92 - Curve isolux in condizioni di esercizio per il percorso ciclo-pedonale di via Formentano.

3.6.5.2 Il caso di via don Milani

Via don Milani è una strada residenziale di breve lunghezza (misura circa un centinaio di metri), laterale di via XII ottobre; quest'ultima collega via XXIV maggio, passante per il centro di San Bartolomeo, a via Indipendenza, la quale confluisce poi nella via Cal Bassa che conduce alla frazione chiamata Fagarè della Battaglia, appartenente al limitrofo comune di San Biagio di Callalta.

La strada in oggetto è costituita da una carreggiata, suddivisa in due corsie di tre metri di larghezza ciascuna, e da un marciapiede largo un metro; nonostante presenti caratteristiche analoghe alla via trattata in precedenza e sia stato anch'esso classificato come strada locale urbana con limite di velocità di 30 km/h, per tale tracciato è stato realizzato un calcolo illuminotecnico ad hoc implementando una soluzione con una tipologia di lampada a LED che meglio si adatta, rispetto a quella utilizzata nel caso precedente, ai pali di sostegno "a sbraccio" evidenziati in *figura 93*.



Figura 93 - Sezione di via don Milani.

Il corpo illuminante preso in considerazione per tutte le vie da illuminare con luce a LED che presentano tale tipologia di palo è la lampada selezionata dal catalogo AEC ILLUMINAZIONE denominata ITALO 1 LED, la quale è riportata in *figura 94* ed è disponibile anche nella versione con attacco a braccio oltre che in quella con attacco testa-palo. Nella specifica applicazione relativa alla strada in oggetto, i punti luce presentano un'interdistanza di circa 15 metri e un'altezza di montaggio delle sorgenti luminose pari a circa 8 metri, con un braccio lungo un metro e inclinato verso l'alto rispetto al piano orizzontale di un angolo pari a 5° circa.



Figura 94 - Rappresentazione del corpo illuminante ITALO 1 LED (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Il particolare modello di lampada scelto è denominato ITALO 1 STU-M 4.5-2M ed è caratterizzato dall'ottica asimmetrica rappresentata nel diagramma fotometrico di figura 95, la quale lo rende adatto all'illuminazione stradale e ciclopedonale; tale apparecchio è costituito da due moduli LED, aventi una potenza complessiva di 27 W, e in condizioni nominali di temperatura ambiente assorbe una potenza globale pari a 32,5 W ed emette un flusso luminoso pari a circa 3.210 lm.

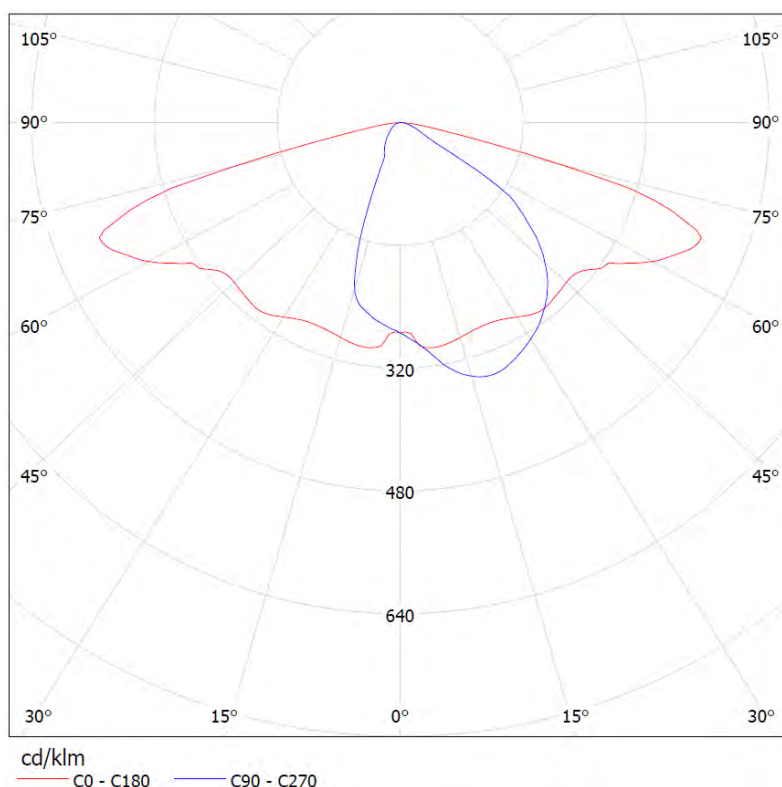


Figura 95 - Diagramma fotometrico ITALO 1 STU-M 4.5-2M (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Per quanto riguarda lo scostamento di detti parametri dai valori nominali in presenza di temperature ambiente diverse dai 25°C, come per l'apparecchio SOLED LED il costruttore fornisce dei coefficienti moltiplicatori, che per la potenza assorbita sono gli stessi proposti per la tipologia di lampada utilizzata in via Formentano, mentre per il flusso luminoso emesso sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 30 - Coefficienti moltiplicatori del flusso luminoso emesso dall'apparecchio ITALO 1 al variare della temperatura ambiente (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Ta(°C)	Moltiplicatore
50	0,94
40	0,96
25	1,00
15	1,02
5	1,04
0	1,05

Come per la via trattata in precedenza, la categoria illuminotecnica di ingresso selezionata per la carreggiata è la CE3, compatibile con le classi S1 e S2 che possono essere associate al marciapiede adiacente.

L'analisi dei rischi eseguita ha successivamente richiamato l'attenzione su un unico parametro di influenza particolarmente rilevante ai fini della determinazione della categoria illuminotecnica di progetto, il quale si identifica con l'assenza di condizioni conflittuali rilevanti nella zona in esame; tale considerazione ha permesso di operare una declassificazione della sezione stradale utilizzata dagli utenti principali, gli automobilisti, con conseguente riduzione anche della classe associata al marciapiede adiacente, ed è confluita in una configurazione caratterizzata dalle seguenti categorie illuminotecniche:

- CE4 per la carreggiata;
- S3 per il marciapiede.

La verifica illuminotecnica realizzata implementando all'interno del software DIALux sia le caratteristiche geometriche della strada, sia la disposizione e la modalità di montaggio dei corpi illuminanti sopra descritte, ha evidenziato una rispondenza di tutti i parametri calcolati ai requisiti prestazionali prescritti dalle categorie illuminotecniche selezionate.

Infatti, per quanto riguarda la carreggiata, il valore di illuminamento medio fornito come output dal software è pari a 12,96 lux, superiore rispetto al minimo di 10 lux da mantenere, mentre l'uniformità globale ottenuta, pari a 0,75, risulta maggiore di 0,4, valore minimo imposto dalla norma; inoltre, per quanto concerne il marciapiede adiacente, i valori calcolati di illuminamento medio e di illuminamento minimo sono rispettivamente pari a 10,41 lux e a 7,58 lux, entrambi abbondantemente superiori rispetto ai limiti minimi previsti per la classe S3.

Rispetto alla soluzione proposta in via Formentano, quella implementata per la strada in questione presenta un'uniformità di illuminamento migliore per entrambe le sue componenti in termini di rapporto tra i valori di illuminamento minimo e medio e di illuminamento minimo e massimo, come si evince anche dalle curve isolux riportate nelle *figure 96 e 97*; ciò trae giustificazione principalmente dal fatto che la configurazione proposta per via don Milani è caratterizzata da una maggiore altezza di montaggio dei corpi illuminanti e da una minore interdistanza tra i punti luce esistenti, nonché da lampade costituite da gruppi ottici differenti che emettono luce secondo curve fotometriche diverse.

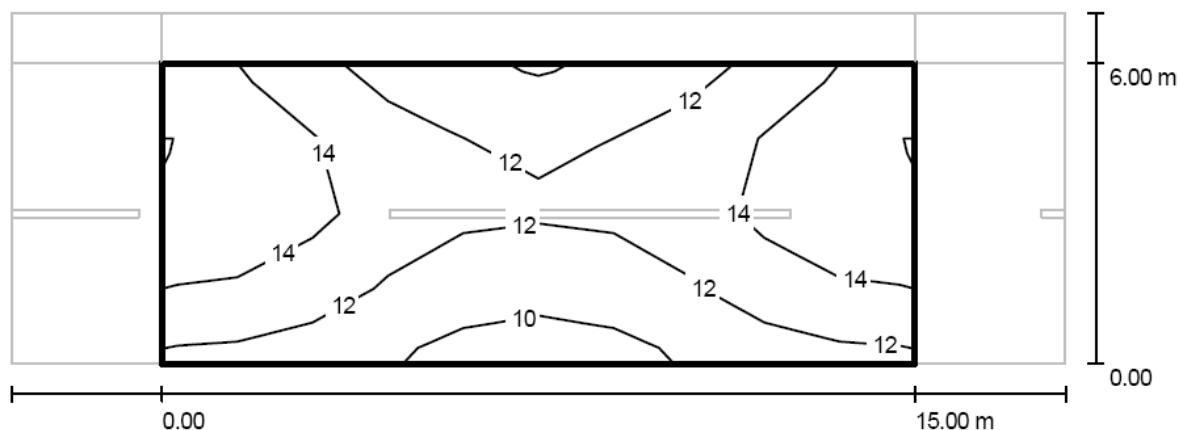


Figura 96 - Curve isolux in condizioni di progetto per la carreggiata di via don Milani.

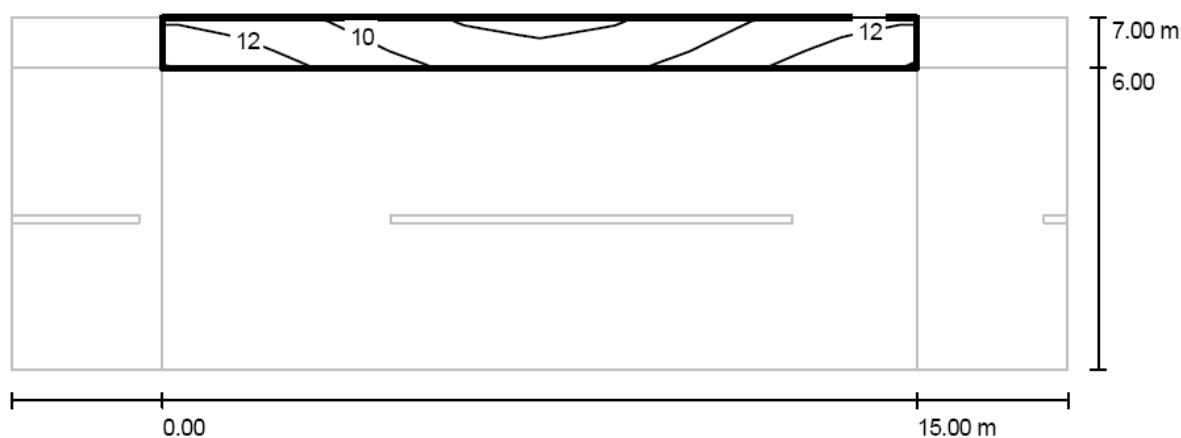


Figura 97 - Curve isolux in condizioni di progetto per il marciapiede di via don Milani.

Come fatto per la via precedentemente trattata, anche in questo caso è stata definita una categoria illuminotecnica di esercizio utile a consentire una riduzione del flusso emesso dalle sorgenti luminose ai fini del contenimento dei consumi energetici; in particolare, considerato che durante le ore centrali della notte il traffico veicolare risulta fortemente ridotto rispetto alla portata massima specifica per la tipologia di strada considerata, sia la carreggiata che il marciapiede sono stati declassati di una categoria illuminotecnica, ricadendo rispettivamente all'interno della classe CE5 e S4.

La riduzione dell'entità dei requisiti prestazionali richiesti dalle suddette categorie rispetto alle condizioni di progetto è tale da consentire una diminuzione del flusso luminoso emesso dalle lampade anche del 40%, come dimostrano i calcoli illuminotecnici implementati in DIALux; dall'analisi degli output forniti dal software, si evince la rispondenza della soluzione implementata a tutti i requisiti richiesti, avendo ottenuto:

- per la carreggiata un illuminamento medio di 7,78 lux e un'uniformità globale di 0,75;

- per il marciapiede un illuminamento medio di 6,24 lux e un illuminamento minimo di 4,55 lux.

Anche in condizioni di esercizio, l'uniformità degli illuminamenti che interessano il manto stradale non risulta compromessa e si attesta attorno a valori pressoché identici a quelli caratterizzanti il funzionamento in condizioni di progetto; la distribuzione delle curve isolux per i due elementi della strada sono rappresentate nelle figure sotto proposte.

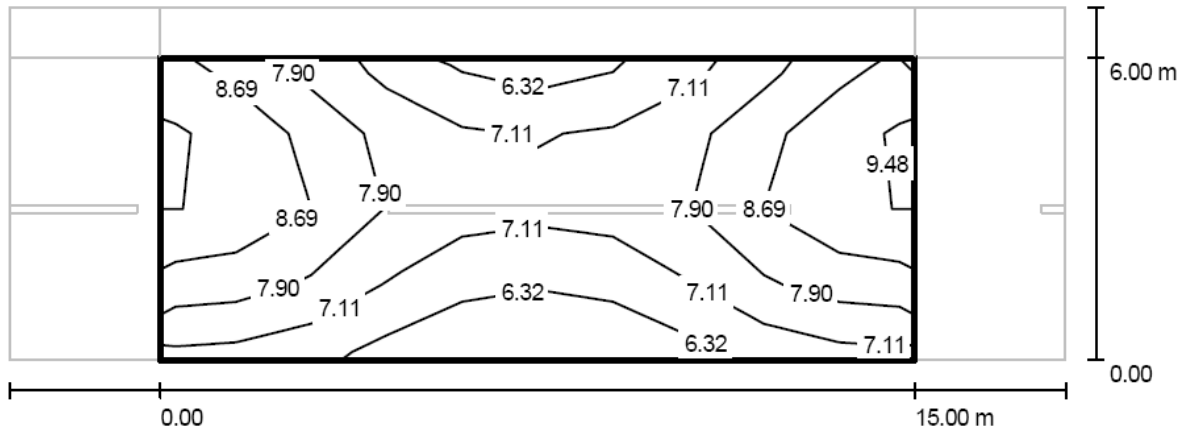


Figura 98 - Curve isolux in condizioni di esercizio per la carreggiata di via don Milani.

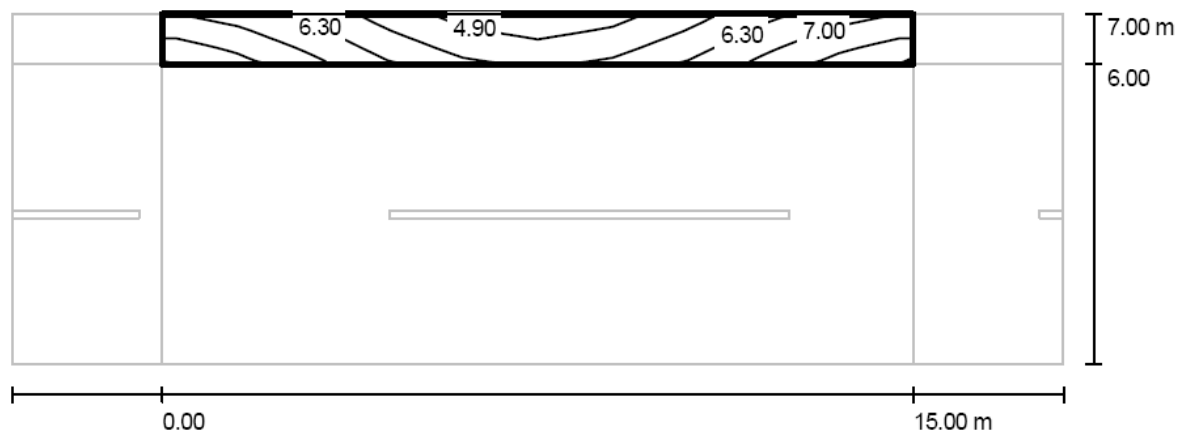


Figura 99 - Curve isolux in condizioni di esercizio per il marciapiede di via don Milani.

3.6.5.3 Il caso di via Roma

I casi precedentemente trattati hanno messo in evidenza quali tipologie di sorgenti a LED sono state prese in considerazione per la sostituzione, diretta o indiretta, di parte delle lampade a vapori di mercurio esistenti nel territorio comunale di Breda di Piave; i calcoli illuminotecnici implementati hanno inoltre presentato una possibile modalità di riduzione del flusso luminoso emesso dalle stesse allo scopo di limitare i costi sostenuti dall'Amministrazione per l'illuminazione pubblica.

Il caso discusso nel seguito estende il calcolo anche ai restanti punti luce con sorgenti a vapori di sodio ad alta pressione presenti nel comune, prendendo come riferimenti la tipologia di strada definita "locale urbana", caratterizzante il 90% circa dell'intera rete viaria del territorio, e il modello di lampada diffuso in maniera più estesa; quest'ultimo si identifica con l'apparecchio SITECO SR 100, caratterizzato dalla curva fotometrica di *figura 100*, il quale emette, in condizioni nominali, un flusso pari a circa 8.000 lm a fronte di un assorbimento di potenza pari a 114 W. Tuttavia, considerando il fatto che la sostituzione del sistema di alimentazione tradizionale della lampada (accenditore - reattore ferromagnetico - condensatore) con l'alimentatore elettronico "HID Flat" comporta, come dichiarato dal costruttore, un incremento di efficienza luminosa che si attesta attorno al 10%, all'emissione di un flusso di 8.000 lm corrisponde una potenza assorbita pari a circa 105 W.

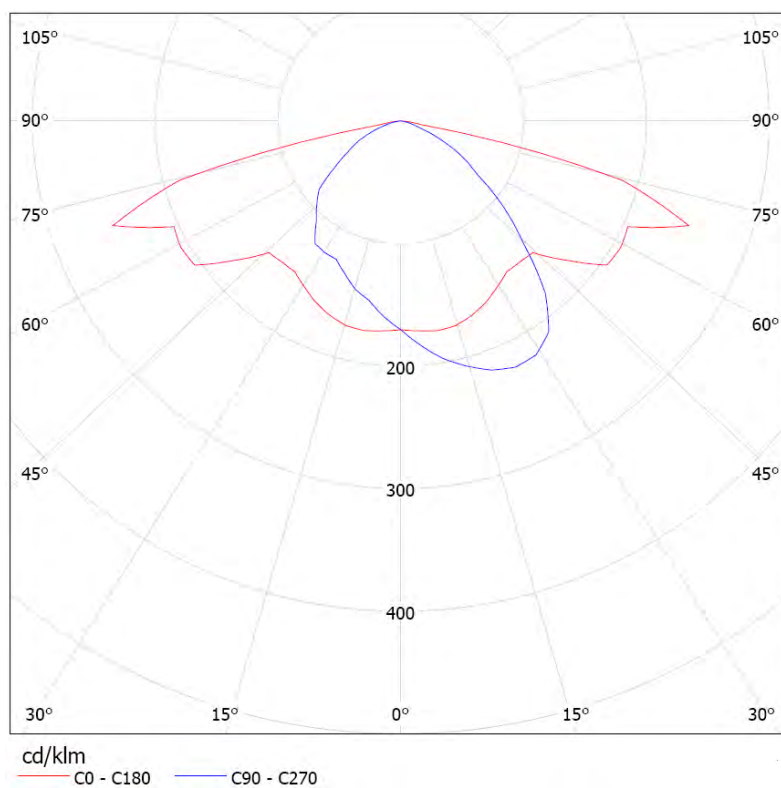


Figura 100 - Diagramma fotometrico SITECO SR100 (fonte: SITECO).

Il tracciato assunto come riferimento per il calcolo illuminotecnico è quello di via Roma, strada congiungente il centro di Vacil con quello del capoluogo e caratterizzata da una larghezza della carreggiata pari a 7 metri, equamente ripartiti in due corsie, e da una disposizione dei punti luce che presenta un'interdistanza di circa venti metri tra palo e palo e un'altezza di montaggio "a sbraccio" dei corpi illuminanti pari a 8 metri, come si può notare dalla *figura 101* sotto riportata.



Figura 101 – Sezione di via Roma.

Tutte le strade locali urbane presenti nel territorio comunale evidenziano caratteristiche molto simili a quelle appena descritte e possono differire tra loro solamente per quanto concerne la presenza di marciapiedi e piste ciclabili o di condizioni potenzialmente conflittuali; una verifica dettagliata recante un'analisi dei rischi realizzata ad hoc per ogni singola via e per ciascuna zona di studio ivi presente esula dagli obiettivi della presente trattazione, ove si desidera invece focalizzare l'attenzione sul risparmio energetico conseguibile per delle strade-tipo, alle quali tutte le rimanenti possono essere ricondotte senza forzature eccessive.

Allo scopo di condurre un'analisi il più generale possibile, è stata scelta una sezione di strada che presenta ad ambo i lati della carreggiata due percorsi ciclo-pedonali, in modo tale da poter verificare in che maniera gli illuminamenti prodotti dalle sorgenti luminose poste su un singolo lato della strada si distribuiscono su entrambe le sezioni al di fuori della carreggiata; prendendo come riferimento il senso di marcia entrante nella figura sopra riportata, la pista situata sulla sinistra (di seguito chiamata "pista 1") ha una larghezza pari a circa un metro e mezzo, mentre quella a essa parallela e situata nella parte opposta (di seguito "pista 2") misura circa due metri.

Secondo quanto riportato all'interno del *prospetto 1* della norma UNI EN 11248:2012, la categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi associata alle strade locali urbane caratterizzate da un limite di velocità per gli utenti principali pari a 50 km/h è la ME3b, motivo per cui le classi di illuminazione associabili ai percorsi ciclo-pedonali adiacenti sono la S1 e la S2.

A seguito dell'analisi dei rischi effettuata, la strada nel suo complesso è stata declassificata di una categoria illuminotecnica per tener conto del fatto che il compito

visivo richiesto agli utenti non presenta particolari criticità; la configurazione di progetto risultante è caratterizzata in particolare:

- dalla categoria illuminotecnica ME3c per quanto riguarda la carreggiata;
- dalla categoria illuminotecnica S2 per quanto concerne i due percorsi ciclo-pedonali.

La verifica illuminotecnica implementata in DIALux con le lampade SITECO sopra citate ha avvallato la disposizione e le modalità con cui sono stati installati i punti luce esistenti; infatti, in condizioni di progetto, tutti i vincoli prescritti dalla norma UNI EN 13201-2 per la classe di illuminazione ME3c, confrontabili all'interno della *tabella 20* di cui al *sottoparagrafo 3.6.2*, risultano soddisfatti dai seguenti valori ottenuti per il manto stradale:

- luminanza media: 1,92 cd/m²,
- uniformità globale: 0,72,
- uniformità longitudinale: 0,66,
- indice TI: 6%,
- indice SR: 0,66.

Anche in termini di uniformità degli illuminamenti la carreggiata presenta dei valori buoni, descritti dalle curve isolux di *figura 102*.

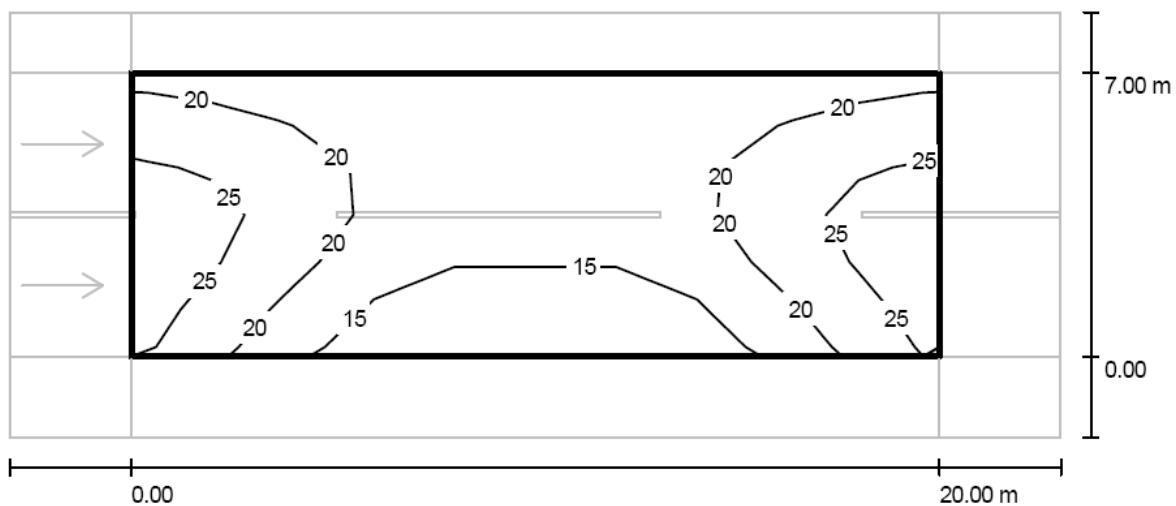


Figura 102 - Curve isolux in condizioni di progetto per la carreggiata di via Roma.

Per quanto riguarda i due percorsi ciclo-pedonali, gli output forniti da DIALux soddisfano anch'essi i requisiti prestazionali minimi richiesti dalla norma per la classe di illuminazione S2, sia in termini di illuminamento medio, che risulta pari a 14,74 lux per la pista 1 e a 14,10 lux per la pista 2, sia in termini di illuminamento minimo, che risulta rispettivamente pari a 12,96 lux e a 9,38 lux; inoltre, le curve isolux sotto riportate evidenziano come la distribuzione di tali illuminamenti si ripartisca in

maniera piuttosto uniforme sulle due superfici considerate, in particolar modo sulla pista 1, situata sul lato opposto rispetto alla disposizione longitudinale dei punti luce.

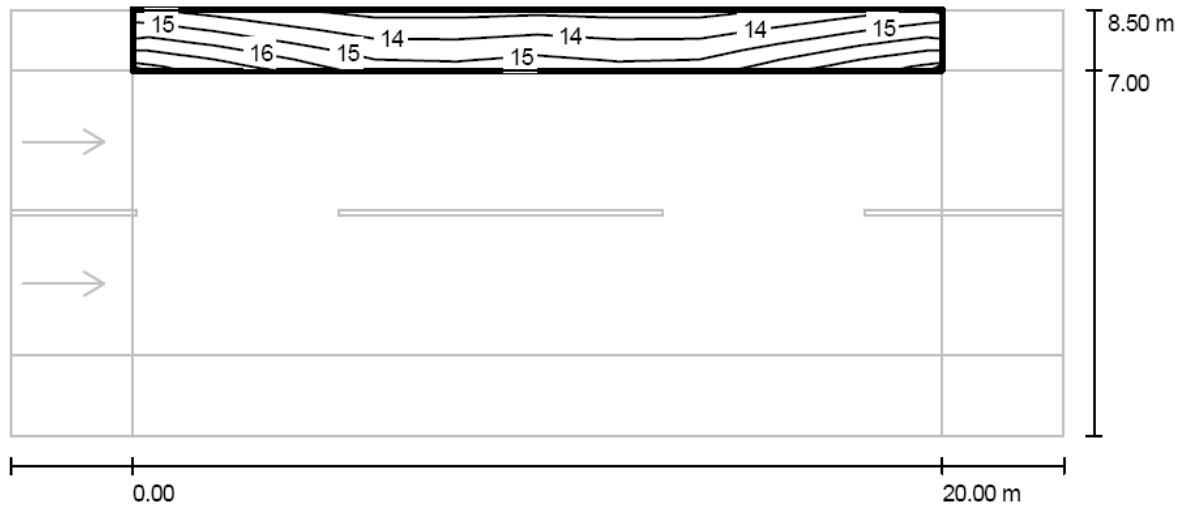


Figura 103 - Curve isolux in condizioni di progetto per la pista 1 di via Roma.

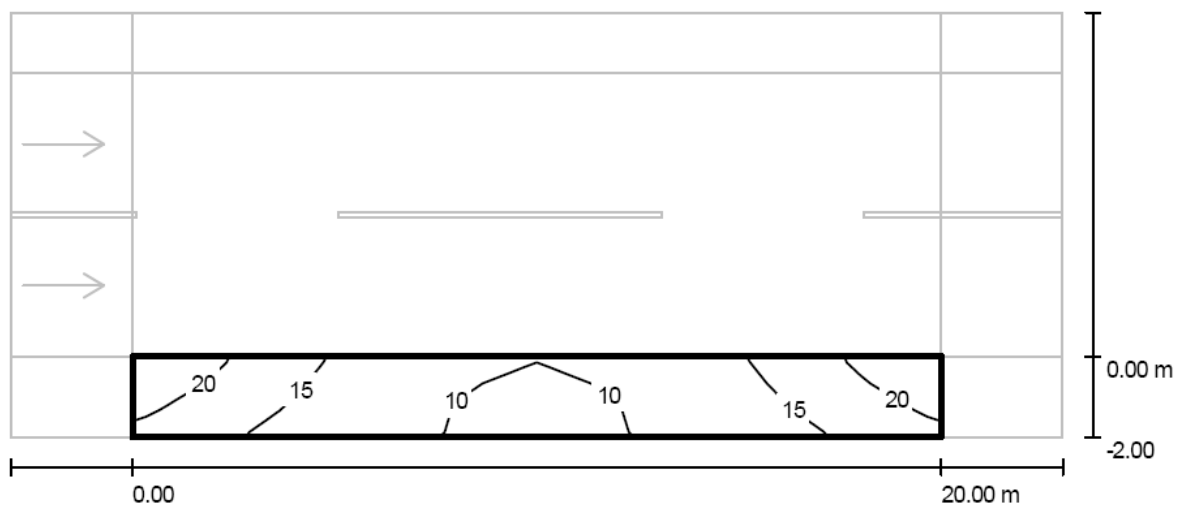


Figura 104 - Curve isolux in condizioni di progetto per la pista 2 di via Roma.

Tali considerazioni assumono un'importanza fondamentale ai fini della possibilità di ridurre il flusso luminoso emesso dalle lampade in questione; infatti, essendo il sistema di illuminazione sovradimensionato per la sezione stradale considerata, è stato possibile implementare ben due diverse configurazioni di esercizio a potenza ridotta, come descritto nel seguito.

La prima simulazione è stata effettuata considerando un flusso di veicoli ridotto della metà rispetto alla portata massima della strada e, di conseguenza, declassificando le varie sezioni in cui essa è stata suddivisa di una categoria illuminotecnica, ottenendo:

- per la carreggiata, la classe di illuminazione ME4a;
- per i due percorsi ciclo-pedonali, la classe di illuminazione S3.

Per quanto riguarda la possibilità di ridurre il flusso luminoso emesso dalle lampade, compatibilmente con i requisiti richiesti dalle classi sopra citate, è bene sottolineare che, al contrario dei dispositivi a LED per i quali una riduzione della potenza assorbita comporta una proporzionale diminuzione del flusso emesso, per le lampade a scarica tale condizione non si verifica. Test di laboratorio effettuati da ABB-Power One su una lampada-tipo a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W associata a un alimentatore “HID Flat”, hanno infatti dimostrato come, al variare del livello di riduzione impostato e comunicato via onde convogliate dalla Collecting Unit a tale dispositivo, le curve di riduzione del flusso luminoso emesso e della potenza assorbita seguano andamenti differenti, riportati nel grafico di *figura 105* e riferiti ai valori presentati nella tabella sottostante.

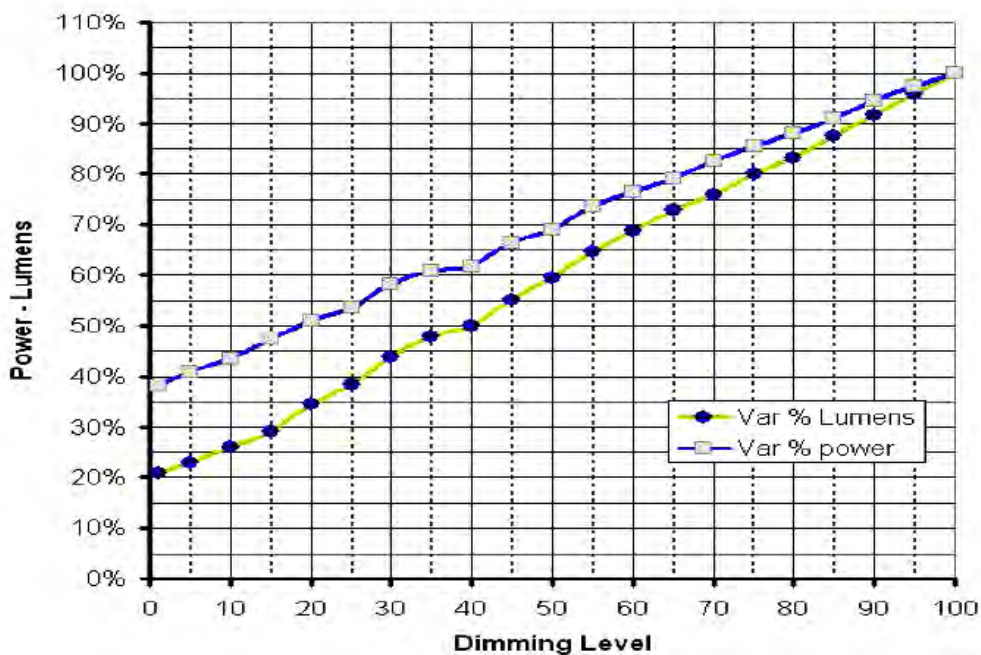


Figura 105 - Diminuzione del flusso luminoso emesso e della potenza assorbita al variare del “livello di dimming” (fonte: ABB-Power One).

Tabella 31 – Valori dei parametri associati a ciascun “livello di dimming” (fonte: ABB-Power One).

Dimming Level	Var % Lumens	Var % power	Input Power	Lamp Lumens
100	100%	100%	109,8	9600
95	96%	97%	106,7	9200
90	92%	95%	104,2	8800
85	88%	91%	100,3	8400
80	83%	88%	97,5	8000
75	80%	86%	94,3	7700
70	76%	83%	91,0	7300
65	73%	79%	87,2	7000
60	69%	76%	84,1	6800
55	65%	74%	81,2	6200
50	59%	69%	76,3	5700
45	55%	66%	73,3	5300
40	50%	62%	68,4	4800
35	48%	61%	67,0	4600
30	44%	58%	64,0	4200
25	39%	54%	59,2	3700
20	34%	51%	56,1	3300
15	29%	47%	52,3	2800
10	26%	44%	48,2	2500
5	23%	41%	45,2	2200
1	21%	38%	42,3	2000

Come si evince sia dal grafico che dalla tabella, esiste inoltre un valore minimo di potenza che deve essere fornito alla lampada al fine di evitare il suo completo spegnimento; nel caso specifico tale valore si attesta attorno ai 40 W, a cui corrisponde un flusso luminoso emesso pari al 21% del valore nominale. Questo aspetto rappresenta un’ulteriore nota di distinzione tra le caratteristiche delle lampade a scarica e di quelle a LED, dato che per queste ultime è possibile ridurre la potenza assorbita fino a pochi Watt senza che l’apparecchio si spenga.

Facendo riferimento alla tabella sopra riportata, nella prima configurazione di esercizio implementata è stato associato alle lampade SAP esistenti un "livello di dimming" pari a 50, riconducibile a una riduzione della potenza assorbita del 30% rispetto alla configurazione di progetto e in una conseguente diminuzione del flusso luminoso emesso del 40% rispetto alle condizioni nominali.

Implementando dunque all’interno del software di calcolo una potenza di 73,5 W e un flusso luminoso pari a 4.801 lm, i risultati ottenuti soddisfano i requisiti minimi imposti dalla norma UNI EN 13201-2 per la classe ME4a relativamente alla carreggiata e per la classe S3 relativamente ai due percorsi ciclo-pedonali; in particolare, i valori riscontrati per la sezione stradale asservita alla circolazione dei veicoli differiscono da quelli di progetto solo in termini di luminanza, ora ridotta a 1,15 cd/m², mentre i valori degli illuminamenti medi e minimi rilevati sulle due piste laterali risultano inferiori del 40% rispetto alla configurazione di progetto, coerentemente con l’analoga percentuale di riduzione del flusso luminoso impostata. Anche in termini di uniformità del manto stradale, le curve isolux delle figure seguenti indicano come la modulazione del flusso non abbia compromesso l’omogeneità degli illuminamenti sulle superfici.

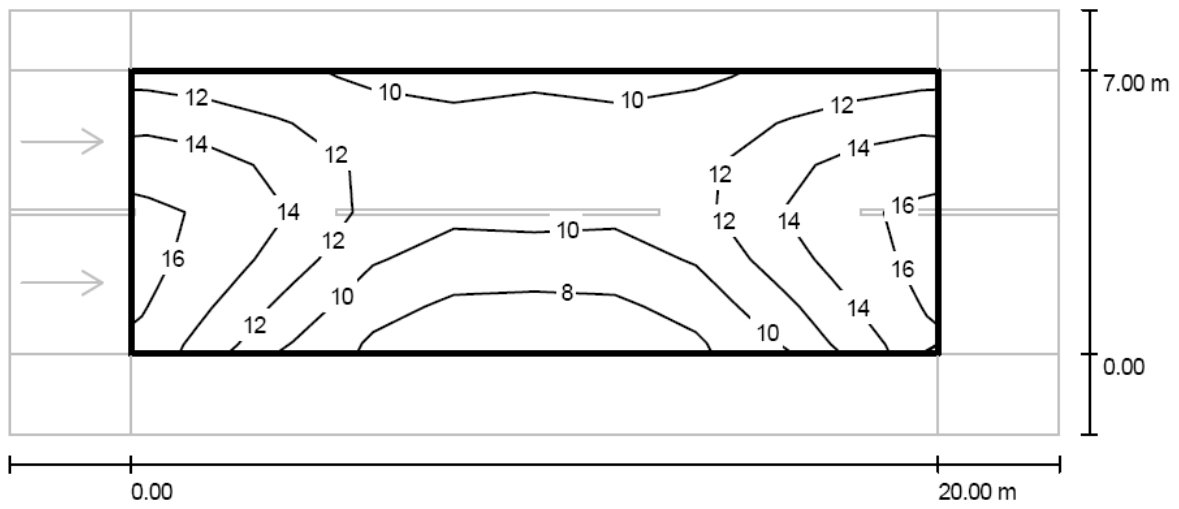


Figura 106 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 40% rispetto alle condizioni nominali per la carreggiata di via Roma.

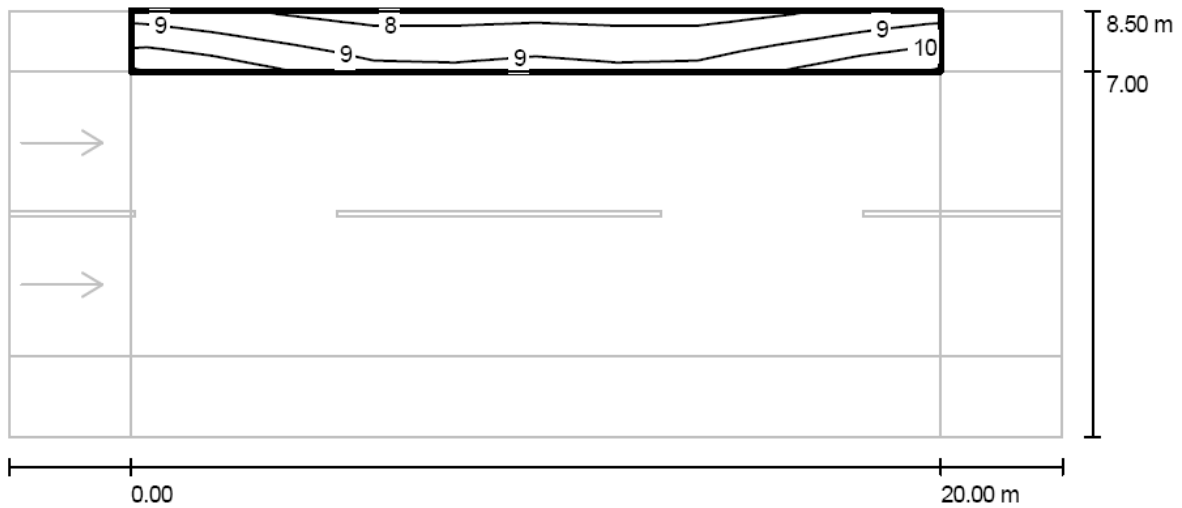


Figura 107 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 40% rispetto alle condizioni nominali per la pista 1 di via Roma.

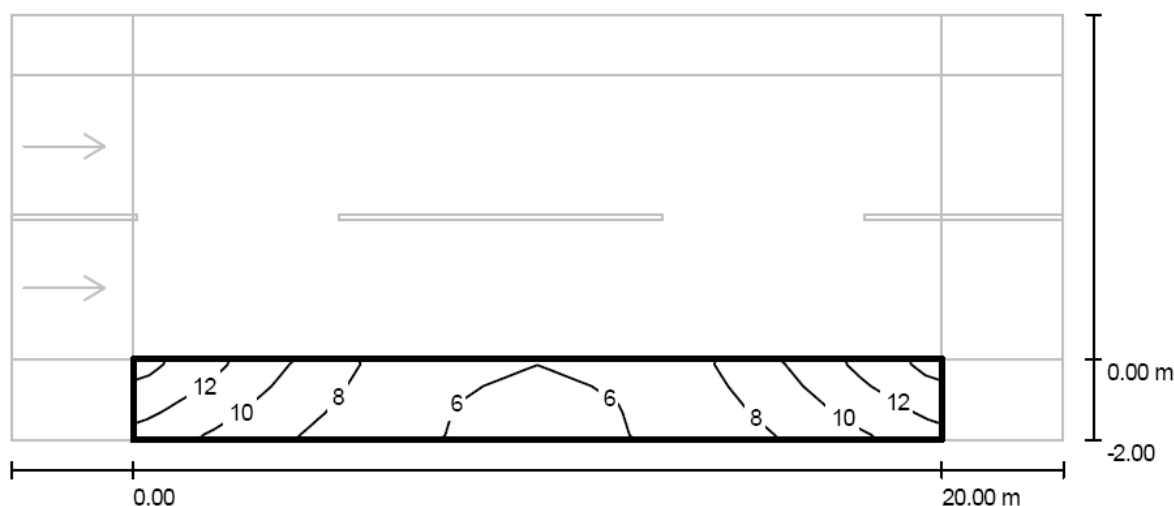


Figura 108 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 40% rispetto alle condizioni nominali per la pista 2 di via Roma.

La seconda configurazione di esercizio è stata definita considerando un flusso veicolare inferiore al 25% della portata massima relativa alla strada in oggetto, condizione che, seguendo quanto stabilito dalla norma UNI EN 11248, ha consentito di declassare di un'ulteriore categoria illuminotecnica i tre elementi costituenti il tracciato di via Roma, permettendo di associare:

- la classe ME4b alla carreggiata;
- la classe S4 ai due percorsi ciclo-pedonali.

Poste dunque tali condizioni, facendo riferimento alla *tabella 31* di cui sopra, per la simulazione della seconda configurazione di esercizio è stato implementato il "livello di dimming" 25, corrispondente a una riduzione della potenza assorbita dalla lampada del 45% circa rispetto alle condizioni di progetto e a una diminuzione del flusso luminoso emesso dalla stessa del 60% circa.

Impostati quindi, all'interno del software DIALux, una potenza pari a 58 W e un valore del flusso luminoso pari a 3.201 lm, gli output ottenuti per la carreggiata risultano identici alla configurazione di progetto in termini di uniformità globale, di uniformità longitudinale e di Surround Ratio, mentre differiscono per quanto concerne la luminanza media, in questo caso pari a 0,77 cd/m², e l'indice TI relativo all'incremento massimo del contrasto di soglia, ora pari al 5%.

In merito ai due percorsi pedonali, gli illuminamenti medio e minimo ottenuti risultano rispettivamente pari a 5,90 lux e a 5,18 lux per la pista 1 e a 5,64 lux e a 3,75 lux per la pista 2, rispettando i requisiti minimi richiesti dalla norma UNI EN 13201-2.

Anche per quanto riguarda l'uniformità degli illuminamenti sul manto stradale i risultati riscontrati sono ritenuti buoni e non discosti dalle condizioni di progetto, come è possibile apprezzare dalle curve isolux rappresentate nelle figure sotto riportate.

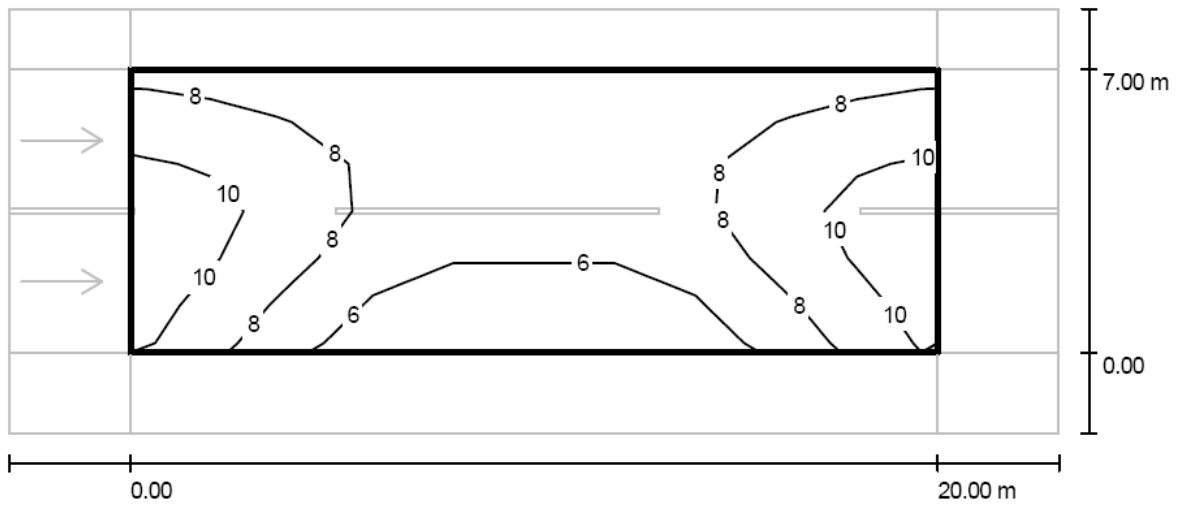


Figura 109 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 60% rispetto alle condizioni nominali per la carreggiata di via Roma.

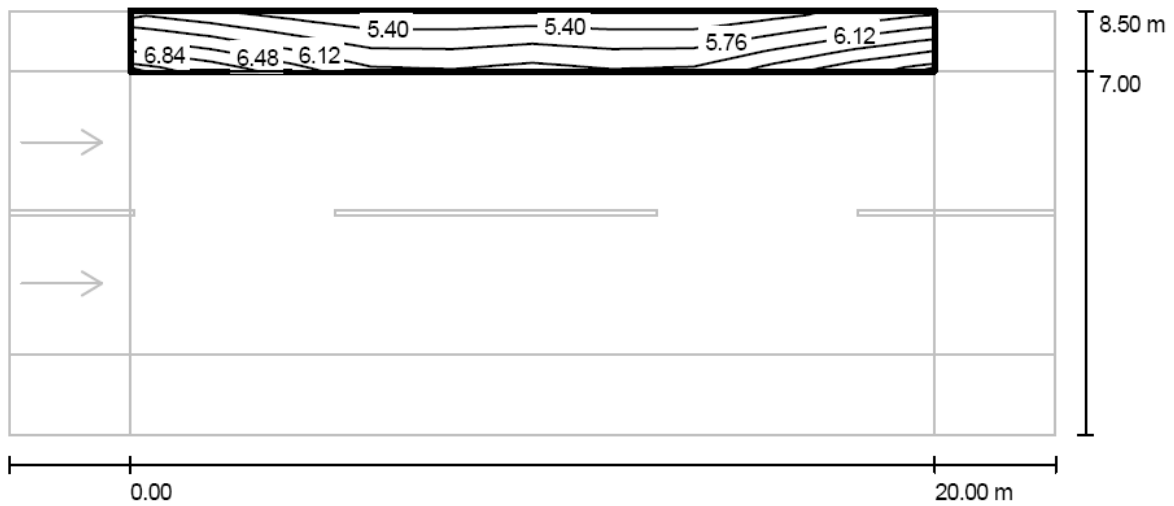


Figura 110 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 60% rispetto alle condizioni nominali per la pista 1 di via Roma.

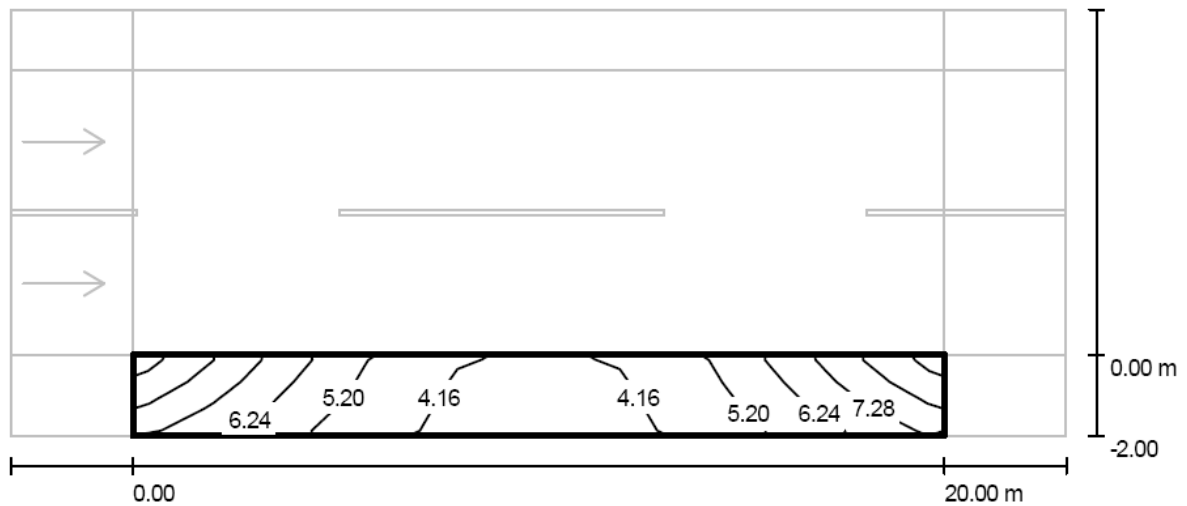


Figura 111 - Curve isolux in condizioni di esercizio con flusso luminoso ridotto del 60% rispetto alle condizioni nominali per la pista 2 di via Roma.

3.6.6 Profili di regolazione del flusso luminoso

3.6.6.1 Possibili profili per i punti luce gestiti da remoto

I calcoli illuminotecnici eseguiti per via Roma forniscono degli esempi di come sia possibile spingere la regolazione del flusso luminoso emesso dai corpi illuminanti per le strade aventi caratteristiche affini a quella analizzata; entro i limiti concessi dalle categorie illuminotecniche di esercizio, è possibile implementare diversi scenari luminosi a seconda delle peculiarità che le diverse fasce orarie di funzionamento del sistema di illuminazione, i diversi giorni della settimana e i diversi periodi dell'anno presentano.

In primo luogo, il moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole, responsabile dell'alternarsi delle stagioni, determina una diversa durata delle ore di buio nei vari giorni dell'anno, la quale, alle nostre latitudini, raggiunge un massimo in corrispondenza del solstizio d'inverno (21 dicembre), giorno in cui mediamente il Sole sorge alle 7:50 e tramonta alle 16:30 (ora solare), e raggiunge un minimo in corrispondenza del solstizio d'estate (21 giugno), giorno in cui mediamente il Sole sorge alle 5:20 e tramonta alle 21:05 (ora legale).

Di conseguenza, a seconda del periodo dell'anno considerato, i profili di regolazione per i punti luce gestiti da remoto e comunicanti via onde convogliate con la Collecting Unit devono necessariamente essere differenti; una possibile soluzione, proposta a titolo d'esempio, per il periodo invernale è riportata nel grafico di *figura 112*, nel quale in ascissa sono indicate le ore di funzionamento del sistema di illuminazione e in ordinata i valori percentuali del flusso luminoso emesso dalle sorgenti considerate.

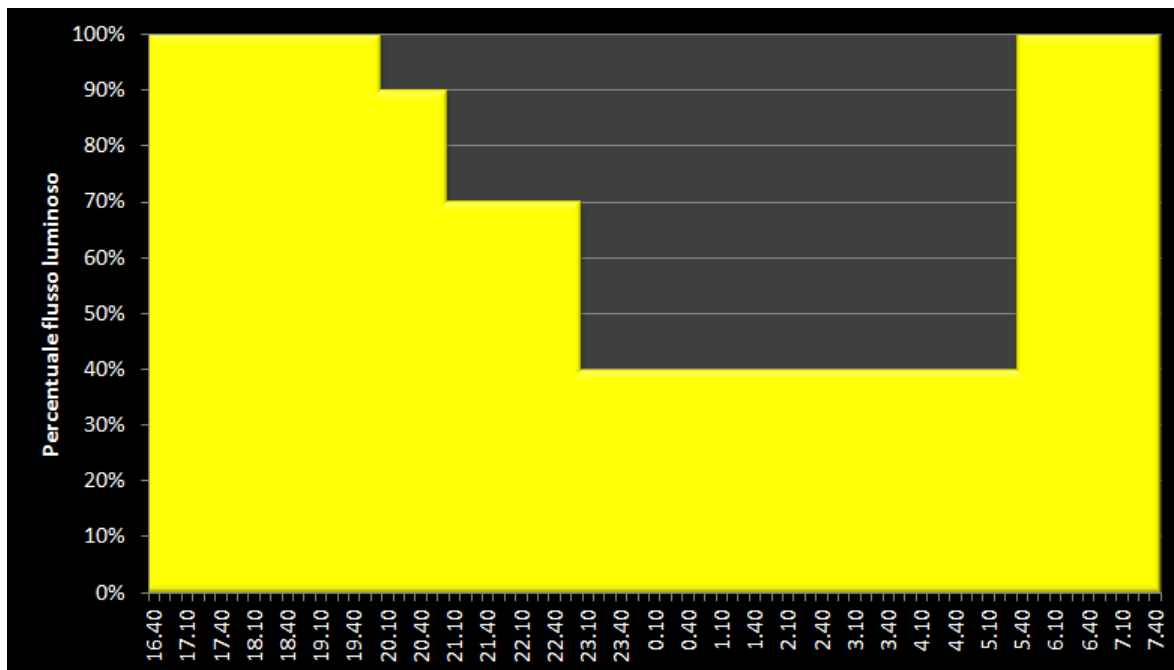


Figura 112 - Possibile profilo di riduzione del flusso luminoso nel periodo invernale.

In particolare, si è ipotizzato un funzionamento a potenza nominale dal momento di accensione dei punti luce fino alle ore 20:00 circa, quando il flusso di veicoli coincide o è molto prossimo alla portata massima tipica della tipologia di strada in esame e la configurazione da considerare è quella di progetto; successivamente, si sono ipotizzati dei funzionamenti al 90% del flusso luminoso dalle ore 20:00 alle 21:00, al 70% nella fascia compresa tra le 21:00 e le 23:00, al 40% dalle 23:00 alle 5:30 e, infine, al 100% nella fascia compresa tra le 5:30 e le 7:40 circa, nella quale il traffico di veicoli torna nuovamente alle condizioni di regime. Come si può notare, il valore percentuale minimo di flusso luminoso proposto per le primissime ore del mattino non eccede il limite inferiore dettato dalla seconda configurazione di esercizio sopra descritta e la fascia oraria in cui il flusso è al 70% risponde pienamente alle condizioni imposte dalla prima configurazione di esercizio. Si è ipotizzato inoltre di dedicare un intervallo ristretto in cui il flusso viene mantenuto al 90% per passare in maniera più graduale dalle condizioni di progetto a quelle di esercizio, ritenendo non compromettente ai fini della sicurezza una riduzione del 10%, comunque giustificata dal minor traffico che è logico aspettarsi rispetto ai momenti di punta.

Naturalmente il profilo presentato non è univoco per tutto il periodo invernale ma è rappresentativo della giornata in cui l'impianto di illuminazione è chiamato a funzionare per un intervallo di tempo maggiore: l'aumento progressivo delle ore di luce all'avanzare della stagione invernale determinerà infatti graduali variazioni nel grafico, a partire dagli orari di accensione e di spegnimento.

Analogamente, un possibile profilo implementabile per il periodo estivo è quello riportato nel grafico di *figura 113*, rappresentativo, nello specifico, del giorno caratterizzato dal minor numero di ore di buio.

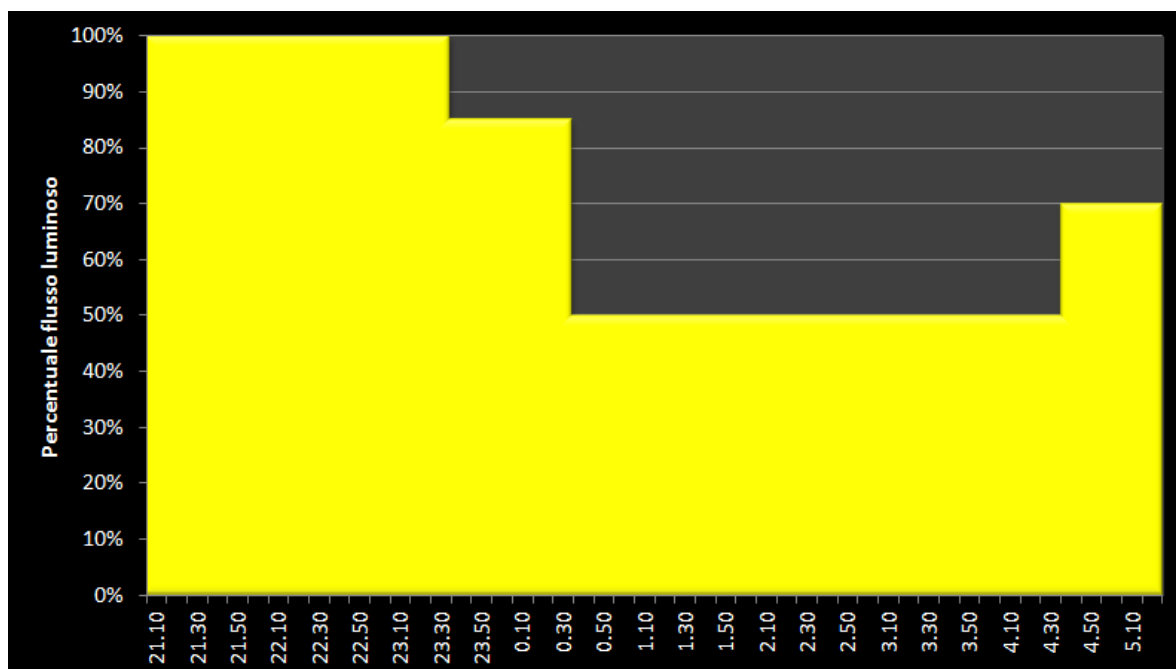


Figura 113 - Possibile riduzione del flusso luminoso per il periodo estivo.

L'ipotesi che sta alla base del mantenimento di un flusso luminoso pari al 100% dal momento dell'accensione dell'impianto fino alle 23:30 consiste nel maggior afflusso di veicoli nelle strade nelle ore notturne rispetto al periodo invernale e, per la stessa ragione, la riduzione del flusso tra le 23:30 e le ore 00:30 non è stata spinta oltre al 15%; la fascia oraria che garantisce il massimo risparmio rispetto al funzionamento a piena potenza è quella che comprende le successive quattro ore, in cui il flusso è mantenuto al 50%. Infine, dato che il Sole nel periodo considerato sorge prima dell'orario in cui le persone si riversano nelle strade per recarsi al lavoro, fino allo spegnimento dell'impianto si è ipotizzato un flusso luminoso al 70%.

Come già detto, i profili individuati sono da ritenersi puramente indicativi; nulla vieta infatti di ridurre il flusso luminoso di qualche punto percentuale rispetto alla configurazione a piena potenza anche in condizioni di progetto, purché opportune verifiche illuminotecniche lo consentano; viceversa, può essere invece necessario prolungare l'intervallo temporale nel quale l'impianto di illuminazione viene fatto funzionare a piena potenza come nel caso dei week-end invernali, nei quali il protrarsi delle attività ricreative nel corso delle ore di buio tardo-pomeridiane e della notte richiede il mantenimento di condizioni di sicurezza adeguate lungo la rete viaria.

3.6.6.2 Profilo di regolazione per applicazioni "stand alone"

Per quanto riguarda i punti luce che si intende gestire in modalità "stand alone", come già esposto precedentemente, gli alimentatori elettronici con Control Box integrata

sono dotati di un profilo di regolazione già impostato e non modificabile, caratterizzato da cinque diversi livelli di flusso luminoso (*fig. 74*).

In particolare, considerando la stessa lampada a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W utilizzata nel calcolo illuminotecnico di via Roma, presente in maniera diffusa su tutto il territorio comunale, il profilo di regolazione suddetto comporta:

- in corrispondenza del "livello di dimming" 100, della durata di cinque minuti dopo l'accensione dell'impianto di illuminazione, un flusso luminoso emesso massimo, pari a 8.002 lm e una potenza assorbita di 105 W;
- in corrispondenza del livello 85, che interessa le successive cinque ore di funzionamento dell'impianto, una potenza assorbita pari a 95 W e un flusso luminoso emesso pari a 7.042 lm;
- in corrispondenza del livello 65, che interessa le due ore successive, una potenza assorbita di 83 W e un flusso luminoso emesso pari a 5.841 lm;
- in corrispondenza del livello 60, relativo alle cinque ore seguenti, una potenza assorbita di circa 80 W e un flusso luminoso emesso pari a 5.521 lm.

Il profilo di regolazione si conclude con un quinto livello che interessa le ultime due ore del ciclo di funzionamento dell'impianto di illuminazione e prevede un flusso luminoso di 5.841 lm come per il terzo livello suddetto.

Dal momento che tutti i livelli di riduzione successivi al secondo sono caratterizzati da un flusso luminoso emesso abbondantemente superiore non solo rispetto al limite minimo imposto dalla seconda configurazione di esercizio proposta, ma anche rispetto a quello dettato dalla prima, l'unica criticità risiede nel fatto di riuscire a garantire la rispondenza ai requisiti illuminotecnici richiesti dalla categoria illuminotecnica di progetto nel corso delle cinque ore iniziali, quando il livello di riduzione è pari a 85.

Per tale ragione, è stata implementata una ulteriore verifica illuminotecnica, riportata all'interno dell'*Appendice C*, che ha coinvolto ancora la strada-tipo individuata in via Roma, la quale lungo il suo sviluppo presenta anche dei punti luce per i quali è previsto un funzionamento di tipo "stand alone"; in particolare, nel calcolo è stata mantenuta la classificazione illuminotecnica di progetto sia per la carreggiata (ME3c), sia per i due percorsi ciclo-pedonali (S2), e sono stati impostati i valori di potenza assorbita e di flusso luminoso emesso caratterizzanti il livello 85, rispettivamente pari a 95 W e a 7.042 lm.

Come si evince dagli output forniti dal software di calcolo DIALux, una riduzione del 12% rispetto alle condizioni nominali del flusso luminoso emesso non comporta alcuna penalizzazione in termini di requisiti illuminotecnici, i quali risultano tutti verificati; la carreggiata presenta infatti gli stessi valori ricavati in condizioni di funzionamento nominale, tranne per quanto concerne la luminanza media che si è ridotta a 1,69 cd/m²; inoltre le due piste adiacenti presentano rispettivamente un illuminamento medio pari a 12,97 lux e a 12,41 lux e un illuminamento minimo pari a 11,40 lux e a 8,26 lux.

Anche in termini di uniformità degli illuminamenti, la superficie stradale nel suo complesso presenta dei rapporti tra gli illuminamenti minimo e medio e tra gli illuminamenti minimo e massimo molto prossimi alle condizioni nominali, sottolineando la bontà del profilo di riduzione prefissato che caratterizza il funzionamento in modalità "stand alone" degli alimentatori elettronici "HID Flat".

Oltre a ciò, tali risultati offrono ulteriori prospettive in termini di contenimento dei consumi energetici dei punti luce che si intende gestire da remoto dal momento che, come si è visto, è possibile operare una minima riduzione di potenza già dalle primissime ore di funzionamento del sistema di illuminazione, restando comunque all'interno della configurazione di esercizio; tali considerazioni ribadiscono quindi la non rigidità dei profili proposti nelle *figure 112 e 113* sopra riportate e la possibilità di implementare svariati scenari luminosi personalizzati a seconda del periodo dell'anno e delle esigenze dell'Amministrazione e della cittadinanza.

3.6.6.3 Il caso di via del lavoro

Un ultimo caso di studio considerato nella presente trattazione è quello relativo al sopra citato intervento di spostamento in via del lavoro delle 10 lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 70 W presenti in piazza Vittorio Veneto, al fine di verificare se l'adozione degli alimentatori elettronici con profilo di regolazione prefissato previsti comportano eventuali criticità durante la prima fascia oraria di funzionamento del sistema con un flusso luminoso ridotto del 12% rispetto alle condizioni nominali.

La via interessata da detto intervento, una cui sezione è riportata in *figura 114*, è insita nel contesto industriale di Vacil ed è costituita da una carreggiata larga complessivamente 5 metri e da un marciapiede di larghezza pari a un metro e mezzo; essa, come via Roma, è stata classificata come strada locale urbana e presenta un limite di velocità di 50 km/h; non essendoci particolari condizioni di conflittualità e essendo il compito visivo non particolarmente complesso, le categorie illuminotecniche di progetto che sono state associate agli elementi della strada sono:

- la classe ME3c per la carreggiata;
- la classe S2 per il marciapiede.



Figura 114 - Sezione di via del lavoro.

Dal momento che il profilo di regolazione caratterizzante gli alimentatori elettronici sopra citati prevede sin da subito una riduzione della potenza assorbita dai corpi illuminanti del 10%, che corrisponde a un calo del flusso luminoso emesso pari al 12%, nel calcolo illuminotecnico eseguito è stata valutata direttamente la rispondenza di tali parametri ai limiti minimi richiesti dalla categoria di progetto, senza realizzare un superfluo calcolo in condizioni di funzionamento nominale che risulterebbe automaticamente validato.

Dall'analisi degli output forniti dal software DIALux, si può notare come i parametri implementati soddisfino appieno tutti i requisiti richiesti dalle due classi illuminotecniche suddette; infatti, per quanto riguarda la carreggiata si sono ottenuti:

- una luminanza media pari a 1,19 cd/m²;
- un'uniformità globale pari a 0,67;
- un'uniformità longitudinale pari a 0,71;
- un indice di incremento del contrasto di soglia del 7%;
- un indice di Surround Ratio pari a 0,70.

La bontà di tali valori è suffragata anche da una distribuzione degli illuminamenti che copre in maniera omogenea la zona di studio considerata, come si evince dalle curve isolux riportate in *figura 115*.

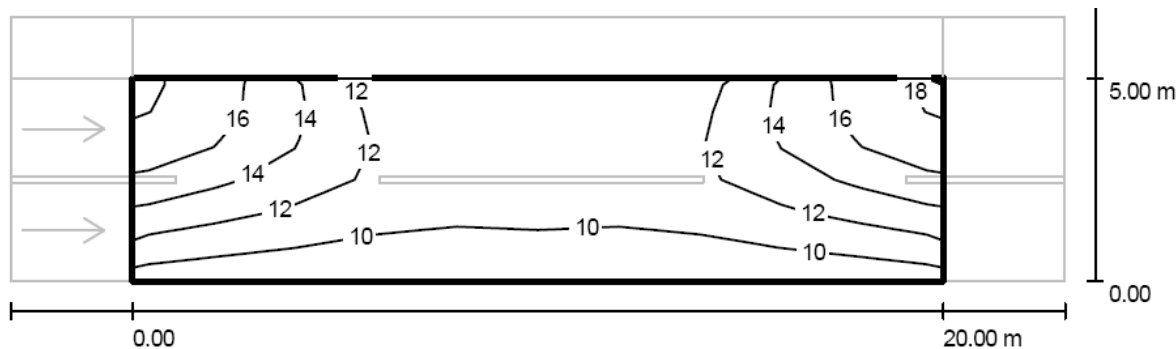


Figura 115 - Curve isolux con flusso luminoso ridotto del 12% per la carreggiata di via del Lavoro.

Anche per quanto concerne il marciapiede adiacente tutti i requisiti fotometrici imposti dalla classe di illuminazione S2 risultano soddisfatti, dal momento che i valori di illuminamento medio e minimo ottenuti sono rispettivamente pari a 11,44 lux e a 7,44 lux; inoltre, anche in termini di uniformità degli illuminamenti la soluzione proposta è ritenuta accettabile, come dimostrano le curve isolux di *figura 116*.

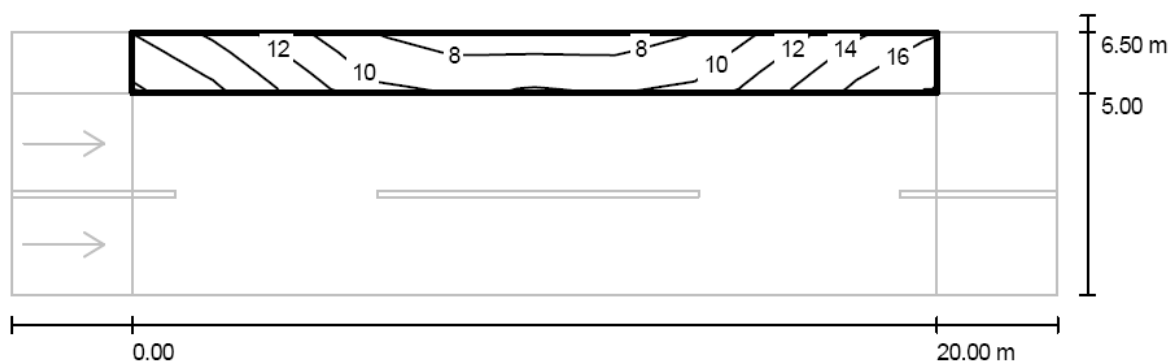


Figura 116 - Curve isolux con flusso luminoso ridotto del 12% per il marciapiede di via del lavoro.

Le considerazioni espone avvallano quindi lo spostamento delle lampade da 70 W nella via suddetta e, in particolare, la riduzione del flusso luminoso attuata dagli alimentatori elettronici associati alle sorgenti stesse durante le prime cinque ore di funzionamento del sistema di illuminazione. Data la particolare applicazione, tale intervallo temporale risulta il più critico, soprattutto nei mesi invernali, a causa dell'elevato afflusso che si verifica sulla strada al termine delle attività lavorative; al contrario, nelle successive fasce temporali il traffico veicolare nella zona considerata risulta fortemente limitato, motivo per cui il ciclo di regolazione del flusso luminoso proprio degli alimentatori elettronici può essere considerato accettabile nella sua interezza, senza la necessità di effettuare ulteriori verifiche illuminotecniche in condizioni di non progetto, per le quali si può fare riferimento alla seconda configurazione di esercizio proposta per via Roma.

Infatti, anche considerando il minimo livello di regolazione contemplato dal ciclo suddetto, il flusso luminoso emesso dai corpi illuminanti non risulta mai inferiore a quello previsto dalla seconda configurazione di esercizio (3.201 lm): tale

considerazione, unitamente alla maggior ristrettezza della strada costituente via del lavoro rispetto a quella di via Roma, assicurano quindi un'illuminazione adeguata lungo tutto il profilo di regolazione per il particolare tracciato considerato.

3.7 Lo stato di progetto dello stralcio di intervento

3.7.1 La configurazione di progetto

Le considerazioni preliminarmente esposte all'interno delle sezioni precedenti costituiscono la base sulla quale si fonda lo stato di progetto previsto per lo stralcio della rete di illuminazione pubblica preso in esame. In particolare, la specificazione della nuova configurazione richiede da un lato di definire il numero e la taglia degli apparecchi proposti per la regolazione del flusso luminoso dei 1.039 punti luce considerati, e dall'altro di selezionare il numero delle due tipologie di lampade a LED considerate nell'ambito dei calcoli illuminotecnici sopra presentati necessario a coprire il fabbisogno dovuto all'eliminazione delle inefficienti lampade a vapori di mercurio.

A tal proposito si è deciso di distinguere tra punti luce che comunicano con una Collecting Unit, e quindi gestiti da remoto, e punti luce per i quali è prevista una modulazione del flusso luminoso in modalità "stand alone", riprendendo quindi la suddivisione dello stato di fatto dei corpi illuminanti considerati nello stralcio descritta al *paragrafo 3.4* e riproposta sotto forma di tabella nel seguito.

Tabella 32 – Stato di consistenza dei punti luce dello stralcio considerato.

	822 PUNTI LUCE GESTITI DA REMOTO			217 PUNTI LUCE "STAND ALONE"	
	SAP	LED	VM	SAP	VM
36 W	-	48	-	-	-
70 W	27	-	-	9	-
100 W	678	-	-	107	-
125 W	-	-	69	-	100
150 W	-	-	-	1	-
TOTALE	705	48	69	117	100

Per quanto concerne le 169 lampade a vapori di mercurio esistenti è già stata fornita una suddivisione sulla base della tecnologia dei corpi illuminanti (al sodio o a LED) prevista in sostituzione delle stesse all'interno della sezione dedicata alle opere di razionalizzazione funzionale del sistema di illuminazione; tuttavia, allo scopo di delineare il numero degli apparecchi di regolazione da associare alle lampade a LED sostitutive di quelle al mercurio, risulta ora necessario distinguere tra il numero di

sorgenti che si intende gestire da remoto e il numero di sorgenti della stessa tecnologia per le quali si prevede un funzionamento in modalità “stand alone”.

Infatti, al contrario delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione per le quali l'alimentatore elettronico proposto è lo stesso e viene fatto funzionare secondo una logica differente a seconda che riceva un segnale di regolazione da parte di una centralina o segua il proprio profilo di riduzione programmato, per quanto riguarda le sorgenti a LED è necessario stabilire a priori da un lato la quantità di Control Box da acquistare per i punti luce che si intende gestire da remoto, dall'altro il numero di lampade in grado di effettuare una regolazione "stand alone", secondo un profilo che può essere stabilito solo nell'istante iniziale dall'utente e resta poi fisso nel corso dell'anno, di cui dotarsi.

A tal proposito, le due tabelle sotto richiamate danno indicazione di detta suddivisione, riportando, tra l'altro, anche il modello delle lampade a LED previste e, per completezza, il numero di sorgenti con tecnologia al sodio atte a sostituire parte di quelle al mercurio. In particolare, la ripartizione tra lampade SOLED LED e ITALO 1 LED proposta è stata dettata solamente dalla tipologia di sostegno presente; infatti, a pali con altezze inferiori o uguali a cinque metri è stato associato il primo modello, caratterizzato da un'armatura con attacco "testa-palo" per applicazioni di arredo urbano; viceversa a pali di sostegno del tipo "a sbraccio", caratterizzati da altezze di montaggio maggiori, è stato associato il modello di lampada ITALO 1 LED.

Tabella 33 - Riepilogo delle lampade SAP e a LED previste in sostituzione delle lampade VM nelle vie che si intende gestire da remoto.

Via	Quadro	Numero lampade VM	Altezza [m]	SAP	SOLED LED	ITALO 1 LED
Europa	Q4	5	8	-		5
D. Asti	Q26	12	5	-	12	-
Vlo Cannaregio	Q27	4	5	-	4	-
Pertini	Q28	20	5	-	20	-
Einaudi	Q29	9	5	-	9	-
Marche	Q34	6	8	6	-	-
per Cavrie' di S. Bart.	Q38	5	8	5	-	-
Cav. di Vitt. V.to	Q44	8	5	-	8	-
TOTALE		69		11	53	5

Tabella 34 - Riepilogo delle lampade SAP e a LED previste in sostituzione delle lampade VM per applicazioni "stand alone".

Via	Quadro	Numero lampade VM	Altezza [m]	SAP	SOLED LED	ITALO 1 LED
S. Pio X	Q2	3	8	3	-	-
Ponteselli	Q2	1	8	1	-	-
Levada	Q5	1	5	1	-	-
Pza Italia	Q16	4	5	-	4	-
Brigata Emilia	Q36	1	8	1	-	-
D. Milani	Q49	4	3	-	4	-
D. Milani	Q49	7	8	-	-	7
XXIV maggio	Q50	2	8	2	-	-
Crosa Costantino	Q50	4	5	-	4	-
Cassette davanti	Q53	2	8	2	-	-
Monte bianco	Q10	2	7,8	2	-	-
Antelao	Q10	2	7,8	2	-	-
Villanova	Q41	3	8	3	-	-
Paralovo	Q43	3	7,8	3	-	-
Villa del Bosco	Q48	4	8	4	-	-
STV Brugnotto	Q68	1	8	1	-	-
via del lavoro	Q66/70	13	7,8	13	-	-
via delle industrie	Q66/70	41	7,8	41	-	-
via delle industrie	Q70	2	8	2	-	-
TOTALE		100		81	12	7

Considerato quanto riassunto nelle due tabelle sopra riportate e tenuto conto del fatto che, come accennato all'interno del *paragrafo 3.4*, è possibile recuperare buona parte delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione dalla scorta disponibile nel magazzino comunale (21) e da quelle presenti in zone del comune che si intende illuminare con dispositivi a LED, la lista dei corpi illuminanti di nuova acquisizione necessari per rimpiazzare le sorgenti al mercurio consta in:

- 15 lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W;
- 53 SOLED LED da 30 W con alimentatore elettronico predisposto per la regolazione 0 – 10 V;
- 5 ITALO 1 LED da 32,5 W con alimentatore elettronico predisposto per la regolazione 0 – 10 V;
- 12 SOLED LED da 30 W con alimentatore elettronico auto-regolabile per applicazione "stand alone" con profilo di riduzione impostabile dall'utente;
- 7 ITALO 1 LED da 32,5 W con alimentatore elettronico auto-regolabile per applicazione "stand alone" con profilo di riduzione impostabile dall'utente.

A queste vanno poi sommate le 56 lampade a LED da acquistare per sopperire allo spostamento nella zona industriale di Vacil, per la quale non è previsto il telecomando, delle lampade SAP esistenti in piazza Olivi, in piazza Vittorio Veneto, in piazza Cesare Battisti, in via Pasteur, in via Formentano e in alcune zone conflittuali presenti in altre vie che si intende gestire da remoto; in particolare, alla lista vanno aggiunte:

- 38 SOLED LED da 30 W con alimentatore elettronico predisposto per la regolazione 0 – 10 V;

- 18 ITALO 1 LED da 32,5 W con alimentatore elettronico predisposto per la regolazione 0 – 10 V.

Per quanto riguarda i dispositivi atti alla regolazione del flusso luminoso, tutte le lampade al sodio facenti parte dello stralcio proposto nella *tabella 32*, eccezion fatta per 35 di esse alle quali saranno applicati i regolatori di flusso recuperabili da via San Pio X e da via Trento e Trieste, e tutte le 21 lampade recuperate dal magazzino comunale e le 15 di nuova acquisizione saranno dotate di un alimentatore elettronico regolabile della serie “HID Flat”; inoltre, a tutte le lampade a LED esistenti e di nuova acquisizione, eccetto quelle con alimentatore auto-regolabile per applicazioni “stand alone”, saranno associate delle Control Box di taglia 40 - 150 VA per la comunicazione via onde convogliate con una Collecting Unit posta a livello di quadro. Riassumendo, la lista degli apparecchi per la regolazione del flusso da acquistare consta dunque in:

- 1 alimentatore elettronico della serie “HID Flat” con Control Box integrata da 150 W;
- 786 alimentatori elettronici della serie “HID Flat” con Control Box integrata da 100 W;
- 36 alimentatori elettronici della serie “HID Flat” con Control Box integrata da 70 W;
- 162 Control Box da 40 – 150 VA.

Alla luce di tali considerazioni e degli spostamenti previsti dalle opere di razionalizzazione funzionale descritti in precedenza, le due tabelle sotto riportate presentano infine un riassunto dettagliato inerente lo stato di progetto che interessa rispettivamente gli 822 punti luce da gestire da remoto e i 217 punti luce che si intende gestire in modalità “stand alone”.

Tabella 35 – Stato di progetto degli 822 punti luce che si intende gestire da remoto.

822 PUNTI LUCE GESTITI DA REMOTO						
	SAP	Alimentatori HID Flat con Control Box integrata	LED esistenti	SOLED LED	ITALO 1 LED	Control Box per lampade a LED
30 W	-	-	-	91	-	-
32,5 W	-	-	-	-	23	-
36 W	-	-	48	-	-	-
70 W	17	17	-	-	-	-
100 W	643	643	-	-	-	-
40-150 VA	-	-	-	-	-	162

Tabella 36 – Stato di progetto dei 217 punti luce da gestire in modalità “stand alone”.

217 PUNTI LUCE "STAND ALONE"					
	SAP	Alimentatori HID Flat con Control Box integrata	Regolatori di flusso esistenti	SOLED LED auto-regolabili	ITALO 1 LED auto-regolabili
30 W	-	-	-	12	-
32,5 W	-	-	-	-	7
70 W	19	19	-	-	-
100 W	178	143	35	-	-
150 W	1	1	-	-	-

3.7.2 Il programma preliminare dei lavori

L'insieme delle opere per la riqualificazione del sistema di pubblica illuminazione del comune fin qui descritte confluiscono in una serie di attività previste dall'intervento che possono essere ripartite in quattro macro categorie che si succedono secondo la scansione temporale descritta dalla tabella seguente.

Tabella 37 – Programma preliminare dei lavori.

 mese	 1	 2	 3	 4	 5	 6
A1. Fornitura materiale						
A2. Nuovi corpi illuminanti						
A3. Sistema di regolazione						
A4. Ottimizzazione						

La prima voce è quella inerente la fornitura da parte dei produttori sia dei corpi illuminanti di nuova installazione, comprensivi di 133 lampade a LED complessive e di 15 lampade a vapori di sodio ad alta pressione, sia dei vari dispositivi per la regolazione del flusso luminoso, costituiti complessivamente da 823 alimentatori elettronici della serie “HID Flat” e da 162 Control Box.

In genere i tempi di consegna del materiale variano a seconda della quantità richiesta e del periodo dell'anno in cui viene effettuato l'ordine; data l'entità del progetto, è stato ragionevolmente ipotizzato un intervallo temporale effettivo di un mese,

comprensivo anche dei giorni non lavorativi, da ritenersi indicativo e passibile di modifiche sia in eccesso che in difetto in relazione alla disponibilità dei fornitori.

La seconda voce riguarda nello specifico l'installazione dei corpi illuminanti di nuova acquisizione sopra elencati, attività per la quale è stato previsto un arco di tempo pari a un mese, corrispondente alla sostituzione di 7-8 corpi illuminanti per ciascun giorno lavorativo.

Per quanto riguarda la terza macro categoria, comprensiva del lavoro di installazione e di messa in opera del sistema di regolazione del flusso luminoso presentato nelle sezioni precedenti, è stato considerato un intervallo di tempo che, a partire dall'acquisizione del materiale necessario, si estende per i successivi cinque mesi, mettendo in evidenza come il sistema di gestione proposto costituisca non solo l'elemento qualificante del progetto qui presentato, ma anche una voce onerosa dal punto di vista della messa in servizio.

L'ultima voce considerata all'interno della *tabella 37* comprende infine tutte quelle attività di ottimizzazione funzionale e di messa a norma dell'impianto di illuminazione che conferiscono valore aggiunto all'intervento proposto. In particolare, esse comprendono la rimozione e lo smaltimento delle poco efficienti lampade a vapori di mercurio esistenti, lo spostamento nella zona industriale di Vacil delle 56 lampade a vapori di sodio ad alta pressione prelevate dalle piazze e dalle vie sopra citate, il dislocamento dei 35 regolatori di flusso "stand alone" già presenti in altrettanti punti luce di via San Pio X e di via Trento e Trieste in altre zone del comune che non si intende gestire da remoto e, infine, la sostituzione dei pali in cemento elencati nella *tabella 7* di cui al *paragrafo 3.2* con altri elementi di sostegno più funzionali ai fini della sicurezza.

Il periodo di tempo ritenuto necessario per lo svolgimento di tutte queste attività è stato stimato attorno ai due mesi.

3.7.3 Significatività rispetto ai siti "Natura 2000"

Il presente capitolo si conclude con una sezione dedicata agli aspetti ambientali che sono stati tenuti in debita considerazione all'atto della progettazione del sistema di riqualificazione della illuminazione pubblica del comune di Breda di Piave.

Richiamando nuovamente il bando regionale di cui all'introduzione, tra i requisiti che il progetto proposto deve soddisfare ai fini dell'ammissibilità al contributo vi è infatti il rispetto delle disposizioni contenute nella *D.G.R. n. 3173 del 10 ottobre 2006*, avente come oggetto "*Nuove disposizioni relative all'attuazione della direttiva comunitaria 92/43/CEE e D.P.R. 357/1997. Guida metodologica per la valutazione di incidenza. Procedure e modalità operative*". La cosiddetta "*Direttiva Habitat*" ha infatti promosso l'istituzione di "Natura 2000", una rete ecologica per la conservazione della

biodiversità della flora e della fauna selvatiche e per la preservazione dei rispettivi habitat naturali estesa su tutto il territorio dell'Unione Europea, sensibilizzando così gli Stati Membri sulla necessità di promuovere un'iniziativa atta a limitare l'impatto che le attività umane hanno sui territori di interesse naturalistico. Tale rete è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC) e comprende le Zone di Protezione Speciale (ZPS), che costituiscono una categoria territoriale peculiare e volta specificamente alla conservazione degli uccelli selvatici introdotta con la *Direttiva 79/409/CEE "Uccelli"*, la quale è stata successivamente abrogata e sostituita integralmente dalla *Direttiva 2009/147/CE*; le liste delle aree rientranti in entrambe le categorie suddette devono essere presentate dagli Stati Membri stessi alla Commissione Europea, la quale valida o meno la proposta limitatamente ai Siti di Interesse Comunitario. Infatti, mentre le Zone di Protezione Speciale, una volta designate, rientrano automaticamente all'interno della rete Natura 2000, i SIC devono essere approvati dalla Commissione, la quale, nel corso di seminari biogeografici a cui partecipano anche gli Stati Membri e i rappresentanti di organizzazioni non governative a livello europeo, verifica che nelle aree in questione sia presente un campione sufficientemente rappresentativo di ogni habitat e di ciascuna specie. Una volta approvate le liste nazionali proposte, la Commissione pubblica la lista dei SIC, ciascuno dei quali deve essere designato dallo Stato competente come "Zona Speciale di Conservazione" (ZSC) entro un massimo di sei anni (www.minambiente.it; 2014).

Come si evince dalla tabella sotto riportata, tratta dalla pagina web del Ministero dell'Ambiente e recante il dettaglio regione per regione dei siti Natura 2000 e della loro estensione a terra e a mare in ettari e in percentuale rispetto alla superficie totale, in Italia vi sono attualmente 2.314 Siti di Interesse Comunitario, 367 dei quali sono stati designati come Zone Speciali di Conservazione (www.minambiente.it) e 335 dei quali coincidono con delle Zone di Protezione Speciale; oltre a essi vi sono inoltre 275 ZPS a sé stanti. Le regioni contrassegnate con l'asterisco sono quelle che presentano dei siti in comune; in merito a questi ultimi, la superficie assegnata a ciascuna regione è quella effettivamente ricadente all'interno del proprio territorio.

Per quanto riguarda il Veneto, in particolare, la Giunta Regionale ha fornito con la sopra citata *D.G.R. n. 3173 del 10 ottobre 2006* delle guide metodologiche per la valutazione di incidenza delle opere ricadenti interamente o parzialmente in un'area naturale protetta nazionale o regionale, esplicitando i principali obiettivi di conservazione per ciascun sito e definendo i criteri volti al suo mantenimento in uno stato di conservazione ottimale (<http://www.regione.veneto.it>).

Tabella 38 – Dettaglio regione per regione di SIC e ZPS (fonte: Ministero dell’Ambiente, 2014).

REGIONE	ZPS					SIC-ZSC					SIC-ZSC/ZPS				
	n.	superficie a terra		superficie a mare		n.	superficie a terra		superficie a		n.	superficie a terra		superficie a mare	
	siti	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%	siti	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%	siti	sup. (ha)	%	sup. (ha)	%
**Abruzzo	4	288.112	26,60%	0	0	53	232.707	21,48%	3.410	1,362%	1	19.886	1,84%	0	0
Basilicata	3	135.280	13,43%	0	0	41	38.672	3,84%	5.208	0,88%	14	26.566	2,64%	686	0,12%
Calabria	6	248.476	16,32%	13.716	0,78%	178	70.197	4,61%	20.251	1,15%	0	0	0	0	0
Campania	15	178.750	13,08%	16	0,002%	93	321.391	23,51%	511	0,06%	16	17.287	1,26%	24.561	2,99%
Emilia Romagna	19	29.457	1,31%	0	0	71	78.064	3,48%	68	0,03%	68	158.729	7,07%	3.489	1,60%
Friuli Ven. Giulia	4	59.587	7,58%	231	0,28%	55	75.302	9,58%	2.239	2,69%	4	53.871	6,85%	2.760	3,32%
**Lazio	18	356.368	20,68%	27.581	2,44%	161	98.526	5,72%	22.841	2,02%	21	24.233	1,41%	5	0,0004%
Liguria	7	19.715	3,64%	0	0	126	138.067	25,49%	9.133	1,67%	0	0	0	0	0
Lombardia	49	277.655	11,64%	/	/	175	204.430	8,57%	/	/	18	19.769	0,83%	/	/
**Marche	19	116.746	12,42%	1.101	0,28%	68	94.488	10,05%	900	0,23%	8	10.196	1,08%	0	0
**Molise	3	33.876	7,59%	0	0	76	65.607	14,71%	0	0	9	32.143	7,21%	0	0
*Piemonte	19	143.163	5,64%	/	/	95	119.548	4,71%	/	/	31	164.901	6,50%	/	/
PA Bolzano	0	0	0	/	/	23	7.306	0,99%	/	/	17	142.626	19,28%	/	/
PA Trento	7	124.192	20,01%	/	/	123	151.373	24,39%	/	/	12	2.941	0,47%	/	/
Puglia	6	100.868	5,16%	313	0,02%	73	232.618	11,90%	65.527	4,26%	5	160.837	8,23%	9.268	0,60%
Sardegna	31	147.644	6,13%	29.977	1,34%	87	269.333	11,18%	95.357	4,25%	6	97.094	4,03%	21.211	0,95%
Sicilia	15	270.144	10,46%	109.850	2,91%	208	360.735	13,96%	108.287	2,87%	15	19.447	0,75%	30	0,001%
Toscana	17	33.344	1,45%	16.871	1,03%	90	207.816	9,04%	26.228	1,60%	44	98.119	4,27%	44.302	2,71%
Umbria	5	29.123	3,44%	/	/	95	103.209	12,19%	/	/	2	18.121	2,14%	/	/
*Valle d'Aosta	2	40.624	12,46%	/	/	25	25.926	7,95%	/	/	3	45.717	14,02%	/	/
Veneto	26	188.692	10,25%	571	0,16%	63	198.871	10,80%	3.805	1,09%	41	170.606	9,27%	0	0
TOTALE	275	2.821.818	9,34%	200.228	1,30%	1979	3.094.186	10,24%	363.763	2,36%	335	1.283.089	4,25%	106.311	0,69%

Anche la superficie del territorio comunale di Breda di Piave è parzialmente interessata da aree ricadenti all’interno della “Rete Natura 2000”; come si evince dalla figura 117 sotto riportata, infatti, sono presenti i seguenti siti:

- ZPS IT3240023 “Grave del Piave”;
- SIC IT3240030 “Grave del Piave – Fiume Soligo – Fosso di Negrisia”;
- SIC IT3240033 “Fiumi Meolo e Vallio”.

Trattasi perlopiù di habitat fluviali o di espansione fluviale colonizzati in parte da vegetazione tipica con boschetti e macchie arbustive e, nelle depressioni, canneti; tali aree sono soggette a frequenti cambiamenti dovuti al regime del fiume e registrano la presenza di fauna avicola.

In merito alle attività previste dal progetto in questione, si sottolinea che le stesse si svolgeranno esclusivamente nelle strade di pertinenza comunale, prevalentemente all’interno delle aree residenziali o nei tratti di collegamento tra le frazioni che costituiscono il Comune di Breda, e pertanto al di fuori degli areali soggetti a protezione.

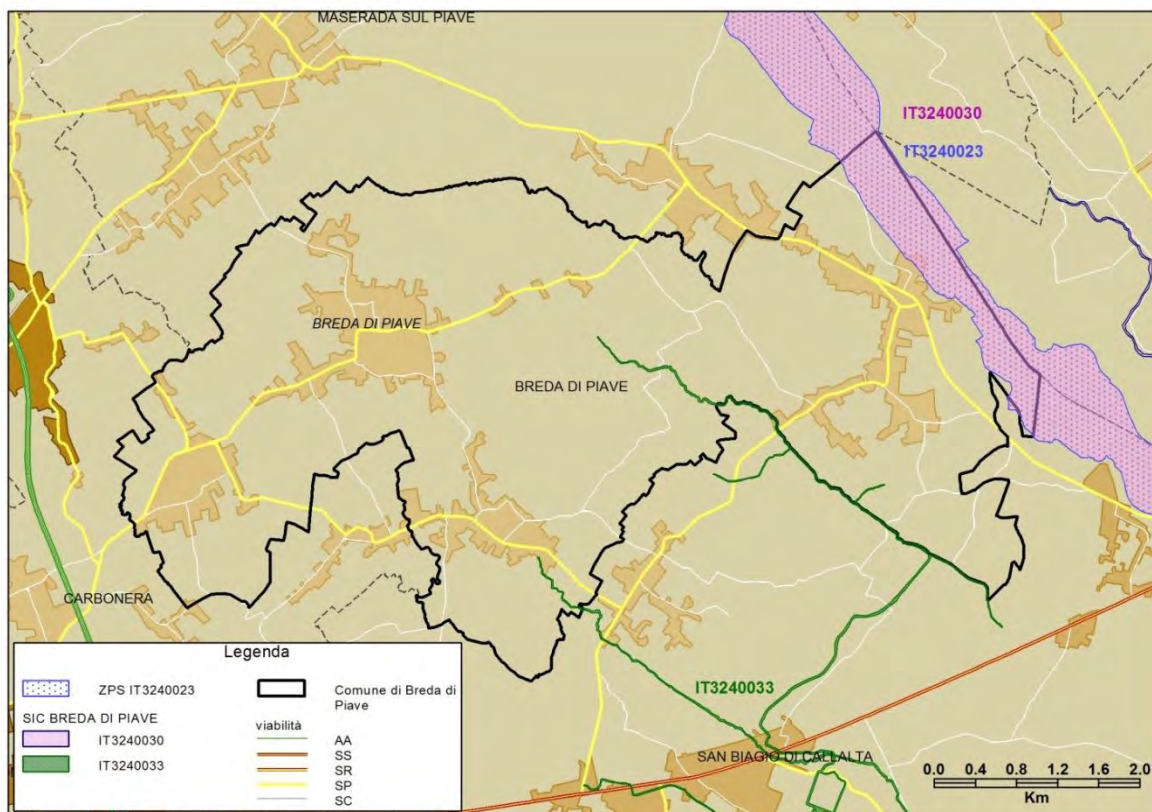


Figura 117 - Siti Natura 2000 nel territorio di Breda di Piave (fonte: www.regioneveneto.it).

Inoltre, si richiama il fatto che le attività di progetto sono del tutto assimilabili ad un intervento di manutenzione straordinaria degli impianti di pubblica illuminazione già esistenti, senza realizzazione di nuove linee o punti luce, ma con interventi di retrofit volti all’implementazione del controllo e della regolazione dei punti luce.

In terzo luogo si osserva che lo scopo precipuo del progetto in argomento è quello di conseguire un sensibile risparmio energetico nell’illuminazione per esterni con conseguente contenimento dell’inquinamento luminoso, in coerenza con il dettato della *Legge Regionale n. 17 del 7 agosto 2009*, a tutto vantaggio della situazione ambientale nel territorio comunale e pertanto anche delle limitrofe aree protette.

Considerato quanto sopra esposto si ritiene dunque, secondo i criteri metodologici stabiliti dalla *D.G.R. n 3173 del 10 ottobre 2006 e s.m.i.*, che le opere in oggetto sono del tutto ricadenti nella categoria di cui all’*Allegato A* alla stessa D.G.R., *paragrafo 3. “Criteri e indirizzi per l’individuazione dei piani, progetti e interventi per i quali non è necessaria la procedura di Valutazione di Incidenza.”, comma B (interventi all’esterno dei siti), categoria VI) “piani, progetti e interventi per i quali non risultano possibili effetti significativi negativi sui siti della rete Natura 2000”.*

Capitolo 4

Calcolo dei risparmi e analisi economica

Il presente capitolo è strettamente correlato al precedente in quanto amplia e completa la trattazione ivi presentata, fornendo indicazioni in merito al risparmio energetico conseguibile attraverso l'intervento di riqualificazione energetica proposto e presentando un'analisi di rientro economico sia dal punto di vista del Comune, sia dal punto di vista della ESCo chiamata a realizzare le opere previste dal progetto.

4.1 Calcolo dei risparmi

Il calcolo dei risparmi energetici di seguito presentato è relativo allo stralcio della rete di illuminazione preso in considerazione e rapporta i consumi stimati per la configurazione proposta nello stato di progetto, delineata nelle *tabelle 35 e 36* di cui al *paragrafo 3.7.1* del capitolo precedente, al consumo stimato per lo stato di consistenza dello stralcio descritto nella *tabella 32* della medesima sezione.

Per quanto riguarda il consumo nella situazione ante intervento, il calcolo riportato nella tabella sottostante è stato effettuato moltiplicando, per ciascuna tipologia di lampada facente parte dello stralcio, la totale potenza installata, comprensiva sia dell'assorbimento delle sorgenti luminose che di quello dei circuiti di alimentazione a esse associati, per un numero di ore di buio annue pari a 4.244, corrispondenti a una durata di funzionamento del sistema di illuminazione pubblica mediamente pari a 11,63 ore al giorno.

In particolare, per tener conto dei consumi imputabili agli alimentatori ferromagnetici delle lampade a scarica, la potenza nominale di queste ultime è stata incrementata del 15%, mentre, per quanto concerne le 48 lampade a LED, la potenza indicata di 36 W è comprensiva anche del driver di alimentazione. Tuttavia, come già accennato, non tutte le 785 lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W esistenti presentano dei reattori di tipo ferromagnetico poiché 35 di esse risultano già dotate di alimentatori elettronici con profilo di regolazione preprogrammato; dati i minori consumi imputabili a questi ultimi rispetto ai reattori ferromagnetici, la potenza nominale delle 35 lampade citate è stata quindi incrementata solo del 5% e, per tener conto del profilo di regolazione fisso a cui risultano già sottoposte, nel calcolo dei consumi annui a esse associati è stata sottratta una quota corrispondente al 16% dei consumi stimati in assenza di riduzione.

Tabella 39 – Calcolo del consumo annuo dello stralcio nella situazione ante intervento.

Stato di consistenza stralcio	P totale installata [kW]	Consumo annuo [kWh]
750 SAP da 100 W	86,25	366.045
35 SAP da 100 W	3,68	13.101,2
1 SAP da 150 W	0,17	732,1
36 SAP da 70 W	2,90	12.299,1
169 VM da 125 W	24,29	103.102,7
48 LED da 36 W	1,73	7.333,6
Totale	119,02	502.613,7

Come si evince dalla tabella, il consumo annuo stimato per lo stralcio nella situazione ante intervento è pari a circa 502.614 kWh; nel calcolo di tale dato non sono stati conteggiati i risparmi di energia derivanti dal funzionamento dei riduttori di potenza centralizzati agenti su parte delle lampade dello stralcio in quanto attualmente non funzionanti o affetti da frequenti guasti che ne hanno compromesso l'utilità e promosso l'eliminazione: in caso contrario, i punti luce assoggettati a tali riduttori non sarebbero stati infatti inseriti all'interno dello stralcio.

Per quanto riguarda lo stato di progetto di quest'ultimo, il calcolo dei risparmi conseguibili rispetto alla situazione ante intervento è stato ripartito nelle seguenti voci, dettagliatamente esplicitate nelle sezioni successive:

- 1) risparmio derivante dalla sostituzione delle 169 lampade a vapori di mercurio;
- 2) risparmio derivante dalla sostituzione dei reattori ferromagnetici con alimentatori elettronici;
- 3) risparmio derivante dal profilo di regolazione della potenza assorbita dalle lampade gestite in modalità "stand alone";
- 4) risparmio derivante dal profilo di regolazione della potenza assorbita impostato per le lampade gestite da remoto.

4.1.1 Sostituzione delle lampade a vapori di mercurio

Riprendendo la *tabella 39* sopra riportata relativa alla situazione ante intervento, a una potenza complessivamente installata pari a 24,29 kW, dovuta alle 169 lampade a vapori di mercurio da 125 W facenti parte dello stralcio e comprensiva dall'assorbimento degli alimentatori ferromagnetici a esse associati, corrisponde un consumo annuo stimato pari a 103.103 kWh.

Tralasciando gli spostamenti previsti per le lampade a vapori di sodio e per le sorgenti a LED nella configurazione di progetto sopra proposta, i nuovi corpi illuminanti che

sopperiscono a livello puramente numerico alla rimozione delle 169 lampade al mercurio, constano in:

- 36 lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W;
- 103 lampade SOLED LED da 30W;
- 30 lampade ITALO 1 LED da 32,5 W.

Come già menzionato, le 36 lampade SAP non sono tutte di nuova acquisizione in quanto 21 di esse sono recuperabili dalla scorta disponibile nel magazzino comunale; inoltre, per quanto riguarda le lampade a LED, la potenza citata è comprensiva anche dei consumi del sistema di alimentazione solamente in relazione alle sorgenti per le quali è previsto un funzionamento di tipo “stand alone” secondo un profilo di riduzione impostato dal costruttore. Infatti, per le 91 SOLED LED e le 23 ITALO 1 LED che si intende gestire da remoto, alla potenza di ciascuna di esse va sommato un assorbimento pari a 1,8 W dovuto alla Control Box che è necessario installare per la comunicazione via onde convogliate con la Collecting Unit.

Riassumendo, la potenza complessiva delle lampade SAP e a LED previste in sostituzione di quelle al mercurio è rispettivamente pari a:

$$P_{SAP} = \frac{36 \cdot 100 \cdot 1,15}{1000} = 4,14 \text{ kW} \quad (4.1)$$

$$P_{LED} = \frac{103 \cdot 30 + 30 \cdot 32,5 + (91 + 23) \cdot 1,8}{1000} = 4,27 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Il consumo che ne deriva, calcolato sulle sopra citate 4.244 ore annue di funzionamento del sistema di illuminazione pubblica, risulta complessivamente pari a 35.692,9 kWh/anno; il risparmio di energia rispetto al consumo stimato per le lampade al mercurio risulta dunque pari a:

$$Risparmio_1 = 103.102,7 - 35.692,9 = 67.409,8 \text{ kWh/anno} \quad (4.3)$$

4.1.2 Sostituzione degli alimentatori ferromagnetici

La sostituzione del classico circuito di accensione per lampade a scarica, costituito da accenditore, reattore ferromagnetico e condensatore, con un unico dispositivo elettronico in grado di operare anche la regolazione della potenza assorbita interessa tutte le lampade a vapori di sodio ad alta pressione riportate nella *tabella 39*, tranne le

35 già dotate di un sistema di alimentazione di tipo elettronico. A esse vanno sommate le 36 lampade SAP da 100 W introdotte in sostituzione di altrettante lampade a mercurio, ottenendo un totale di:

- 36 lampade SAP da 70 W;
- 786 lampade SAP da 100 W;
- 1 lampada SAP da 150 W.

Secondo quanto dichiarato dal costruttore, l'introduzione di un sistema di alimentazione elettronico comporta una riduzione pari al 10% della potenza complessivamente assorbita dal corpo illuminante; considerando quindi un surplus del 15% sulla potenza nominale di lampada dovuto agli alimentatori ferromagnetici da sostituire e un surplus del 5% dovuto ai nuovi alimentatori elettronici, i consumi annui imputabili esclusivamente ai diversi dispositivi di alimentazione nelle situazioni ante e post intervento sono rispettivamente pari a:

$$C_{ante} = \frac{(36 \cdot 70 + 786 \cdot 100 + 1 \cdot 150) \cdot 0,15}{1000} \cdot 4244 = 51.736,5 \text{ kWh/anno} \quad (4.4)$$

$$C_{post} = \frac{(36 \cdot 70 + 786 \cdot 100 + 1 \cdot 150) \cdot 0,05}{1000} \cdot 4244 = 17.245,5 \text{ kWh/anno} \quad (4.5)$$

L'introduzione di un sistema di alimentazione intrinsecamente più efficiente comporta dunque il seguente risparmio energetico annuo:

$$Risparmio_2 = 51.736,5 - 17.245,5 = 34.491 \text{ kWh/anno} \quad (4.6)$$

4.1.3 Regolazione della potenza per applicazioni "stand alone"

Riprendendo quanto delineato nella *tabella 36*, i punti luce che si intende gestire in modalità "stand alone", oltre alle sopra citate 35 lampade a vapori di sodio ad alta pressione già dotate di alimentatori elettronici con profilo di regolazione fisso, constano in:

- 19 lampade SAP da 70 W;
- 143 lampade SAP da 100 W;
- 1 lampada SAP da 150 W;

- 12 SOLED LED da 30W;
- 7 ITALO 1 LED da 32,5 W.

Il consumo annuo che ne caratterizza il funzionamento a piena potenza, considerando un incremento del 5% sulla potenza nominale assorbita da ciascuna lampada al sodio dovuto agli alimentatori elettronici introdotti, risulta pari a:

$$C_{no\ regolazione} = \frac{(19 \cdot 70 + 143 \cdot 100 + 1 \cdot 150) \cdot 1,05 + 12 \cdot 30 + 7 \cdot 32,5}{1000} \quad (4.7)$$

$$\cdot 4244 = 72.812,2 \text{ kWh/anno}$$

Come già accennato, secondo quanto indicato dal costruttore, l'adozione degli alimentatori elettronici "HID Flat" caratterizzati dal profilo di regolazione della potenza presentato in *figura 74*, comporta un risparmio sul consumo medio annuo di energia delle lampade alle quali vengono applicati pari al 16% rispetto al funzionamento a piena potenza. Supponendo di impostare anche per le sopra elencate lampade a LED un profilo di regolazione analogo, il consumo annuo che ne deriva risulta complessivamente pari a:

$$C_{con\ regolazione} = (1 - 0,16) \cdot 72.812,2 = 61.162,2 \text{ kWh/anno} \quad (4.8)$$

A fronte di tali considerazioni, il risparmio medio annuo, in termini di kWh, conseguibile attraverso il sistema di regolazione suddetto è il seguente:

$$Risparmio_3 = 72.812,2 - 61.162,2 = 11.650 \text{ kWh/anno} \quad (4.9)$$

4.1.4 Regolazione della potenza per lampade gestite da remoto

Per quanto riguarda gli 822 punti luce dello stralcio per i quali si prevede una gestione da remoto mediante profilo di regolazione comunicato dalla centralina via onde convogliate, il calcolo dei risparmi di seguito presentato fa riferimento ai due scenari luminosi descritti all'interno della *sezione 3.6.6.1*, rappresentativi delle possibili modulazioni del flusso luminoso implementabili rispettivamente nel periodo invernale e nel periodo estivo.

Riprendendo quanto delineato nella *tabella 35*, lo stato di progetto inerente i punti luce suddetti comprende:

- 17 lampade SAP da 70 W;
- 643 lampade SAP da 100 W;
- 48 lampade a LED esistenti da 36 W;
- 91 SOLED LED da 30 W;
- 23 ITALO 1 LED da 32,5 W.

Per ciascuna delle categorie elencate, le tabelle sottostanti riportano, per ogni step di riduzione previsto dallo scenario invernale prima e da quello estivo poi, le seguenti voci:

- la durata, in ore, dell'intervallo di riduzione;
- la percentuale del flusso luminoso emesso rispetto alle condizioni nominali;
- limitatamente alle lampade a scarica, la percentuale della potenza assorbita rispetto alle condizioni nominali (per le sorgenti a LED detta percentuale coincide con quella di cui al punto precedente);
- la corrispondente potenza assorbita da una singola lampada, comprensiva del sistema elettronico di alimentazione a essa associato;
- limitatamente alle lampade a LED, la potenza assorbita dalle Control Box necessarie per la comunicazione con la centralina;
- i consumi parziali di energia imputabili a un singolo corpo illuminante.

Infine, le tabelle danno indicazione dei consumi giornalieri imputabili al totale delle lampade rientranti all'interno di ciascuna categoria, sia considerando il profilo di regolazione proposto, sia ipotizzando un funzionamento a piena potenza per tutta la durata di accensione dell'impianto.

Per quanto riguarda il caso invernale, caratterizzato da cinque differenti step di riduzione, le tabelle di riferimento sono di seguito riportate.

Tabella 40 - Consumi lampade SAP da 70 W nella situazione invernale.

Step	Ore	% flusso	% potenza	P lampada [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	3,333	100%	100%	74	246,6			
II	1	90%	94%	69,56	69,6			
III	2	70%	83%	61,42	122,8			
IV	6,5	40%	63%	46,62	303			
V	2,167	100%	100%	74	160,4			
Totale	15				902,4	17	15,3	18,9

Tabella 41 - Consumi lampade SAP da 100 W nella situazione invernale.

Step	Ore	% flusso	% potenza	P lampada [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	3,333	100%	100%	105	350			
II	1	90%	93%	97,65	97,7			
III	2	70%	77%	80,85	161,7			
IV	6,5	40%	55%	57,75	375,4			
V	2,167	100%	100%	105	227,5			
Totale	15				1212,2	643	779,5	1.012,7

Tabella 42 - Consumi lampade a LED da 36 W nella situazione invernale.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	3,333	100%	36	1,8	37,8	126			
II	1	90%	32,4	1,8	34,2	34,2			
III	2	70%	25,2	1,8	27	54			
IV	6,5	40%	14,4	1,8	16,2	105,3			
V	2,167	100%	36	1,8	37,8	81,9			
Totale	15					401,4	48	19,3	27,2

Tabella 43 - Consumi lampade SOLED LED da 30 W nella situazione invernale.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	3,333	100%	30	1,8	31,8	106			
II	1	90%	27	1,8	28,8	28,8			
III	2	70%	21	1,8	22,8	45,6			
IV	6,5	40%	12	1,8	13,8	89,7			
V	2,167	100%	30	1,8	31,8	68,9			
Totale	15					339	91	30,8	43,4

Tabella 44 - Consumi lampade ITALO 1 LED da 32,5 W nella situazione invernale.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	3,333	100%	32,5	1,8	34,3	114,3			
II	1	90%	29,25	1,8	31,05	31,1			
III	2	70%	22,75	1,8	24,55	49,1			
IV	6,5	40%	13	1,8	14,8	96,2			
V	2,167	100%	32,5	1,8	34,3	74,3			
Totale	15					365	23	8,4	11,8

Sommando le penultime voci di ciascuna tabella, il totale consumo giornaliero previsto per le lampade sottoposte a regolazione ammonta a 853,3 kWh; in assenza di regolazione, invece, il dato giornaliero di consumo risulta complessivamente pari a 1.114 kWh.

Per quanto concerne la situazione estiva, alla quale competono quattro step di riduzione, le tabelle di riferimento sono di seguito riportate.

Tabella 45 - Consumi lampade SAP da 70 W nella situazione estiva.

Step	Ore	% flusso	% potenza	P lampada [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	1,417	100%	100%	74	104,8			
II	2	85%	92%	68,08	136,2			
III	4	50%	70%	51,8	207,2			
IV	0,833	70%	83%	61,42	51,2			
Totale	8,25				499,4	17	8,5	10,4

Tabella 46 - Consumi lampade SAP da 100 W nella situazione estiva.

Step	Ore	% flusso	% potenza	P lampada [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	1,417	100%	100%	105	148,8			
II	2	85%	90%	94,5	189			
III	4	50%	62%	65,1	260,4			
IV	0,833	70%	77%	80,85	67,3			
Totale	8,25				665,5	643	427,9	557

Tabella 47 - Consumi lampade a LED da 36 W nella situazione estiva.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	1,417	100%	36	1,8	37,8	53,6			
II	2	85%	30,6	1,8	32,4	64,8			
III	4	50%	18	1,8	19,8	79,2			
IV	0,833	70%	25,2	1,8	27	22,5			
Totale	8,25					220	48	10,6	15

Tabella 48 - Consumi lampade SOLED LED da 30 W nella situazione estiva.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	1,417	100%	30	1,8	31,8	45,1			
II	2	85%	25,5	1,8	27,3	54,6			
III	4	50%	15	1,8	16,8	67,2			
IV	0,833	70%	21	1,8	22,8	19			
Totale	8,25					185,8	91	16,9	23,9

Tabella 49 - Consumi lampade ITALO 1 LED da 32,5 W nella situazione estiva.

Step	Ore	% flusso	P lampada [W]	P Control Box [W]	P tot [W]	Consumo lampada [Wh]	N° lampade	Consumi giornalieri con regolazione [kWh]	Consumi giornalieri senza regolazione [kWh]
I	1,417	100%	32,5	1,8	34,3	48,6			
II	2	85%	27,625	1,8	29,425	58,9			
III	4	50%	16,25	1,8	18,05	72,2			
IV	0,833	70%	22,75	1,8	24,55	20,5			
Totale	8,25					200,1	23	4,6	6,5

In tale situazione, l'ammontare dei consumi giornalieri imputabili agli 822 punti luce considerati risulta pari a 468,5 kWh nel caso con regolazione e a 612,8 kWh nel caso senza regolazione.

Moltiplicando i dati di consumo giornaliero, mediati tra estate e inverno, per i 365 giorni all'anno di funzionamento dell'impianto di illuminazione, i consumi medi annui che ne conseguono ammontano rispettivamente a 241.227,7 kWh nel caso con riduzione e a 315.133,3 nel caso di funzionamento alla massima potenza.

Il risparmio medio annuo derivante dall'implementazione dei profili di regolazione proposti in precedenza risulta quindi pari a:

$$Risparmio_4 = 315.133,3 - 241.227,7 = 73.905,6 \text{ kWh/anno} \quad (4.10)$$

valore che corrisponde a un risparmio percentuale del 23,5% rispetto al caso senza riduzione.

Naturalmente tale percentuale è passibile di variazioni in relazione alle particolari scelte progettuali effettuate in ambito illuminotecnico, strettamente legate alla possibilità di ridurre più o meno il flusso luminoso emesso dalle sorgenti in oggetto e quindi alle caratteristiche delle strade nelle quali queste sono ubicate.

Sommando l'ultimo dato di risparmio ricavato ai valori calcolati nelle tre sezioni precedenti, si ottiene un risparmio medio annuo pari a 187.456,3 kWh, al quale va

però sottratto il consumo annuo dovuto alle Control Box previste per le 48 lampade a LED esistenti, pari a 366,7 kWh.

Il risparmio medio ottenibile mediante la configurazione di progetto proposta rispetto allo stato di fatto del sistema di illuminazione pubblica comunale risulta quindi complessivamente pari a:

$$\begin{aligned} Risparmio_{TOT} &= Risparmio_1 + Risparmio_2 + Risparmio_3 + Risparmio_4 - 366,7 \quad (4.11) \\ &= 187.089,6 \text{ kWh/anno} \end{aligned}$$

a cui corrisponde una riduzione percentuale del 37,2% rispetto ai consumi della situazione ante intervento.

In conclusione, il consumo totale stimato per la soluzione proposta ammonta a:

$$C_{tot,post} = 502.613,7 - 187.089,6 = 315.524,1 \text{ kWh/anno} \quad (4.12)$$

4.2 Analisi economica

L'analisi che si sviluppa nel seguito propone una valutazione di tipo economico in merito all'investimento previsto per l'opera di riqualificazione energetica sopra presentata, sostenuto in parte dall'Amministrazione Comunale di Breda di Piave e in parte dalla ESCo alla quale l'Amministrazione stessa fa affidamento per la realizzazione dei lavori; in particolare, tale analisi è svincolata dall'esito del bando regionale di cui all'introduzione ed è volta a evidenziare la validità del progetto presentato anche senza i proventi derivanti dalla Regione Veneto.

4.2.1 Quadro economico di progetto

Per quanto riguarda la spesa prevista, la tabella sotto riportata presenta il quadro economico di progetto, suddiviso nelle quattro principali macrocategorie di seguito descritte.

A. LAVORI E FORNITURE.

Tale macrocategoria comprende innanzitutto le spese per l'acquisto dei nuovi corpi illuminanti a LED e a vapori di sodio ad alta pressione e dei dispositivi necessari per operare la regolazione della potenza assorbita (alimentatori elettronici, Control Box e Collecting Unit), sia da remoto, sia mediante funzionamento in modalità "stand alone".

Altre due voci rientranti nella presente categoria sono costituite dagli oneri per la sicurezza, non soggetti a ribasso d'asta, e da tutti gli interventi di adeguamento alla legge regionale n. 17 del 07/08/2009, avente come oggetto "Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici", la quale promuove principalmente "la riduzione dell'inquinamento luminoso e ottico, nonché la riduzione dei consumi energetici da esso derivanti" e "l'uniformità dei criteri di progettazione per il miglioramento della qualità luminosa degli impianti per la sicurezza della circolazione stradale" (bur.regione.veneto.it).

All'interno di tale voce sono dunque presenti tutte le spese derivanti dai lavori di ottimizzazione funzionale del sistema di illuminazione, comprensivi delle operazioni di spostamento di alcuni corpi illuminanti e dei regolatori di flusso esistenti e di sostituzione dei pali in cemento e delle armature a essi associate con dei sostegni più adatti sia dal punto di vista della sicurezza che da quello dell'efficienza luminosa della lampada.

B. SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE.

Comprendono le spese tecniche, più dettagliatamente descritte all'interno della tabella suddetta, per la progettazione e la realizzazione dell'intervento, una quota legata agli imprevisti e un incentivo alla progettazione previsto dall'articolo 92 del decreto legislativo 163/2006.

C. ONERI PREVIDENZIALI.

Comprendono il contributo CNPAIA (Cassa Nazionale Previdenza e Assistenza Ingegneri e Architetti), corrispondente al 4% dell'imponibile relativo alle spese tecniche.

D. ONERI FISCALI.

Comprendono l'I.V.A. al 22% imponibile su tutte le voci appartenenti alle tre macrocategorie sopra citate.

Tabella 50 - Quadro economico di progetto.

N	DESCRIZIONE	IMPORTO		
A	LAVORI E FORNITURE			
A1	NUOVI CORPI ILLUMINANTI	a corpo	€	73.000
A2	NUOVI SISTEMI DI REGOLAZIONE DA "REMOTO" E "STAND ALONE"	a corpo	€	206.000
A3	OTTIMIZZAZIONE E ADEGUAMENTO ALLA L. REGIONALE N. 17 DEL 07/08/2009	a corpo	€	21.000
A4	ONERI PER LA SICUREZZA	a corpo	€	5.500
	SOMMANO I LAVORI A1-A4 (non soggetto a ribasso il punto A4)		€	305.500
B	SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	SPESE TECNICHE per progettazione, direzione, contabilizzazione, assistenza lavori, collaudo, redazione piani della sicurezza, coordinamento sicurezza in fase di esecuzione, rilievi, indagini preliminari, studi ambientali		€	15.000
B2	"Incentivo art. 92 D. Lgs. 163/2006"		€	4.583
B3	Imprevisti		€	5.417
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE B		€	25.000
C	ONERI PREVIDENZIALI			
C1	CNPAIA (4% di B1)		€	600
	TOTALE ONERI PREVIDENZIALI C		€	600
D	ONERI FISCALI			
D1	I.V.A. 22% su A + B +C		€	72.842
	TOTALE ONERI FISCALI D		€	72.842
	TOTALE GENERALE A+B+C+D		€	403.941

Come si evince dalla tabella, il totale derivante dalla somma delle voci sopra elencate è pari a 403.941 €.

Le modalità di copertura di tale importo costituiscono il fattore discriminante tra le due analisi economiche di seguito presentate; infatti, mentre la prima considera come unici soggetti finanziatori il Comune e la ESCo, la seconda prende in considerazione il ricorso a un istituto di credito per la copertura di parte dell'investimento.

4.2.2 Caso di studio 1: investimento sostenuto dal Comune e dalla ESCo

Il primo caso di studio delineato nel seguito offre, come già accennato, una valutazione economica per lo stralcio di progetto nella quale l'intero importo dell'investimento viene stanziato nell'istante iniziale in parte dal Comune, per una quota pari a 150.000 €, e in parte dalla ESCo, per la copertura della quota rimanente.

Secondo quanto dichiarato dal costruttore, considerando un funzionamento medio giornaliero della rete di illuminazione pubblica pari a circa 11,5 ore, la vita utile dell'intero sistema proposto per la regolazione del flusso luminoso è pari a 15 anni; tale valore è stato dunque considerato in entrambe le analisi economiche realizzate.

Per quanto riguarda la valorizzazione del risparmio di energia elettrica stimato tramite i calcoli precedentemente illustrati, è stato impiegato lo stesso prezzo applicato attualmente dal fornitore di energia elettrica al Comune, pari a 0,23 €/kWh, incrementato di un tasso pari al 2% annuo. I risparmi economici che ne derivano, in parte ripagano l'investimento iniziale effettuato dal Comune, in parte contribuiscono alla remunerazione della ESCo sottoforma di un canone costante, supposto pari a 40.000 €, corrisposto alla ESCo stessa per tutta la durata del contratto stipulato.

Infine, in entrambe le analisi non è stato considerato alcun risparmio derivante dalla minor manutenzione richiesta dallo stralcio una volta effettuato l'intervento: oltre che da ragioni di carattere cautelativo, tale scelta è giustificata anche dal fatto che nel bilancio comunale la voce relativa alla manutenzione del sistema di illuminazione pubblica rappresenta un costo fisso, dal momento che tutte le operazioni di ricambio delle apparecchiature e delle lampade guaste sono affidate agli operai del Comune stesso.

I dettagli della soluzione proposta sono di seguito riassunti:

- investimento iniziale: 403.941 €
- quota Comune: 150.000 €
- quota ESCo: 253.941 €
- risparmio di energia: 187.089,6 kWh/anno
- valorizzazione dell'energia risparmiata: 0,23 €/kWh
- incremento annuo del prezzo dell'energia elettrica: 2%
- tasso di sconto annuo: 5%
- durata del contratto: 9 anni
- canone: 40.000 €/anno

Facendo riferimento a tali dati, la tabella seguente riporta i flussi di cassa semplici e i flussi di cassa scontati relativi alla soluzione ipotizzata, calcolati considerando il punto di vista dell'Amministrazione Comunale.

Tabella 51 - Caso di studio 1: flusso di cassa semplice (Cash Flow) e flusso di cassa scontato (Discounted Cash Flow) riferiti al Comune.

Anno	Investimento iniziale	Prezzo en. el.	Risparmi	Canone	Cash Flow	CF cumulato	DCF	DCF cumulato
0	-€ 150.000,00				-€ 150.000,00	-€ 150.000,00	-€ 150.000,00	-€ 150.000,00
1		€ 0,2300	€ 43.030,60	-€ 40.000,0000	€ 3.030,60	-€ 146.969,40	€ 2.886,29	-€ 147.113,71
2		€ 0,2346	€ 43.891,22	-€ 40.000,0000	€ 3.891,22	-€ 143.078,18	€ 3.529,45	-€ 143.584,26
3		€ 0,2393	€ 44.769,04	-€ 40.000,0000	€ 4.769,04	-€ 138.309,14	€ 4.119,68	-€ 139.464,59
4		€ 0,2441	€ 45.664,42	-€ 40.000,0000	€ 5.664,42	-€ 132.644,72	€ 4.660,13	-€ 134.804,46
5		€ 0,2490	€ 46.577,71	-€ 40.000,0000	€ 6.577,71	-€ 126.067,01	€ 5.153,81	-€ 129.650,65
6		€ 0,2539	€ 47.509,26	-€ 40.000,0000	€ 7.509,26	-€ 118.557,75	€ 5.603,53	-€ 124.047,12
7		€ 0,2590	€ 48.459,45	-€ 40.000,0000	€ 8.459,45	-€ 110.098,30	€ 6.011,97	-€ 118.035,15
8		€ 0,2642	€ 49.428,64	-€ 40.000,0000	€ 9.428,64	-€ 100.669,67	€ 6.381,67	-€ 111.653,48
9		€ 0,2695	€ 50.417,21	-€ 40.000,0000	€ 10.417,21	-€ 90.252,46	€ 6.715,03	-€ 104.938,45
10		€ 0,2749	€ 51.425,55		€ 51.425,55	-€ 38.826,90	€ 31.570,83	-€ 73.367,62
11		€ 0,2804	€ 52.454,07		€ 52.454,07	€ 13.627,16	€ 30.668,81	-€ 42.698,82
12		€ 0,2860	€ 53.503,15		€ 53.503,15	€ 67.130,31	€ 29.792,55	-€ 12.906,26
13		€ 0,2917	€ 54.573,21		€ 54.573,21	€ 121.703,52	€ 28.941,34	€ 16.035,08
14		€ 0,2975	€ 55.664,67		€ 55.664,67	€ 177.368,19	€ 28.114,44	€ 44.149,52
15		€ 0,3035	€ 56.777,97		€ 56.777,97	€ 234.146,16	€ 27.311,17	€ 71.460,69

Dall'analisi dei flussi di cassa cumulati, graficamente rappresentati nelle due figure sotto riportate, si evince che il tempo di ritorno semplice dell'investimento è pari a circa 10 anni e 9 mesi, mentre il tempo di ritorno calcolato sui flussi di cassa scontati corrisponde a circa 12 anni e 5 mesi.

All'investimento effettuato dal Comune competono inoltre:

- un valore attuale netto (VAN) pari a 71.460,69 €;
- un tasso interno di redditività (TIR) pari all'8,8%;
- un indice di profitto (IP), dato dal rapporto tra il VAN e l'investimento stesso, pari a 0,48.

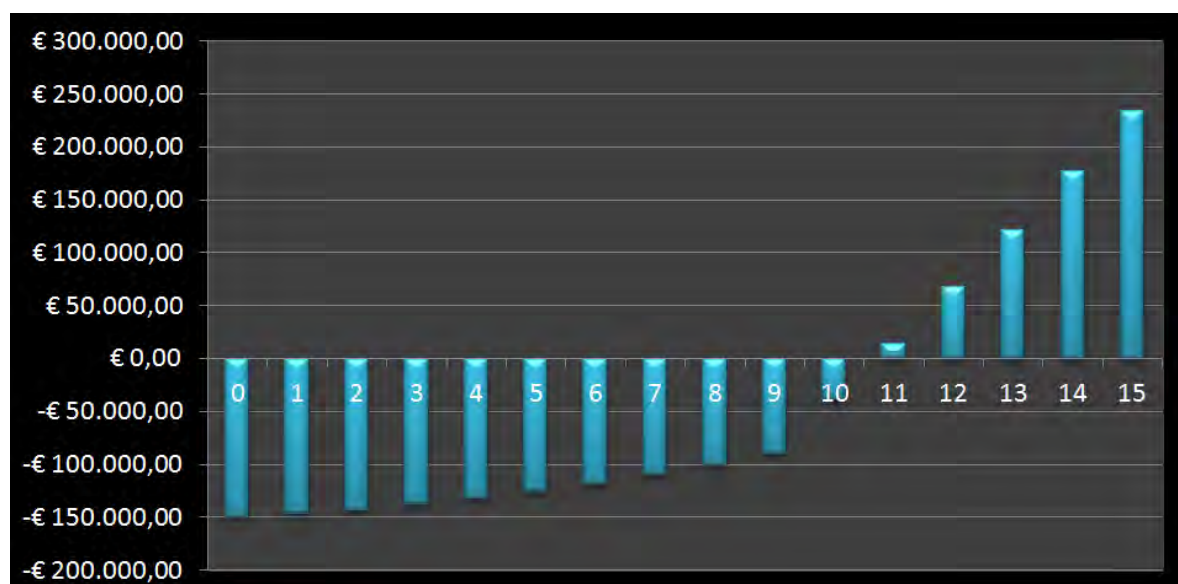


Figura 118 - Caso di studio 1: rappresentazione del flusso di cassa cumulato riferito al Comune.

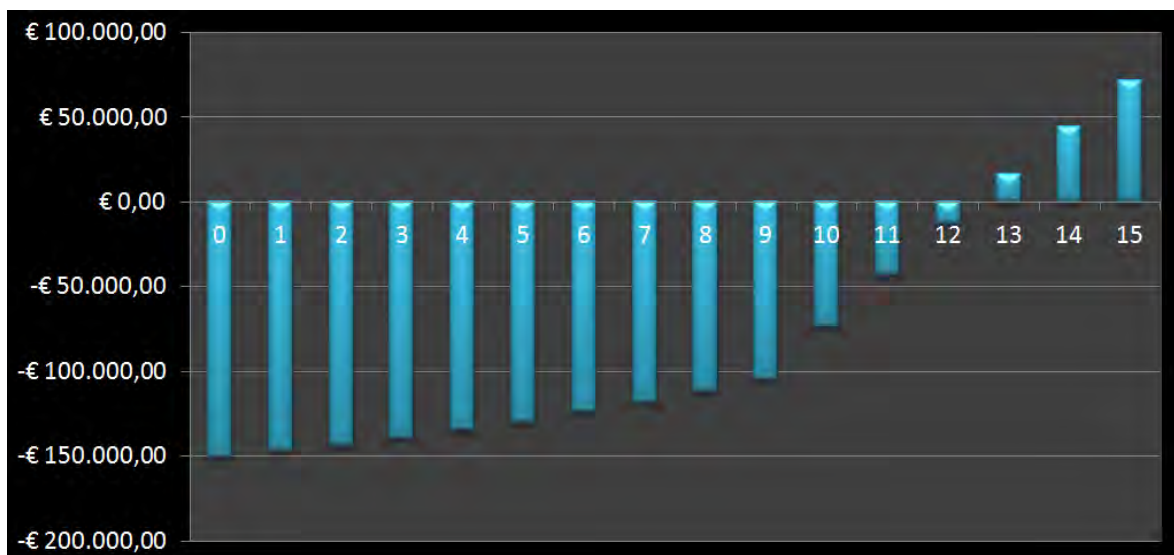


Figura 119 - Caso di studio 1: rappresentazione del flusso di cassa scontato cumulato riferito al Comune.

Per quanto riguarda invece il punto di vista della ESCo, i flussi di cassa calcolati trovano riscontro nella tabella e nei grafici sotto riportati, ai quali corrispondono i seguenti valori dei parametri considerati per la valutazione dell'investimento:

- tempo di ritorno (pay back time) semplice: 6 anni e 4 mesi
- tempo di ritorno scontato: 7 anni e 10 mesi
- valore attuale netto (VAN): 30.371,87 €
- tasso interno di redditività (TIR): 7,6%
- indice di profitto (IP): 0,12

Tabella 52 - Caso di studio 1: flusso di cassa semplice e flusso di cassa scontato riferiti alla ESCo.

Anno	Investimento	Cash Flow	CF cumulato	DCF	DCF cumulato
0	-€ 253.941,00	-€ 253.941,00	-€ 253.941,00	-€ 253.941,00	-€ 253.941,00
1		€ 40.000,0000	-€ 213.941,00	€ 38.095,24	-€ 215.845,76
2		€ 40.000,0000	-€ 173.941,00	€ 36.281,18	-€ 179.564,58
3		€ 40.000,0000	-€ 133.941,00	€ 34.553,50	-€ 145.011,08
4		€ 40.000,0000	-€ 93.941,00	€ 32.908,10	-€ 112.102,98
5		€ 40.000,0000	-€ 53.941,00	€ 31.341,05	-€ 80.761,93
6		€ 40.000,0000	-€ 13.941,00	€ 29.848,62	-€ 50.913,32
7		€ 40.000,0000	€ 26.059,00	€ 28.427,25	-€ 22.486,06
8		€ 40.000,0000	€ 66.059,00	€ 27.073,57	€ 4.587,51
9		€ 40.000,0000	€ 106.059,00	€ 25.784,36	€ 30.371,87

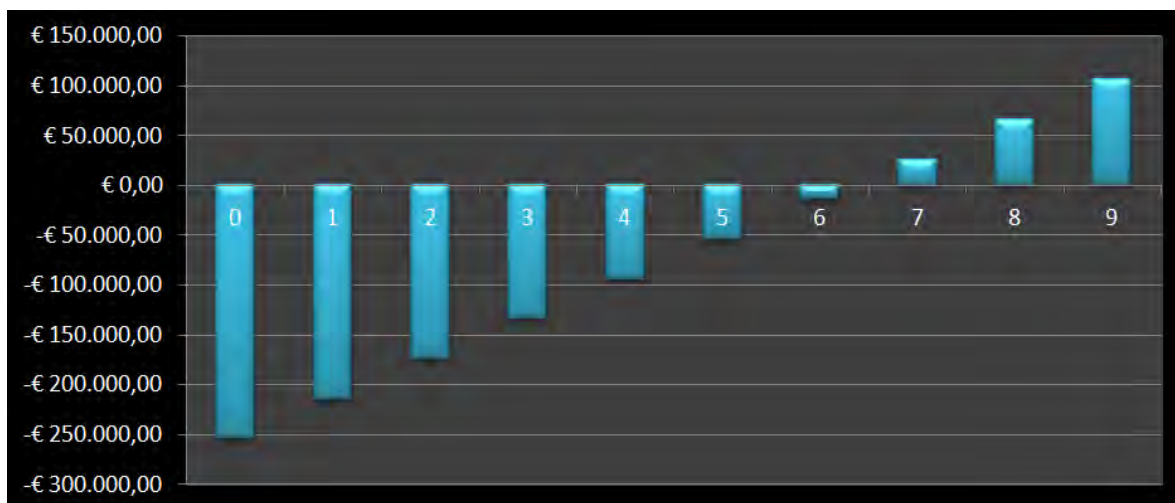


Figura 120 - Caso di studio 1: rappresentazione del flusso di cassa cumulato riferito alla ESCo.

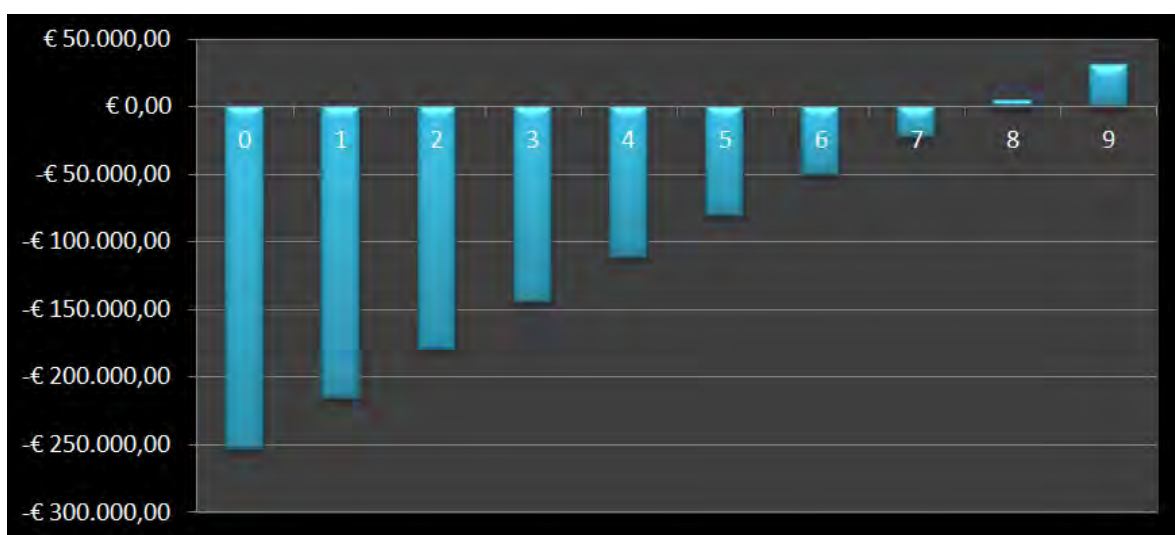


Figura 121 - Caso di studio 1: rappresentazione del flusso di cassa scontato cumulato riferito alla ESCo.

4.2.3 Caso di studio 2: finanziamento tramite istituto di credito

Il secondo caso di studio considerato si basa sulle stesse considerazioni fatte per il primo in termini di vita utile per il calcolo del rientro economico, di valorizzazione dell'energia risparmiata e di manutenzione dell'impianto, ma si differenzia rispetto allo stesso per il fatto di ripartire in maniera diversa i costi sostenuti dal Comune e dalla ESCo, ipotizzando tra l'altro il ricorso a un istituto bancario per la copertura di una determinata quota dell'investimento.

Infatti, pensare che un'Amministrazione Comunale abbia a disposizione 150.000 euro da dedicare interamente a un intervento di riqualificazione del sistema di illuminazione pubblica risulta piuttosto forzato, così come risulta poco plausibile il

fatto che una ESCo sia disposta a investire una quota importante come quella prevista nel primo caso analizzato a fronte di un tempo di ritorno scontato di quasi 8 anni.

Per tali ragioni, la quota assegnata al Comune nell'analisi in oggetto è pari a 110.000 € e risulta in buona parte reperibile dai risparmi conseguiti dall'Amministrazione negli ultimi due anni mediante la già citata politica di spegnimento di un numero consistente di punti luce costituenti la rete di pubblica illuminazione (circa la metà).

Per quanto riguarda la copertura della parte di investimento rimanente affidata alla ESCo, l'analisi proposta fa una distinzione tra una quota di capitale proprio investita dalla società di servizi energetici e una quota finanziata da un istituto di credito, a un tasso di interesse del 5%. Il canone annuo, supposto ancora pari a 40.000 €, derivante dai risparmi di energia conseguiti attraverso l'intervento di riqualificazione energetica e versato dal Comune lungo la durata del contratto stipulato, concorre dunque in parte a finanziare l'investimento iniziale effettuato dalla ESCo e in parte a coprire la rata che la ESCo stessa deve garantire alla banca.

Il dettaglio di quanto accennato è di seguito proposto:

- investimento iniziale: 403.941 €
- quota Comune: 110.000 €
- quota ESCo: 100.000 €
- quota banca: 193.941 €
- risparmio di energia: 187.089,6 kWh/anno
- valorizzazione dell'energia risparmiata: 0,23 €/kWh
- incremento annuo del prezzo dell'energia elettrica: 2%
- tasso di sconto annuo: 5%
- durata del contratto: 10 anni
- canone: 40.000 €/anno
- durata del finanziamento bancario: 10 anni
- tasso di interesse: 5%
- rata (calcolata con il modello di calcolo "francese"): 25.116,25 €/anno

Dal punto di vista del Comune, i flussi di cassa che scaturiscono dai suddetti parametri sono riportati numericamente nella tabella seguente e graficamente nei diagrammi sotto riportati.

Tabella 53 - Caso di studio 2: flusso di cassa semplice e flusso di cassa scontato riferiti al Comune.

Anno	Investimento iniziale	Prezzo en. el.	Risparmi	Canone	Cash Flow	CF cumulato	DCF	DCF cumulato
0	-€ 110.000,00				-€ 110.000,00	-€ 110.000,00	-€ 110.000,00	-€ 110.000,00
1		€ 0,2300	€ 43.030,60	-€ 40.000,0000	€ 3.030,60	-€ 106.969,40	€ 2.886,29	-€ 107.113,71
2		€ 0,2346	€ 43.891,22	-€ 40.000,0000	€ 3.891,22	-€ 103.078,18	€ 3.529,45	-€ 103.584,26
3		€ 0,2393	€ 44.769,04	-€ 40.000,0000	€ 4.769,04	-€ 98.309,14	€ 4.119,68	-€ 99.464,59
4		€ 0,2441	€ 45.664,42	-€ 40.000,0000	€ 5.664,42	-€ 92.644,72	€ 4.660,13	-€ 94.804,46
5		€ 0,2490	€ 46.577,71	-€ 40.000,0000	€ 6.577,71	-€ 86.067,01	€ 5.153,81	-€ 89.650,65
6		€ 0,2539	€ 47.509,26	-€ 40.000,0000	€ 7.509,26	-€ 78.557,75	€ 5.603,53	-€ 84.047,12
7		€ 0,2590	€ 48.459,45	-€ 40.000,0000	€ 8.459,45	-€ 70.098,30	€ 6.011,97	-€ 78.035,15
8		€ 0,2642	€ 49.428,64	-€ 40.000,0000	€ 9.428,64	-€ 60.669,67	€ 6.381,67	-€ 71.653,48
9		€ 0,2695	€ 50.417,21	-€ 40.000,0000	€ 10.417,21	-€ 50.252,46	€ 6.715,03	-€ 64.938,45
10		€ 0,2749	€ 51.425,55	-€ 40.000,0000	€ 11.425,55	-€ 38.826,90	€ 7.014,30	-€ 57.924,15
11		€ 0,2804	€ 52.454,07		€ 52.454,07	€ 13.627,16	€ 30.668,81	-€ 27.255,35
12		€ 0,2860	€ 53.503,15		€ 53.503,15	€ 67.130,31	€ 29.792,55	€ 2.537,21
13		€ 0,2917	€ 54.573,21		€ 54.573,21	€ 121.703,52	€ 28.941,34	€ 31.478,55
14		€ 0,2975	€ 55.664,67		€ 55.664,67	€ 177.368,19	€ 28.114,44	€ 59.592,99
15		€ 0,3035	€ 56.777,97		€ 56.777,97	€ 234.146,16	€ 27.311,17	€ 86.904,16

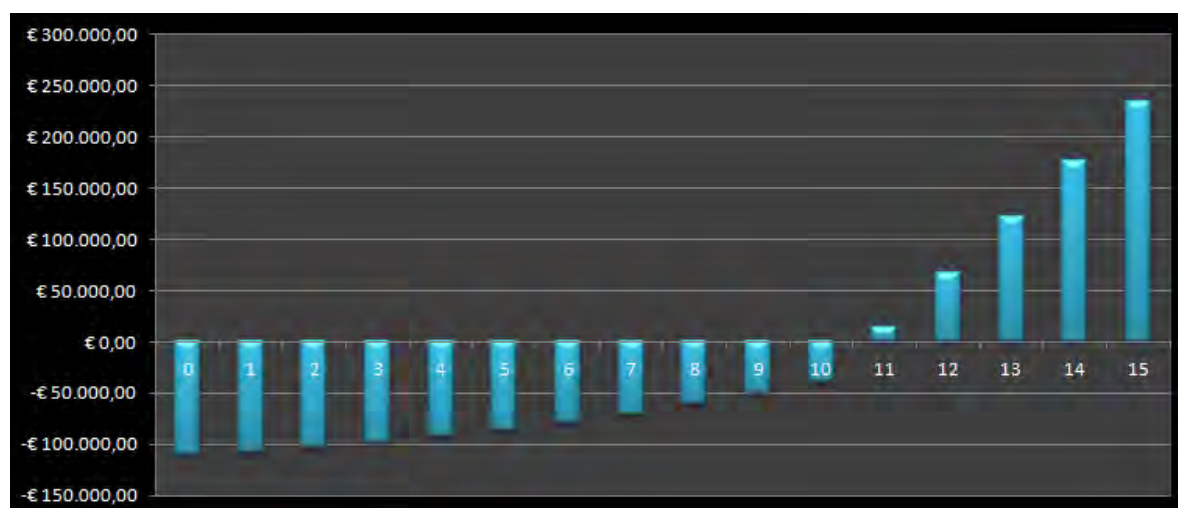


Figura 122 - Caso di studio 2: rappresentazione del flusso di cassa cumulato riferito al Comune.

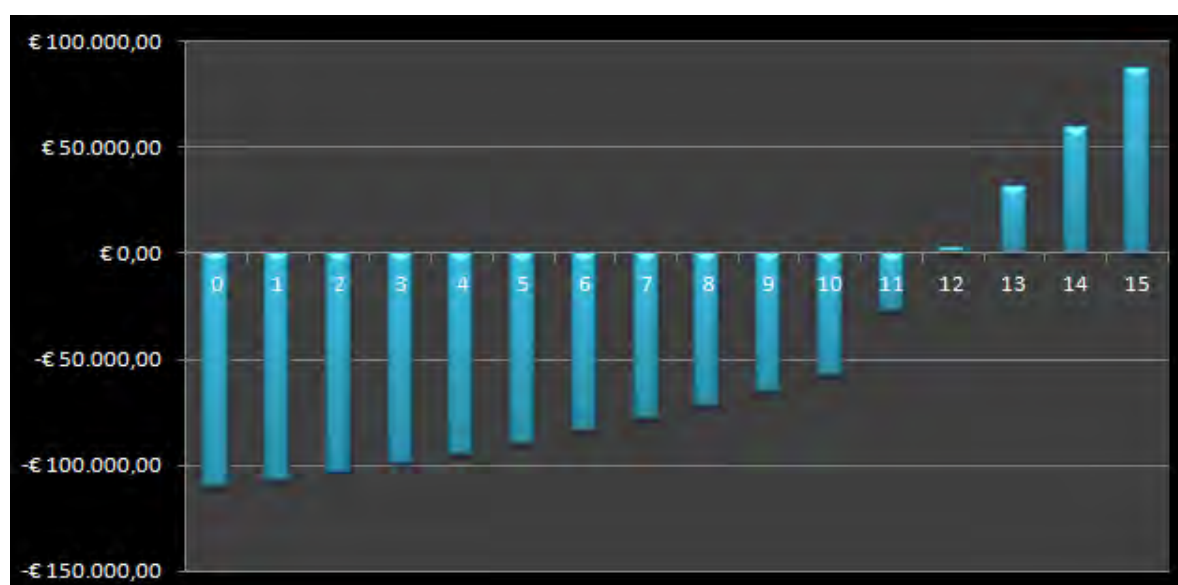


Figura 123 - Caso di studio 2: rappresentazione del flusso di cassa scontato cumulato riferito al Comune.

I corrispondenti parametri di valutazione dell'investimento sostenuto dal Comune constano in:

- un tempo di ritorno semplice di circa 10 anni e 9 mesi;
- un tempo di ritorno scontato di circa 11 anni e 11 mesi;
- un VAN pari a 86.904,16 €;
- un TIR del 10,8%;
- un indice di profitto pari a 0,79.

Per quanto riguarda l'investimento sostenuto dalla ESCo, i flussi di cassa corrispondenti sono proposti nella tabella e nei grafici seguenti.

Tabella 54 - Caso di studio 2: flusso di cassa semplice e flusso di cassa scontato riferiti alla ESCo.

Anno	Investimento	Canone	Rata	Cash Flow	CF cumulato	DCF	DCF cumulato
0	-€ 100.000,00			-€ 100.000,00	-€ 100.000,00	-€ 100.000,00	-€ 100.000,00
1		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 85.116,25	€ 14.175,00	-€ 85.825,00
2		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 70.232,49	€ 13.500,00	-€ 72.324,99
3		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 55.348,74	€ 12.857,15	-€ 59.467,85
4		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 40.464,99	€ 12.244,90	-€ 47.222,95
5		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 25.581,23	€ 11.661,81	-€ 35.561,14
6		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	-€ 10.697,48	€ 11.106,49	-€ 24.454,65
7		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	€ 4.186,27	€ 10.577,61	-€ 13.877,05
8		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	€ 19.070,03	€ 10.073,91	-€ 3.803,14
9		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	€ 33.953,78	€ 9.594,20	€ 5.791,06
10		€ 40.000,00	-€ 25.116,25	€ 14.883,7532	€ 48.837,53	€ 9.137,33	€ 14.928,40

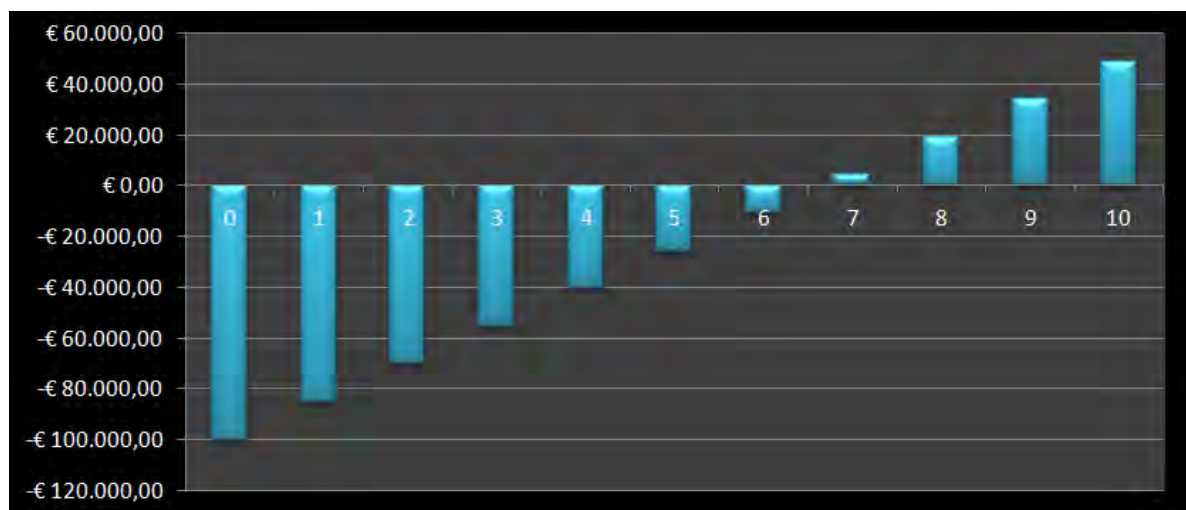


Figura 124 - Caso di studio 2: rappresentazione del flusso di cassa cumulato riferito alla ESCo.

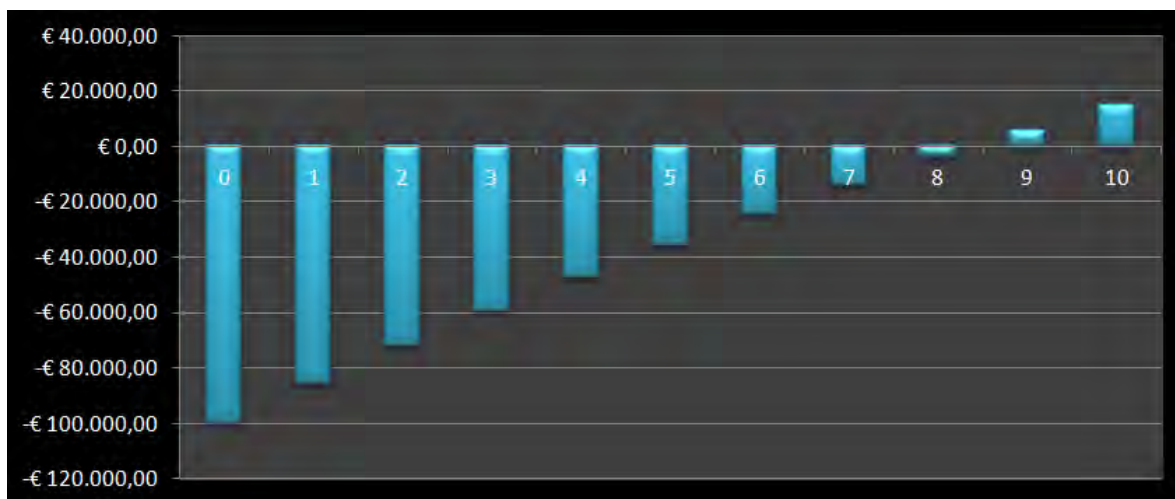


Figura 125 - Caso di studio 2: rappresentazione del flusso di cassa scontato cumulato riferito alla ESCo.

A tali flussi di cassa corrispondono i seguenti valori dei parametri di valutazione dell'investimento sostenuto dalla ESCo:

- tempo di ritorno semplice: 6 anni e 8 mesi
- tempo di ritorno scontato: 8 anni e 5 mesi
- valore attuale netto (VAN): 14.928,40 €
- tasso interno di redditività (TIR): 8%
- indice di profitto (IP): 0,15

4.2.4 Confronto tra le due soluzioni

Come si evince dalle valutazioni economiche presentate, entrambe le soluzioni generano dei flussi di cassa cumulati positivi al termine della vita utile dell'intervento, sia dal punto di vista del Comune che dal punto di vista della ESCo; inoltre, in termini di rapporto tra guadagno netto attualizzato e investimento effettuato, l'operazione risulta assai più favorevole per il primo soggetto piuttosto che per il secondo, dal momento che gli indici di profitto che competono a quest'ultimo in entrambi i casi, rispettivamente pari a 0,12 e a 0,15, sono piuttosto modesti se confrontati con quelli, assai più elevati, calcolati per il Comune.

Nonostante ciò, i valori del tasso interno di redditività calcolati per la ESCo, pari al 7,6% nel primo caso e all'8% nel secondo, non inducono a scartare a priori l'investimento, soprattutto nel caso di finanziamento tramite banca; quest'ultimo comporta tuttavia un guadagno netto attualizzato inferiore rispetto al primo caso trattato e il pagamento di una quota di interessi che ammonta complessivamente a 57.221,47 €.

Dal confronto tra i tre parametri di valutazione sopra citati, nonostante il secondo caso di studio contempli una maggior durata del contratto tra i due soggetti principali,

il ricorso a un istituto di credito, e il conseguente minor esborso iniziale, risultano particolarmente convenienti dal punto di vista dell'Amministrazione Comunale, la quale vede incrementare il proprio guadagno netto attualizzato del 21,6% rispetto al caso senza finanziamento tramite un ente terzo.

Infine, per quanto riguarda i tempi di recupero, in entrambi i casi studiati l'investimento previsto per il Comune si ripaga prima del termine della vita utile dell'intervento e l'investimento previsto per la ESCo si ripaga prima del termine della durata del contratto stipulato con l'Amministrazione Comunale.

Naturalmente le due analisi economiche proposte non sono le uniche plausibili, ma si prestano a possibili variazioni soprattutto per quanto concerne la durata del contratto tra Comune ed ESCo, la durata del finanziamento concesso dalla banca alla ESCo e la modalità di ripartizione dell'investimento iniziale tra i tre diversi soggetti.

Spesso, infatti, le Amministrazioni Comunali si dimostrano poco propense a sottoscrivere dei contratti aventi una durata di 9-10 anni con una società di servizi energetici, sia per motivi economici, legati alla volontà di ottenere tempi di ritorno dell'investimento più brevi, sia per ragioni politiche, legate al desiderio di godere dei benefici economici sostanziosi derivanti dall'intervento di riqualificazione energetica già entro il termine del proprio mandato, in modo da acquisire maggior credibilità e visibilità agli occhi dei cittadini elettori.

In tal senso, l'esito del bando regionale di cui all'introduzione riveste un ruolo fondamentale nell'abbattimento dei tempi di ritorno dell'investimento, che si riducono tanto più quanto maggiore è l'entità del finanziamento e che consentono all'Amministrazione Comunale di dipendere in misura minore dalla ESCo, a sua volta alleggerita dalla dipendenza dall'istituto di credito e avvantaggiata in termini di guadagno netto attualizzato.

Capitolo 5

Analisi sperimentali

Il capitolo che si articola nei paragrafi seguenti offre una panoramica dei risultati conseguiti attraverso le prove sperimentali effettuate su cinque punti luce adibiti all'illuminazione del parcheggio dell'azienda Eurogroup S.p.A. al fine di testare i prodotti ABB-Power One previsti all'interno del progetto realizzato per il Comune di Breda di Piave.

La prima prova realizzata consiste da un lato nel rilevamento dei reali consumi energetici imputabili ai corpi illuminanti in oggetto sia in condizioni di funzionamento a potenza nominale, sia durante il funzionamento a potenza ridotta, secondo vari step di riduzione comunicati dalla centralina via onde convogliate, e dall'altro nell'analisi dei parametri di funzionamento della linea elettrica considerata al variare di tali condizioni.

La seconda consta invece in alcune misure, effettuate su un singolo corpo illuminante acceso in modo da evitare interferenze dovute alla luce emessa da altre sorgenti limitrofe, inerenti i lux rilevati a livello della pavimentazione per vari step di regolazione prefissati; per ciascuno di essi è stata quindi individuata la percentuale di riduzione della potenza assorbita e la corrispondente percentuale di riduzione dell'illuminamento misurato a terra, indicativo del flusso luminoso emesso dalla sorgente luminosa, allo scopo di confermare sperimentalmente l'affermazione secondo la quale per una lampada a vapori di sodio ad alta pressione (o del tipo a scarica in generale) il tasso di decadimento del flusso luminoso emesso è maggiore del tasso di decadimento della potenza contestualmente assorbita.

5.1 Misura dei consumi energetici e analisi di linea

5.1.1 Introduzione

L'ampia porzione di terreno all'interno della quale si staglia l'azienda Eurogroup S.p.A. nel suo complesso è caratterizzata da diversi edifici, comprensivi di numerosi uffici, laboratori, magazzini e depositi, da una mensa e da un esteso parcheggio suddiviso in varie sezioni e destinato ad ospitare sia i veicoli aziendali che quelli del personale dipendente.

La vista aerea proposta in *figura 126*, nella quale la linea rossa circonda il suolo di proprietà dell'azienda, mette in evidenza i due settori oggetto delle prove effettuate e i punti luce ivi presenti, indicati con dei pallini gialli; essi sono caratterizzati da quattro lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, a cui si somma un quinto della stessa tecnologia situato al di fuori dell'area adibita a parcheggio, ma comunque contribuente in parte all'illuminazione del *settore 2*.



**Figura 126 - Zone di studio all'interno del suolo di proprietà dell'azienda EUROGROUP S.p.A.
(fonte: Google Maps).**

In particolare, come si evince dalla *figura 127* sotto riportata, i due punti luce situati all'interno del *settore 1* non presentano alcun palo di sostegno ma sono fissati mediante dei bracci alla parete esterna della mensa, a un'altezza di circa 5 metri per il

più vicino e di circa 5,5 metri per il più lontano e a una distanza di circa 15 metri l'uno dall'altro.



Figura 127 - Punti luce adibiti all'illuminazione del parcheggio nel settore 1.

Viceversa, i rimanenti tre punti luce adibiti all'illuminazione del settore 2, a cui fa riferimento la figura 128, sono posti sulla sommità di pali aventi un'altezza di circa 7 metri e un interdistanza pari a circa 45 metri.



Figura 128 - Punti luce adibiti all'illuminazione del parcheggio nel settore 2.

Il particolare modello di lampada caratterizzante i cinque punti luce oggetto delle prove sperimentali effettuate è chiamato "LUNOIDE", anch'esso prodotto dalla sopra citata ditta AEC ILLUMINAZIONE; tale apparecchio, sviluppato appositamente per l'illuminazione di aree destinate alla circolazione dei veicoli, è costituito da un telaio di supporto e da una copertura superiore in lega di alluminio pressofuso, da uno schermo di chiusura serigrafato in vetro piano temperato, avente uno spessore di 4 mm, e da un gruppo ottico, in alluminio puro al 99,85% anodizzato e brillantato, che distribuisce la luce uscente dalla sorgente al sodio secondo la curva fotometrica riprodotta in *figura 129*.

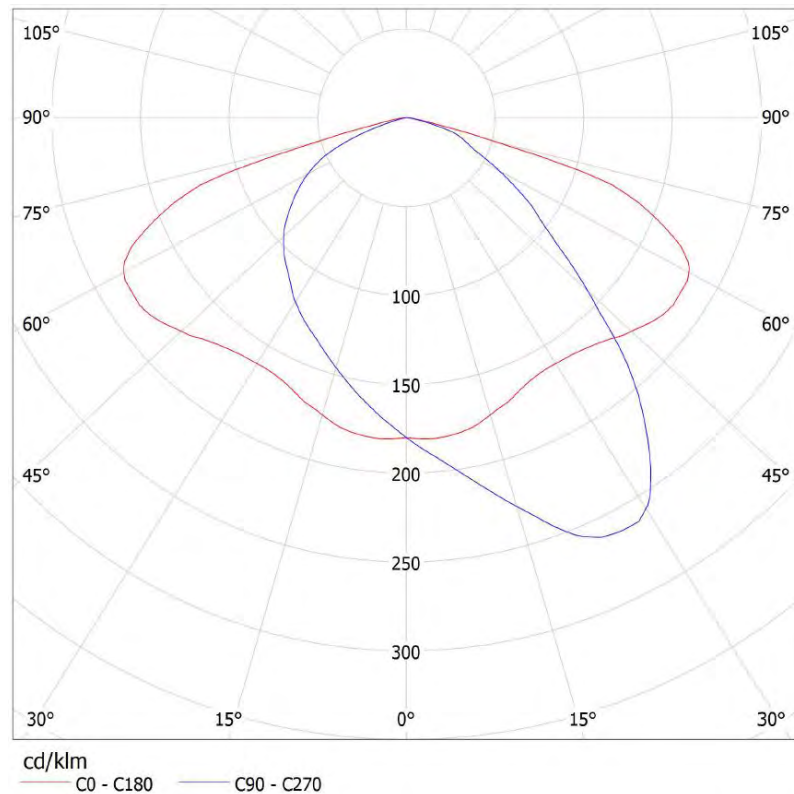


Figura 129 – Diagramma fotometrico polare della lampada LUNOIDE (fonte: AEC ILLUMINAZIONE).

Per ciascun apparecchio, il sistema di alimentazione esistente, costituito da accenditore, reattore ferromagnetico e condensatore di rifasamento, è stato sostituito con un alimentatore elettronico della serie “HID Flat”; inoltre, a monte della linea elettrica di riferimento che si diparte da un quadro posto all’interno dell’azienda è stata posta una Collecting Unit, responsabile della comunicazione agli alimentatori stessi del profilo di regolazione impostato dal computer tramite il software CB Manager, secondo il metodo di comunicazione PLC di cui si è già discusso in precedenza.

Oltre alle cinque sorgenti al sodio citate, sulla stessa linea elettrica di riferimento sono attestati altri corpi illuminanti che completano l’illuminazione delle sezioni adiacenti ai settori 1 e 2 ma che non sono stati considerati ai fini delle prove realizzate in quanto non associabili agli alimentatori elettronici ABB-Power One, sviluppati a uso esclusivo delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione e delle lampade a ioduri metallici con specifico attacco di tipo CDO. In particolare, le altre sorgenti luminose presenti constano in:

- due faretti a ioduri metallici da 250 W;
- due faretti a ioduri metallici da 150 W;
- due lampade a fluorescenza lineari da 2x36 W;
- una lampadina a fluorescenza tubolare compatta da 15 W.

Come già anticipato, l'obiettivo della prova descritta nel seguito consiste nel verificare, all'interno di un intervallo di tempo fissato, i reali consumi energetici imputabili alle sole cinque sorgenti sottoposte a regolazione del flusso luminoso emesso, sia nel funzionamento a piena potenza, sia in regime di riduzione, e nell'analizzare i parametri di linea contestualmente riscontrati.

5.1.2 Strumentazione

5.1.2.1 Alimentatori elettronici della serie "HID Flat"

Gli alimentatori elettronici con Control Box integrata ABB-Power One della serie "HID Flat", se pilotati via onde convogliate da una centralina, oltre a sganciarsi dal loro profilo di regolazione prefissato e a seguire la modulazione impostata dall'utente, sono in grado di fornire un'indicazione dello stato di funzionamento dei punti luce a cui sono associati mediante la misura e la comunicazione alla Collecting Unit dei seguenti parametri controllati, visualizzabili sul computer grazie al software CB Manager:

- stato della lampada (accesa, spenta o guasta);
- tensione di funzionamento;
- corrente di funzionamento;
- potenza realmente assorbita.

In particolare, la precisione sulla lettura delle tre grandezze sopra citate è rispettivamente pari a:

- $\pm 2\%$ sulla tensione;
- $\pm 3\%$ sulla corrente;
- $\pm 5\%$ sulla potenza.

Inoltre, la tabella proposta di seguito riporta nel dettaglio i dati tecnici relativi agli alimentatori per lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, secondo quanto specificato dalla casa produttrice a fronte di numerosi test di laboratorio.

Tabella 55 – Dati tecnici alimentatore elettronico della serie “HID Flat” per lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W (fonte: ABB-Power One).

PARAMETRO PARAMETER		UNITA' UNITS
Tipo di reattore/ Ballast type	HID 100W HPS DIM and control Box inside	
Tipo di lampada/ Lamp type	NAV-100; SON-100	
Tensione di ingresso/ Input voltage	230-240	Vac
Variazione della tensione di ingresso/ Input voltage range	207-264	Vac
Frequenza di ingresso/ Input frequency	50-60	Hz
Potenza assorbita/ Power consumption	110	W
Corrente Ingresso Input Current	0.49	A
Potenza di lampada/ Lamp power	100	W
Fattore di potenza/ Power factor	>0.98	
Tensione di accensione/ Ignition Voltage	4.5	KVp
Lunghezza massima del cablaggio di uscita/ Maximum output wires length	3 (or 150pF max)	M
Protezione a 380Vac / Protection at 380Vac	Si / Yes	
Tempo di stabilizzazione/ Warm up time	5	min.
Corrente di spunto * Inrush Current	68 A 400 uS	A uS
Corrente dispersa Leakage Current	< 0.5	mA
Protezione termica/ Thermal protection	100	°C
Temperatura di funzionamento/ Operating temperature	-40.....+60	°C
Temperatura max. del contenitore tc/ max. housing temperature tc	+90 Over 95°C input power derating occurs (-10%); at 100°C over temperature protection occurs	°C
Temperatura di immagazzinamento/ Storage temperature	-40.....+85	°C
Metodo di dimming / Dimming control method	PLM	
Campo di regolazione del flusso luminoso Regulation range of luminous flux	100%.....22%	Lumen
Soppressione RFI/ RFI suppression	Conforme a EN55015 / EN55022 According to EN55015 / EN55022	
Armoniche sulla rete/ Line harmonics	Conforme a EN61000-3-2 (IEC 1000-3-2) According to EN61000-3-2 (IEC 1000-3-2)	
Dimensioni / Mechanical Dimensions	119x66x64	
Rendimento (a Max potenza) / Efficiency (at Max Power)	>91%	
Marchiature / Marks	CE KEMA	
Classe isolamento / isolation grade	I	
Codice prodotto/ Product code	6808	

5.1.2.2 Collecting Unit

Per quanto concerne la Collecting Unit, le specifiche tecniche che ne caratterizzano il funzionamento sono le seguenti:

- tensione di ingresso: 230-240 V ± 10%
- frequenza di ingresso: 50 Hz

- potenza assorbita: 5 W
- rendimento: $\geq 91\%$
- massima tensione di linea applicabile per cinque minuti: 400 Vac
- temperatura di funzionamento: -40°C e $+60^{\circ}\text{C}$
- MTBF (“Mean Time Before Failure”): 500.000 ore
- vita utile alla massima temperatura ambiente: 100.000 ore
- metodo di trasmissione: FSK (Frequency Shift Keying)
- velocità di trasferimento dati: 2400 bps
- frequenza portante: 110 kHz (rientrante all’interno della banda “B” secondo la classificazione della norma EN 50065-1).

5.1.2.3 Analizzatore di rete SMART Più

Una volta impostate le condizioni di funzionamento desiderate per i corpi illuminanti in esame, la rilevazione dei consumi energetici effettivi è stata affidata all’analizzatore di rete “SMART Più” prodotto da DUCATI Energia S.p.A., il quale è stato installato a monte della linea elettrica di riferimento, a livello del sopra citato quadro situato all’interno dell’azienda; lo schema recante le modalità con le quali l’analizzatore deve essere collegato sia alla rete, sia alla centralina, è riportato in *figura 130*.

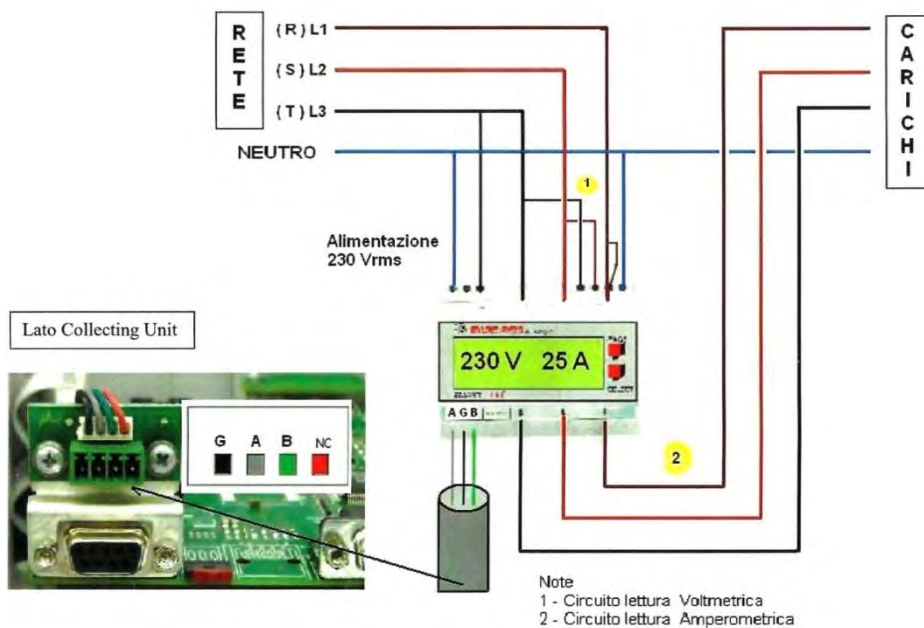


Figura 130 – Schema di collegamento dell’analizzatore di rete alla linea elettrica di riferimento (fonte: DUCATI Energia S.p.A.).

Quest’ultimo fa riferimento al collegamento a una rete elettrica trifase, per la quale detto analizzatore, certificato dal Centro di Taratura SIT, tramite i due circuiti di lettura indicati con i numeri 1 e 2 è in grado di misurare direttamente:

- le tensioni efficaci fase-neutro;
- le correnti efficaci di fase;
- la frequenza di rete;
- le potenze attive di fase.

In particolare, per quanto riguarda le tensioni fase-neutro e le correnti di fase, l'analizzatore adottato nell'esperimento si differenzia rispetto ad altri strumenti della stessa categoria per il fatto di acquisire il "vero valore efficace" ("true root mean square") delle grandezze. Infatti, analizzatori che misurano il semplice valore efficace visualizzano un dato corrispondente al vero valore efficace solamente in presenza di grandezze con forma d'onda perfettamente sinusoidale, dal momento che valutano il valore medio dell'onda rettificata e lo moltiplicano per il fattore di forma tipico dell'onda sinusoidale, pari a 1,11, come segue:

$$\text{valore letto} = \text{valore medio} \cdot 1,11$$

Facendo riferimento al diagramma di *figura 131*, il valore medio nel semiperiodo può essere graficamente individuato dall'altezza del rettangolo avente base uguale al semiperiodo stesso e area pari a quella della semionda.

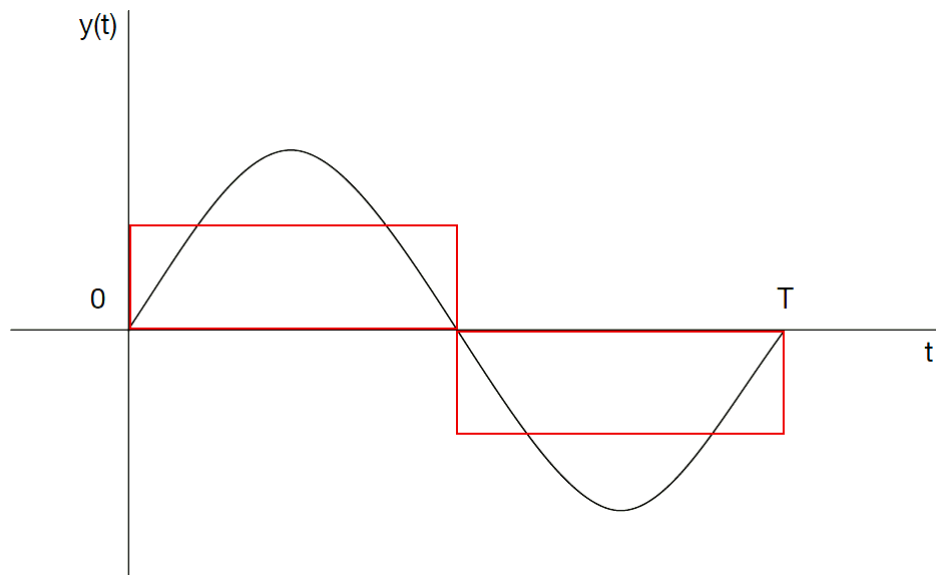


Figura 131 - Valore efficace di un'onda sinusoidale (fonte: ABB, 2012).

Al contrario, l'analizzatore di rete "SMART Più", misurando il vero valore efficace delle grandezze, è in grado di fornire misure precise di tensione e corrente anche in presenza di onde affette da distorsioni armoniche attraverso le seguenti operazioni:

- campionamento dell'onda sull'intero periodo;
- elevamento a quadrato dei campioni;
- somma dei quadrati;
- media della somma dei quadrati;

- radice quadrata della media.

Facendo riferimento al diagramma di *figura 132*, dove n rappresenta il numero di campioni rilevati sull'intero periodo, quanto esposto si traduce per una generica grandezza Y nella formula seguente:

$$Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_i]^2}{n}} \quad (5.1)$$

in cui y_i rappresenta il valore dell' i -esimo campione rilevato.

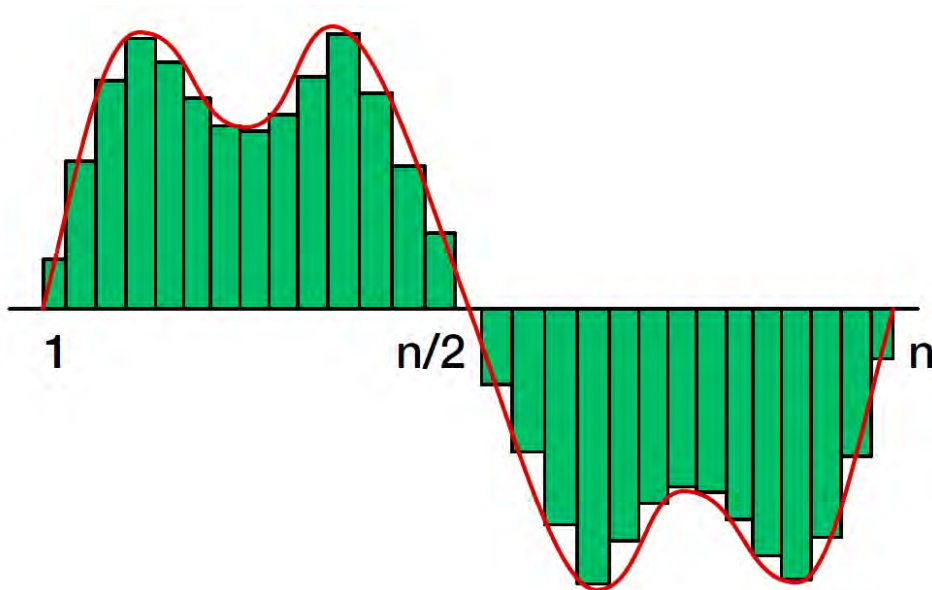


Figura 132 - Vero valore efficace di un'onda non perfettamente sinusoidale (fonte: ABB, 2012).

La misura dei parametri sopra citati e la comunicazione dei valori rilevati alla Collecting Unit avviene per mezzo della morsettiera di cui è provvisto l'analizzatore, la quale, come si evince nel dettaglio di *figura 133*, è suddivisa nei seguenti gruppi:

- 1) morsetti 0-115-230 per l'alimentazione dello strumento;
- 2) morsetti L3, L2, L1 e N (collegamenti voltmetrici);
- 3) "morsetti" L3↓, L2↓ e L1↓ (collegamenti amperometrici);
- 4) morsetti A,G,B di interfaccia seriale RS 485.

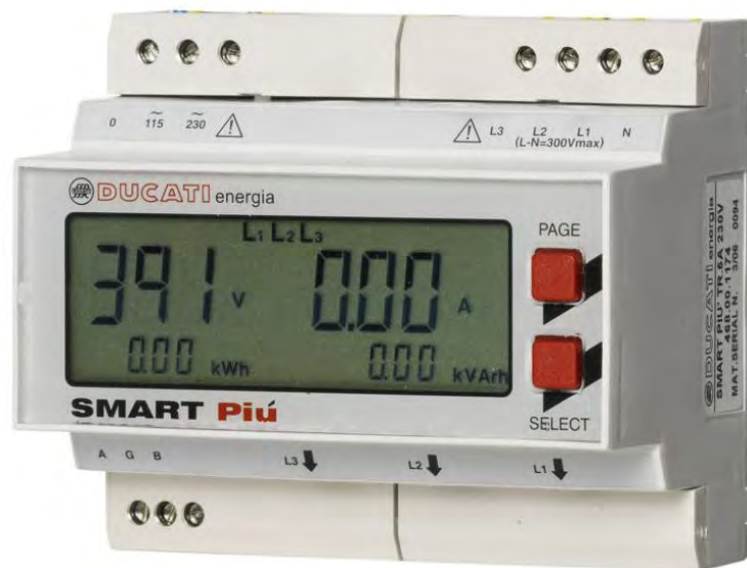


Figura 133 - Dettaglio morsettiera dell'analizzatore di rete (fonte: DUCATI Energia S.p.A.).

Il primo gruppo è costituito da tre morsetti a vite tramite i quali è possibile alimentare lo strumento a 230/240 Vrms oppure a 115/120 Vrms, collegando il conduttore di neutro al morsetto indicato con il numero 0 e il conduttore di fase al morsetto indicato rispettivamente con il numero 230 o con il numero 115.

Il secondo e il terzo gruppo, responsabili della lettura dei parametri di rete, sono costituiti rispettivamente da quattro morsetti a vite, a cui collegare le tre fasi voltmetriche e il neutro se presente, e da tre cavità cilindriche, poste nella parte mediana dello strumento, entro cui far passare i conduttori di fase che alimentano i carichi elettrici e sui quali viene effettuata la misura di corrente, secondo la stessa sequenza utilizzata per il collegamento delle fasi stesse ai morsetti voltmetrici.

L'ultimo dei quattro gruppi sopra elencati è invece composto da tre morsetti a vite che costituiscono l'interfaccia seriale "RS 485" attraverso la quale l'analizzatore può essere collegato alla Collecting Unit secondo lo schema di *figura 130*, permettendone la comunicazione dei valori dei parametri rilevati mediante il protocollo Modbus-RTU. Una volta acquisiti i dati, la centralina li comunica poi via GPRS al web server ABB-Power One, all'interno del quale è possibile visualizzare lo storico dei consumi attribuibili alla rete elettrica controllata.

Infatti, oltre alle sopra citate grandezze misurate in maniera diretta dall'analizzatore, quest'ultimo è in grado di calcolare e visualizzare attraverso il proprio display anche i seguenti parametri:

- le energie attive e reattive di fase e del sistema trifase;
- le potenze attive trifase istantanea, media e massima;
- la potenza reattiva trifase;
- le tensioni concatenate;
- i fattori di potenza di fase e del sistema trifase;

- i valori dei fattori di distorsione armonica THDF (Total Harmonic Distortion Factor) della tensione e della corrente calcolati sulla fase L1.

Per quanto riguarda il calcolo del fattore di potenza PF (Power Factor) relativo a ogni singola fase, l'analizzatore esegue il rapporto tra la potenza attiva e la potenza apparente. La grandezza così calcolata è equivalente al $\cos\varphi$ solo in presenza di onde che poco si discostano da un andamento sinusoidale puro; infatti, in presenza di forti tassi di distorsione armonica, parlare di un singolo valore di $\cos\varphi$ perde di significato, poiché si dovrebbe definire lo sfasamento tra tensione e corrente per ogni ordine delle componenti armoniche. Introducendo invece il parametro PF, tale problema non sussiste in quanto, eseguendo il rapporto tra la potenza attiva e la potenza apparente calcolate per ciascuna fase, viene computato direttamente anche l'effetto delle armoniche eventualmente presenti.

Il parametro che dà indicazioni in merito all'entità di tutte le armoniche che si sovrappongono all'onda sinusoidale fondamentale è il THDF, il quale viene valutato dall'analizzatore sia per la tensione che per la corrente, relativamente alla fase L1, come segue:

$$THDF_V = \frac{V_{picco}}{V_{TRMS} \cdot \sqrt{2}} \quad (5.2)$$

$$THDF_I = \frac{I_{picco}}{I_{TRMS} \cdot \sqrt{2}} \quad (5.3)$$

A seconda dei valori che il fattore di distorsione armonica assume, si possono distinguere tre casi fondamentali:

1. THDF pari a 1.

Rappresenta il caso ideale di distorsione nulla, assai poco frequente, nel quale la grandezza considerata è descritta da una forma d'onda sinusoidale pura, senza alcuna armonica.

2. THDF maggiore di 1.

Rappresenta il caso in cui la presenza di armoniche determina un'esaltazione del valore di picco della grandezza considerata rispetto al caso ideale di distorsione nulla (*fig. 134*).

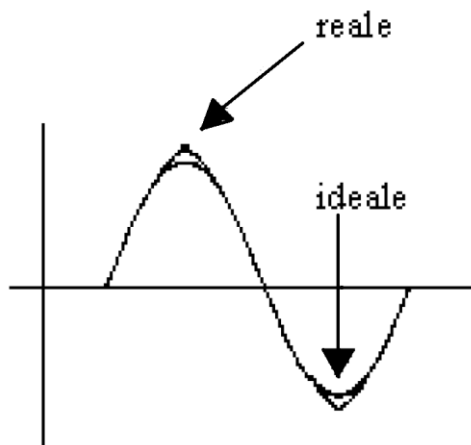


Figura 134 - Caso con THDF maggiore di 1 (fonte: DUCATI energia, 2003).

3. THDF minore di 1.

Rappresenta il caso in cui la forma d'onda reale relativa alla grandezza considerata presenta dei valori di picco appiattiti rispetto al caso ideale (fig. 135).

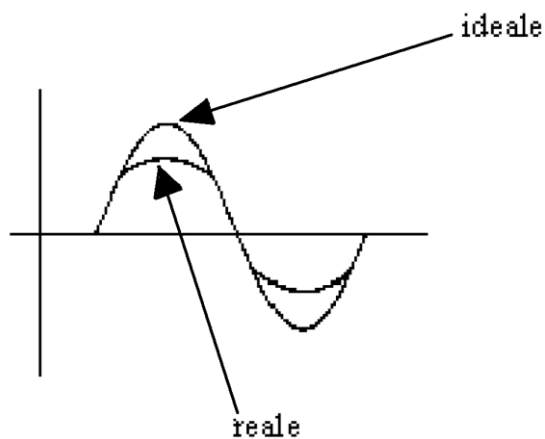


Figura 135 - Caso con THDF minore di 1 (fonte: DUCATI energia, 2003).

Per quanto concerne le caratteristiche tecniche dell'analizzatore "SMART Più" in oggetto, la tabella proposta nel seguito fornisce un dettaglio di quanto dichiarato dalla casa produttrice.

Tabella 56 – Specifiche tecniche analizzatore di rete “SMART Più” (fonte: DUCATI energia, 2003).

ALIMENTAZIONE			
Tensione	Frequenza	Potenza assorbita	Fusibile
115V-120Vac +/-10%	45 ÷ 65 Hz	< 6VA	Montare fusibile esterno T0, 1A
230V-240Vac +/-10%			
ACCURATEZZA DELLA MISURA (PRECISIONE)			
Classe	0,5		
Tensioni	±0,25% ±0,3% F.S.		
Correnti	±0,25% ±0,3% F.S.		
Potenza attiva	±0,5% ±0,1% F.S. (da $\cos\varphi = 0,3$ Ind. a $\cos\varphi = -0,3$ Cap.)		
Fattore di potenza ($\cos\varphi$)	±0,5% ±0,005 F.S. (da $\cos\varphi = 0,3$ Ind. a $\cos\varphi = -0,3$ Cap.)		
Frequenza	40,0Hz ÷ 99,9Hz: ±0,2% ±0,1Hz 100Hz ÷ 500Hz: ±0,2% ±1Hz		
INGRESSI DI MISURA			
Ingressi voltmetrici:			
Range:	5 ÷ 300V rms (L-N) 520V rms (Trifase)	550V rms (max. non distruttivo L-N) 950V rms (max. non distruttivo Trifase)	
Impedenza d'ingresso L-N:	Maggiore di 2M Ω		
TV: rapporto programmabile	1 - 500		
Ingressi amperometrici:			
Range	500 mA - 50 A rms	1 4 permanente (sovraccarico)	
Potenza max dissipata:	750 mW	Con $I_{max} = 50$ A rms	
TA: rapporto programmabile	1 - 1000		
Verso della corrente	Riconoscimento e adeguamento automatico all'accensione, indipendente per ogni fase		
Banda di ingresso:	40Hz ÷ 500Hz (-0,1dB)		
CONTEGGIO DI ENERGIA			
Massimo valore per l'energia di singola fase	4294,9 MWh (o MVArh)	Con KA e KV = 1	
Massimo valore per l'energia trifase	4294,9 MWh (o MVArh)	Con KA e KV = 1	
Minimo quanto di energia visualizzabile (su display o via seriale)	1 Wh (o 1 Varh) x KA x KV		
INTERFACCIA			
Display a cristalli liquidi ad alto contrasto con retroilluminazione			
Tastiera formata dai due tasti PAGE e SELECT			
Password di protezione per l'accesso ai dati di configurazione, con 999 valori possibili			
Porta seriale RS485 (9600 bit/s max.)			
<ul style="list-style-type: none"> • galvanicamente isolata • 2 protocolli disponibili (Modbus-RTU e Ducati ASCII) 			

Modificando opportunamente le impostazioni interne dello strumento mediante i due pulsanti “PAGE” e “SELECT”, quest'ultimo può essere collegato, mediante inserzione diretta o indiretta, a una qualsiasi rete elettrica e funzionare quindi in assetto trifase, trifase equilibrato o monofase a seconda delle caratteristiche della linea stessa.

5.1.3 Metodo di misura

La linea alla quale sono collegate le lampade elencate nell'introduzione, comprese le cinque a vapori di sodio ad alta pressione regolate tramite onde convogliate, è monofase e presenta un collegamento dei carichi elettrici al quadro di riferimento di tipo a stella. L'analizzatore è stato introdotto a monte della Collecting Unit e a valle del quadro, mediante inserzione diretta, facendo riferimento sempre allo schema di *figura 130*, ma collegando ovviamente la sola fase presente e il neutro ai morsetti voltmetrici indicati con L1 e N e la stessa fase alla cavità cilindrica indicata con L1↓, lasciando dunque scollegati gli altri terminali dei gruppi 2 e 3.

Allo scopo di verificare l'effettivo consumo imputabile alle cinque lampade SAP pilotate dalla centralina in condizioni di regime, sono stati rilevati in primo luogo i consumi di energia attiva e reattiva relativi a tutta la linea lungo un arco temporale di

un'ora; successivamente la stessa prova è stata ripetuta forzando lo spegnimento dei cinque punti luce suddetti mediante il software CB Manager, in maniera tale da avere indicazione degli assorbimenti di energia attiva e reattiva dovuti solamente ai restanti sette corpi illuminanti costituenti la linea e ricavare così per differenza i consumi imputabili alle cinque lampade al sodio.

Infine l'esperienza è stata ripetuta altre due volte forzando la riduzione della potenza assorbita da queste ultime secondo due diversi "livelli di dimming", rispettivamente 49 e 15, in modo da poter apprezzare il minor consumo conseguente e valutare gli effetti che lo spegnimento delle lampade e la riduzione di potenza comportano sulla linea di riferimento.

Come detto, ognuna delle prove suddette è stata effettuata lungo un periodo di tempo ragionevolmente fissato pari a un'ora, entro il quale le letture dei parziali delle energie e dei valori dei parametri di linea rilevati dall'analizzatore, nonché dei valori di potenza, tensione e corrente relativi alle cinque lampade al sodio desunti dal software CB Manager, sono state effettuate con cadenza di cinque minuti al fine di avere indicazione delle condizioni di funzionamento della linea lungo l'intero periodo di prova.

Inoltre, per ciascuna esperienza, la prima lettura è stata eseguita attendendo che tutti i punti luce raggiungessero la condizione di regime, ovvero 5 minuti circa dal momento di accensione dell'impianto e di settaggio dei parametri di funzionamento desiderati, al fine di escludere dall'analisi i picchi di assorbimento che coinvolgono le sorgenti a scarica nel corso dei transitori.

5.1.4 Raccolta ed elaborazione dati

La prima prova, realizzata con tutti i 12 punti luce accesi, ha permesso di rilevare i seguenti valori dei parametri di linea:

Tabella 57 - Parametri di linea rilevati con tutte le lampade accese.

t [min]	V linea [V]	I linea [A]	E attiva [kWh]	E reattiva [kvarh]	P linea [kW]	Q linea [var]	PF	THDFv	THDFi
0	224	7,89	0,00	0,00	1,52	786	0,86	1,01	1,02
5	223	7,87	0,15	0,09	1,51	785	0,86	1,01	1,02
10	221	7,81	0,25	0,14	1,49	863	0,87	1,00	1,02
15	221	7,83	0,38	0,22	1,50	878	0,86	1,00	1,02
20	222	7,80	0,50	0,29	1,49	878	0,86	1,00	1,02
25	222	7,79	0,62	0,36	1,48	870	0,86	1,00	1,02
30	222	7,81	0,74	0,43	1,49	882	0,86	1,01	1,02
35	222	7,81	0,87	0,51	1,49	878	0,86	1,00	1,01
40	222	7,80	0,99	0,58	1,49	878	0,86	1,00	1,01
45	222	7,80	1,12	0,65	1,49	882	0,86	1,00	1,01
50	222	7,81	1,24	0,73	1,49	882	0,86	1,00	1,02
55	222	7,81	1,37	0,80	1,49	882	0,86	1,00	1,01
60	224	7,88	1,49	0,87	1,50	911	0,86	1,00	1,03

Come si evince dalla tabella, il consumo orario della linea in oggetto è risultato pari a 1,49 kWh in termini di energia attiva e a 0,87 kvarh per quanto concerne l'energia reattiva, dati che trovano riscontro nelle medie dei valori di potenza attiva e reattiva rilevati nei diversi step temporali.

Contestualmente a tali parametri di rete, sono stati individuati mediante il software CB Manager i seguenti valori di potenza attiva, tensione e corrente per tutte le cinque lampade a vapori di sodio ad alta pressione presenti sulla linea:

Tabella 58 – Parametri di funzionamento delle cinque lampade a vapori di sodio ad alta pressione a piena potenza.

t [min]	P1 [W]	V1 [V]	I1 [mA]	P2 [W]	V2 [V]	I2 [mA]	P3 [W]	V3 [V]	I3 [mA]	P4 [W]	V4 [V]	I4 [mA]	P5 [W]	V5 [V]	I5 [mA]
0	106,66	218,5	485	107,31	215,1	496	105,79	215,1	489	105,79	216,5	485	107,53	214,1	499
5	106,88	218,0	487	107,31	216,5	492	105,79	218,0	482	105,79	220,9	476	107,53	217,5	491
10	106,88	218,0	487	107,31	217,5	490	105,79	214,1	491	105,79	215,1	489	107,75	214,1	500
15	107,09	213,6	498	107,31	218,0	489	105,79	217,0	484	105,79	218,5	481	107,53	211,6	505
20	106,88	218,0	487	107,31	218,5	488	105,79	213,6	492	105,79	219,5	479	107,75	214,6	499
25	107,09	217,5	489	107,31	218,5	488	106,00	213,6	493	105,79	217,5	483	107,75	213,1	502
30	107,09	216,5	491	107,31	217,0	491	106,00	215,1	490	105,79	214,6	490	107,75	213,6	501
35	107,09	217,5	489	107,31	218,5	488	106,00	214,1	492	105,79	215,1	489	107,75	210,7	508
40	107,09	218,0	488	107,31	216,0	493	106,00	214,6	491	106,00	214,6	491	107,75	211,1	507
45	107,09	218,0	488	107,31	217,5	490	106,00	217,5	484	106,00	220,0	479	107,75	210,7	508
50	107,09	216,5	491	107,31	218,5	488	106,00	213,6	493	105,79	215,1	489	107,75	211,6	506
55	107,09	218,5	487	107,53	217,5	491	106,00	218,5	482	105,79	215,1	489	107,75	210,7	508
60	107,09	213,1	499	107,31	213,1	500	106,00	218,0	483	106,00	215,1	490	107,75	212,1	505

In particolare, le potenze mediamente assorbite lungo l'arco di tempo fissato sono pari a:

- 107,01 W per la lampada 1;
- 107,33 W per la lampada 2;
- 105,92 W per la lampada 3;
- 105,84 W per la lampada 4;
- 107,70 per la lampada 5.

Forzando lo spegnimento delle cinque lampade al sodio mediante un segnale inviato dalla Collecting Unit ai rispettivi alimentatori elettronici, dopo un breve periodo transitorio sono stati rilevati, grazie all'analizzatore, i seguenti parametri di linea:

Tabella 59 – Parametri di linea rilevati forzando lo spegnimento delle sole cinque lampade a vapori di sodio ad alta pressione.

t [min]	V linea [V]	I linea [A]	E attiva [kWh]	E reattiva [kvarh]	P linea [W]	Q linea [var]	PF	THDFv	THDFi
0	223	6,00	0,00	0,00	981	912	0,73	1,00	1,09
5	223	5,98	0,08	0,07	985	909	0,73	1,00	1,11
10	222	5,99	0,16	0,15	975	904	0,74	1,00	1,13
15	222	5,99	0,24	0,22	974	903	0,73	1,00	1,11
20	222	5,98	0,32	0,30	975	901	0,74	1,00	1,09
25	222	5,98	0,40	0,37	975	903	0,73	1,00	1,13
30	224	6,06	0,48	0,45	995	923	0,73	1,00	1,06
35	224	6,05	0,57	0,53	993	925	0,73	1,00	1,10
40	223	6,01	0,65	0,60	986	910	0,74	1,00	1,13
45	222	6,01	0,74	0,69	979	907	0,73	1,00	1,09
50	223	5,99	0,82	0,75	985	906	0,74	1,00	1,11
55	223	6,02	0,90	0,83	986	911	0,74	1,00	1,09
60	223	6,03	0,98	0,91	985	911	0,73	1,00	1,09

Già da una prima analisi della tabella sopra riportata, risulta evidente come la causa dell'assorbimento di una quantità consistente di energia reattiva, pari a 0,91 kvarh al termine del periodo di osservazione, sia dovuta principalmente alle rimanenti sette lampade presenti sulla linea; per quanto riguarda l'energia attiva assorbita, essa risulta inferiore rispetto al caso precedente, in maniera coerente con la riduzione della potenza attestata in rete.

Per quanto riguarda la prova effettuata con tutte le dodici lampade accese, ma con le cinque al sodio sottoposte a una riduzione della potenza assorbita corrispondente al "livello di dimming" 49, i parametri di linea e quelli relativi alle cinque sorgenti al sodio rilevati sono riportati rispettivamente nelle *tabelle 60 e 61* sottostanti.

Tabella 60 - Parametri di linea rilevati sottoponendo le cinque lampade SAP a un "livello di dimming" pari a 49.

t [min]	V linea [V]	I linea [A]	E attiva [kWh]	E reattiva [kvarh]	P linea [kW]	Q linea [var]	PF	THDFv	THDFi
0	222	7,27	0,00	0,00	1,35	870	0,84	1,00	1,04
5	221	7,27	0,11	0,07	1,35	872	0,84	1,00	1,02
10	223	7,31	0,22	0,14	1,36	885	0,84	1,00	1,02
15	223	7,31	0,33	0,21	1,36	888	0,84	1,00	1,02
20	224	7,32	0,45	0,29	1,37	897	0,84	1,00	1,02
25	222	7,28	0,56	0,36	1,35	874	0,84	1,00	1,03
30	222	7,50	0,68	0,44	1,41	881	0,85	1,00	1,01
35	222	7,50	0,81	0,52	1,42	883	0,85	1,00	1,01
40	223	7,52	0,92	0,59	1,42	890	0,85	1,00	1,03
45	223	7,53	1,03	0,66	1,42	893	0,85	1,01	1,01
50	225	7,57	1,15	0,73	1,44	908	0,85	1,00	1,02
55	225	7,54	1,26	0,80	1,42	905	0,85	1,00	1,02
60	225	7,54	1,37	0,87	1,42	906	0,84	1,00	1,01

Tabella 61 - Parametri di funzionamento delle cinque lampade SAP sottoposte a un "livello di dimming" pari a 49.

t [min]	P1 [W]	V1 [V]	I1 [mA]	P2 [W]	V2 [V]	I2 [mA]	P3 [W]	V3 [V]	I3 [mA]	P4 [W]	V4 [V]	I4 [mA]	P5 [W]	V5 [V]	I5 [mA]
0	76,56	215,6	353	76,56	219,5	346	76,99	219,0	349	76,99	217,5	352	76,99	213,1	359
5	76,56	215,6	353	76,56	220,0	346	76,99	217,5	352	76,78	217,0	351	76,99	213,1	359
10	76,56	220,9	344	76,56	217,0	350	76,99	220,0	348	76,78	222,4	343	76,99	217,0	352
15	76,56	219,0	347	76,56	221,4	343	76,99	219,5	348	76,99	218,5	350	76,99	220,0	348
20	76,56	219,0	347	76,56	221,4	343	76,99	221,4	345	76,78	221,9	344	76,99	217,0	352
25	76,56	218,5	348	76,56	215,6	353	76,99	216,0	354	76,99	220,9	346	76,99	219,0	349
30	76,56	216,5	351	76,56	216,0	352	76,99	220,0	348	76,78	218,5	349	76,99	216,5	353
35	76,56	216,5	351	76,56	220,0	346	76,99	219,5	348	76,99	216,5	353	76,99	214,1	357
40	76,56	221,4	343	76,56	220,5	345	76,99	216,0	354	76,78	218,0	350	76,99	219,0	349
45	76,56	216,5	351	76,56	217,5	350	76,99	216,5	353	76,99	222,4	344	76,99	218,5	350
50	76,56	220,0	346	76,56	220,9	344	77,21	218,0	352	76,99	219,5	348	76,99	217,5	352
55	76,56	218,5	348	76,56	215,6	353	76,99	216,5	354	76,99	218,5	350	76,99	219,0	348
60	76,56	219,0	348	76,56	217,0	350	76,99	219,5	348	76,99	218,5	350	76,99	216,5	353

Come si evince dalla seconda tabella, al "livello di dimming" 49 corrisponde una riduzione della potenza attiva assorbita dalle lampade al sodio di poco inferiore al 30% rispetto all'assorbimento registrato in condizioni di piena potenza; infatti, le potenze mediamente registrate lungo l'arco temporale nel quale è avvenuta la prova sono rispettivamente pari a:

- 76,56 W per le lampade 1 e 2;

- 77,01 W per la lampada 3;
- 76,91 W per la lampada 4;
- 76,99 W per la lampada 5.

L'energia attiva assorbita nel caso in esame è complessivamente pari a 1,37 kWh, mentre l'energia reattiva si è riportata allo stesso valore registrato nel primo caso analizzato.

Infine, per quanto concerne l'ultima prova, effettuata alle stesse condizioni di quella precedentemente descritta ma impostando un "livello di dimming" pari a 15 per le lampade al sodio, i valori dei parametri di linea rilevati dall'analizzatore e quelli delle sorgenti al sodio stesse desunti dal software CB Manager sono riportati nelle due tabelle seguenti.

Tabella 62 - Parametri di linea rilevati sottoponendo le cinque lampade SAP a un "livello di dimming" pari a 15.

t [min]	V linea [V]	I linea [A]	E attiva [kWh]	E reattiva [kvarh]	P linea [kW]	Q linea [var]	PF	THDFv	THDFi
0	221	6,79	0,00	0,00	1,22	875	0,81	1,00	1,02
5	221	6,79	0,10	0,07	1,22	872	0,81	1,00	1,02
10	221	6,81	0,20	0,14	1,22	871	0,82	1,00	1,02
15	219	6,74	0,30	0,21	1,20	851	0,82	1,00	1,02
20	219	6,73	0,40	0,28	1,20	850	0,82	1,00	1,01
25	219	6,75	0,50	0,36	1,20	854	0,82	1,00	1,01
30	219	6,74	0,60	0,43	1,21	850	0,82	1,00	1,01
35	219	6,75	0,70	0,50	1,20	850	0,82	1,00	1,00
40	221	6,80	0,80	0,57	1,22	871	0,82	1,00	1,02
45	221	6,81	0,91	0,64	1,22	870	0,82	1,00	1,02
50	221	6,90	1,01	0,71	1,22	866	0,82	1,00	1,02
55	221	6,82	1,11	0,79	1,23	873	0,82	1,00	1,01
60	219	6,77	1,21	0,86	1,21	851	0,82	1,01	1,00

Tabella 63 - Parametri di funzionamento delle cinque lampade SAP sottoposte a un "livello di dimming" pari a 15.

t [min]	P1 [W]	V1 [V]	I1 [mA]	P2 [W]	V2 [V]	I2 [mA]	P3 [W]	V3 [V]	I3 [mA]	P4 [W]	V4 [V]	I4 [mA]	P5 [W]	V5 [V]	I5 [mA]
0	54,96	220,0	248	54,96	216,5	252	53,87	217,5	246	53,65	218,0	244	53,65	220,5	242
5	54,96	221,9	246	54,96	217,0	251	53,87	215,1	249	53,65	219,0	243	53,65	215,1	248
10	54,96	220,5	247	54,96	217,5	251	53,87	216,5	247	53,65	222,9	239	53,65	217,5	245
15	54,96	217,0	251	54,96	214,6	254	53,87	214,6	249	53,65	220,0	242	53,65	213,1	250
20	54,96	220,0	248	54,96	217,5	251	53,87	216,0	247	53,65	220,0	242	53,65	216,0	246
25	54,96	215,1	254	54,96	220,0	248	53,87	218,0	245	53,65	220,9	241	53,65	213,6	249
30	54,96	217,0	251	54,96	218,5	250	53,87	218,0	245	53,65	216,0	246	53,65	218,0	244
35	54,96	215,1	254	54,96	218,0	250	54,09	216,5	248	53,65	220,9	241	53,65	217,5	245
40	54,96	217,5	251	54,96	220,5	247	53,87	216,0	247	53,65	220,5	242	53,65	219,5	243
45	54,96	217,5	251	54,96	217,0	251	53,87	215,6	248	53,65	219,5	243	53,65	215,6	247
50	54,96	217,0	251	54,96	218,5	250	53,87	220,0	243	53,65	218,0	244	53,65	215,1	248
55	54,96	218,0	250	54,96	216,5	252	53,87	216,0	247	53,65	221,4	240	53,65	219,5	243
60	54,96	215,1	254	54,96	219,0	249	53,87	214,6	249	53,65	217,0	245	53,65	216,5	246

Le potenze mediamente assorbite dalle cinque lampade al sodio in questo caso si sono ridotte del 50% rispetto al funzionamento a piena potenza; le medie dei valori rilevati risultano infatti pari a:

- 54,96 W per le lampade 1 e 2;
- 53,89 W per la lampada 3;

- 53,65 W per le lampade 4 e 5.

Inoltre, anche nella situazione in esame l'energia reattiva assorbita dalla linea non ha subito eccessive variazioni rispetto a quanto rilevato in precedenza, al contrario dell'energia attiva, la quale si è ridotta a 1,21 kWh.

5.1.5 Analisi dei dati e discussione

Le prove sperimentali realizzate hanno in primo luogo permesso di ricavare i consumi orari effettivi delle cinque lampade al sodio da 100 W presenti sulla linea elettrica considerata.

Infatti, data la differenza tra i valori di energia attiva rilevati dall'analizzatore nella prova con tutti i punti luce accesi e in quella con le sorgenti al sodio spente, pari rispettivamente a 1,49 kWh e a 0,98 kWh, è possibile imputare alle sole cinque lampade in questione un consumo orario di 0,51 kWh.

Tale dato risulta particolarmente interessante in quanto avvalga le stime proposte nel calcolo dei risparmi di energia conseguibili attraverso il progetto di riqualificazione della rete illuminazione pubblica del comune di Breda di Piave presentato all'interno dei capitoli precedenti. Infatti, considerando le 643 lampade SAP da 100 W che si desidera gestire da remoto, per le quali è stato stimato un consumo giornaliero a piena potenza pari a 784,85 kWh, calcolato come media tra il consumo riferito a 15 ore di buio (situazione invernale) e quello riferito a 8,25 ore di buio (situazione estiva), e proiettando tale valore alla stessa situazione caratterizzante la prova sperimentale effettuata, si evince che il consumo orario stimato per sole cinque lampade SAP, pari a

$$C_{orario\ stimato} = \frac{784,85}{\left(\frac{15 + 8,25}{2}\right) \cdot 643} \cdot 5 = 0,52\ kWh \quad (5.4)$$

risulta molto prossimo rispetto a quanto effettivamente misurato.

In secondo luogo, le prove effettuate hanno dimostrato come l'adozione degli alimentatori elettronici, in sostituzione del tipico sistema utilizzato per le lampade a scarica che prevede accenditore, reattore ferromagnetico e condensatore, comporti notevoli vantaggi dal punto di vista dell'assorbimento di energia reattiva. Come già accennato in precedenza, infatti, mentre l'assorbimento di energia attiva da parte della linea si è ridotto man mano che è stato aumentato il "livello di dimming" delle cinque lampade al sodio, fino al loro completo spegnimento, l'energia reattiva si è mantenuta su livelli pressoché costanti al termine di ciascuna prova effettuata.

Le evidenze sperimentali denotano dunque l'elevato $\cos\phi$ che caratterizza il funzionamento degli alimentatori elettronici e la capacità di questi ultimi di garantire

che la quasi totalità della potenza assorbita dalle sorgenti alle quali sono accoppiati sia di tipo attivo.

Tali considerazioni trovano conferma nei diagrammi sotto riportati, recanti per i quattro casi analizzati gli andamenti dell'energia attiva e dell'energia reattiva nel corso dell'arco di tempo considerato.

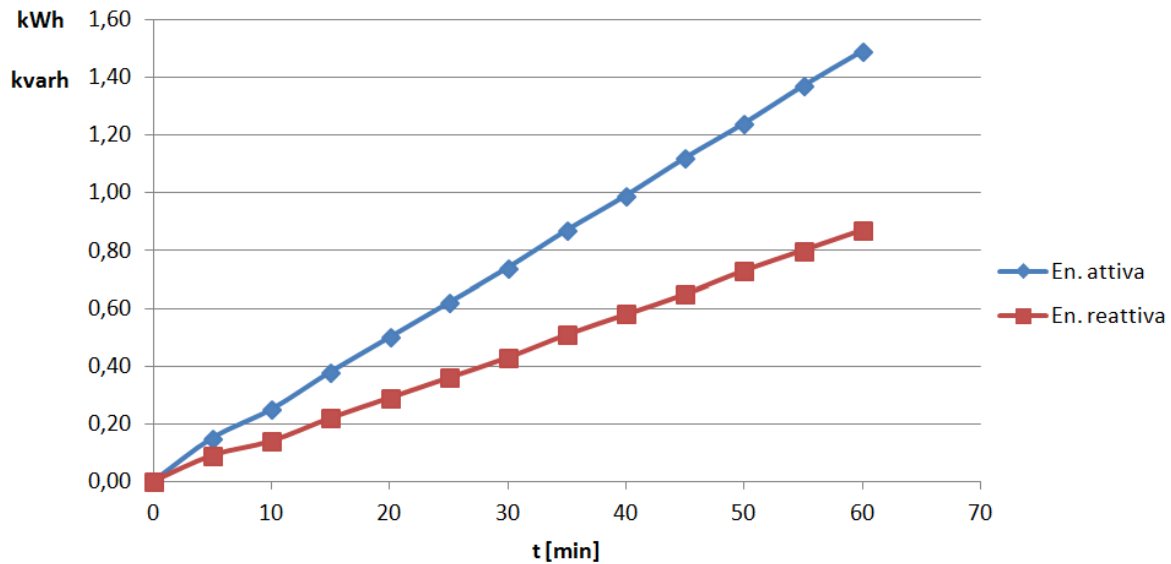


Figura 136 - Andamento orario dell'energia attiva e dell'energia reattiva con tutte le lampade accese.

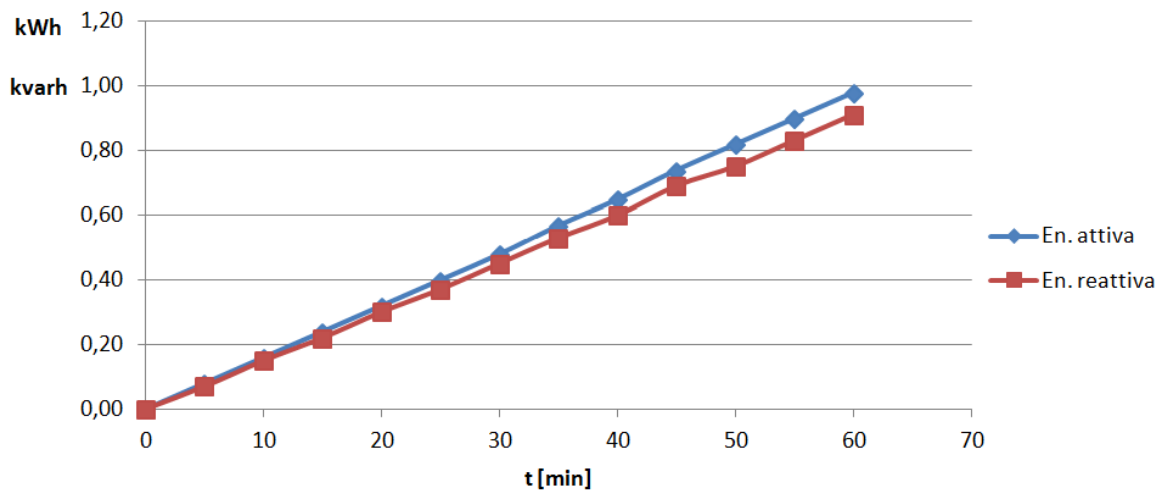


Figura 137 - Andamento orario dell'energia attiva e dell'energia reattiva con le sole cinque lampade SAP spente.

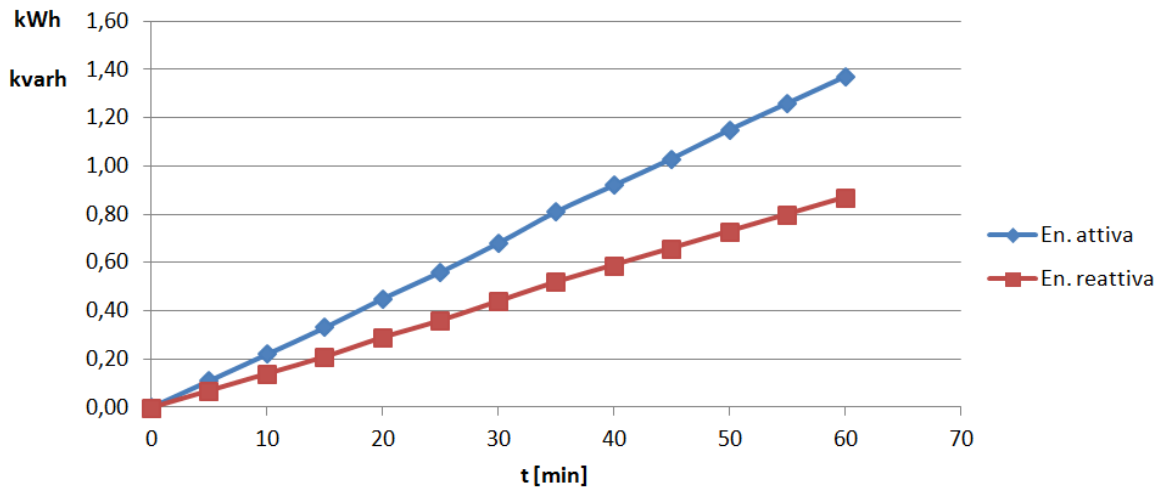


Figura 138 - Andamento orario dell'energia attiva e dell'energia reattiva con le cinque lampade SAP sottoposte a un "livello di dimming" pari a 49.

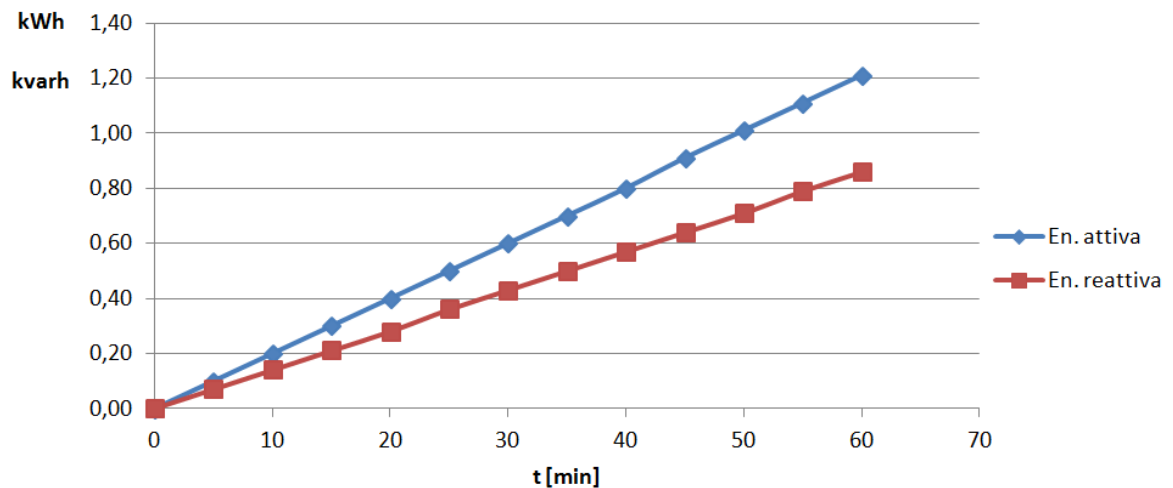


Figura 139 - Andamento orario dell'energia attiva e dell'energia reattiva con le cinque lampade SAP sottoposte a un "livello di dimming" pari a 15.

Particolarmente indicativi degli effetti derivanti dall'accensione e dallo spegnimento delle cinque lampade al sodio sui consumi complessivi della linea sono i primi due diagrammi, nei quali è possibile apprezzare in maniera evidente come l'assorbimento della quasi totalità dell'energia reattiva rilevata sia da imputare ai sette punti luce non dotati di alimentatore elettronico, dal momento che l'andamento di tale grandezza non varia in maniera apprezzabile nei due casi; viceversa, l'energia attiva assorbita nella prima prova è maggiore di quella assorbita nel secondo caso e il suo andamento nel tempo si discosta di molto da quello dell'energia reattiva, coerentemente col fatto di aver introdotto dei carichi caratterizzati da $\cos\varphi$ molto elevati.

Allo stesso modo si può notare come negli ultimi due casi, al diminuire del "livello di dimming", e quindi al diminuire della potenza attiva assorbita dalle cinque lampade regolate, il consumo orario di energia reattiva segua un andamento pressoché

identico, mentre quello dell'energia attiva cali proporzionalmente all'entità della riduzione impostata.

Dall'analisi dei fattori di potenza (PF) relativi alla linea considerata, rilevati grazie all'adozione dell'analizzatore di rete, si è inoltre registrata la necessità di intervenire sui condensatori di rifasamento esistenti delle sette lampade non al sodio; il loro evidente malfunzionamento è infatti riscontrabile oltre che dall'elevato consumo orario di energia reattiva, la quale, come detto, nella seconda prova ha raggiunto addirittura un valore prossimo a quello dell'energia attiva, anche dai conseguenti valori non eccellenti del fattore di potenza della linea; questi ultimi sono risultati infatti sempre inferiori al limite minimo di 0,9, che deve essere necessariamente mantenuto al fine di non incorrere in penalizzazioni da parte del gestore dell'energia elettrica, arrivando anche a un minimo di 0,73 nella seconda prova.

Contestualmente all'incremento di energia reattiva causato dallo spegnimento delle cinque lampade dotate di alimentatore elettronico e alla conseguente riduzione del fattore di potenza della linea, si è registrato anche un aumento rilevante dei valori del fattore di distorsione armonica relativo alla corrente difase. Infatti, mentre nelle prove effettuate con le lampade al sodio accese, anche se sottoposte a riduzione, i valori di detto parametro si sono attestati entro l'intervallo 1,00-1,04, nella seconda prova sono stati rilevati valori costantemente maggiori rispetto a quelli citati, fino a un massimo di 1,13, come si evince dai diagrammi riportati nel seguito.

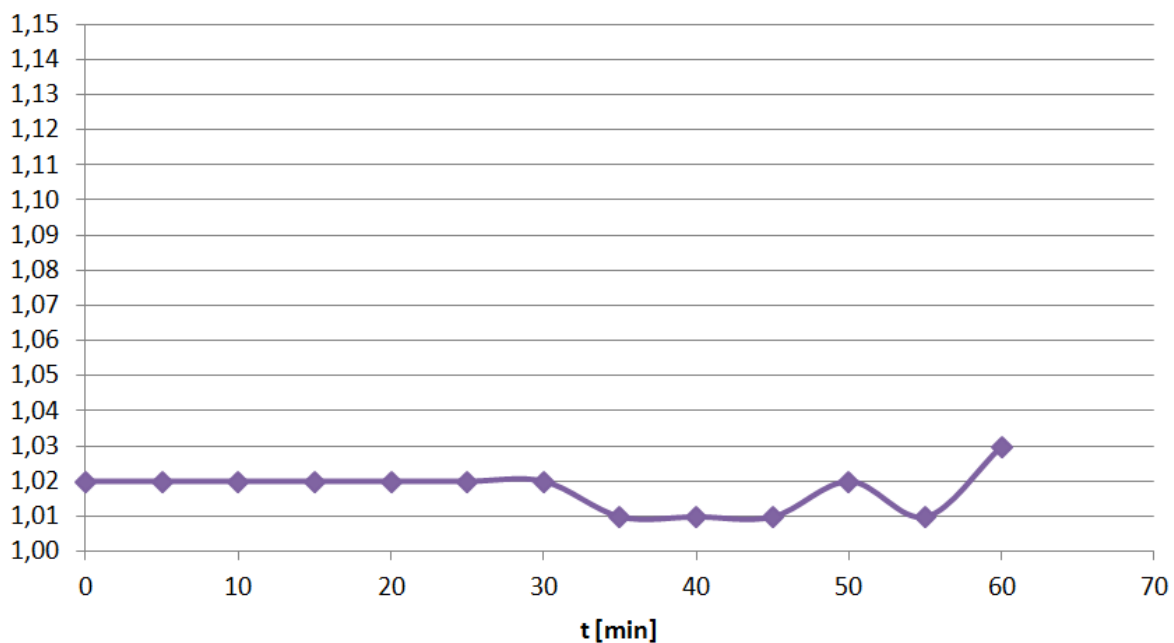


Figura 140 - Andamento orario del THDFI con tutte le lampade accese.

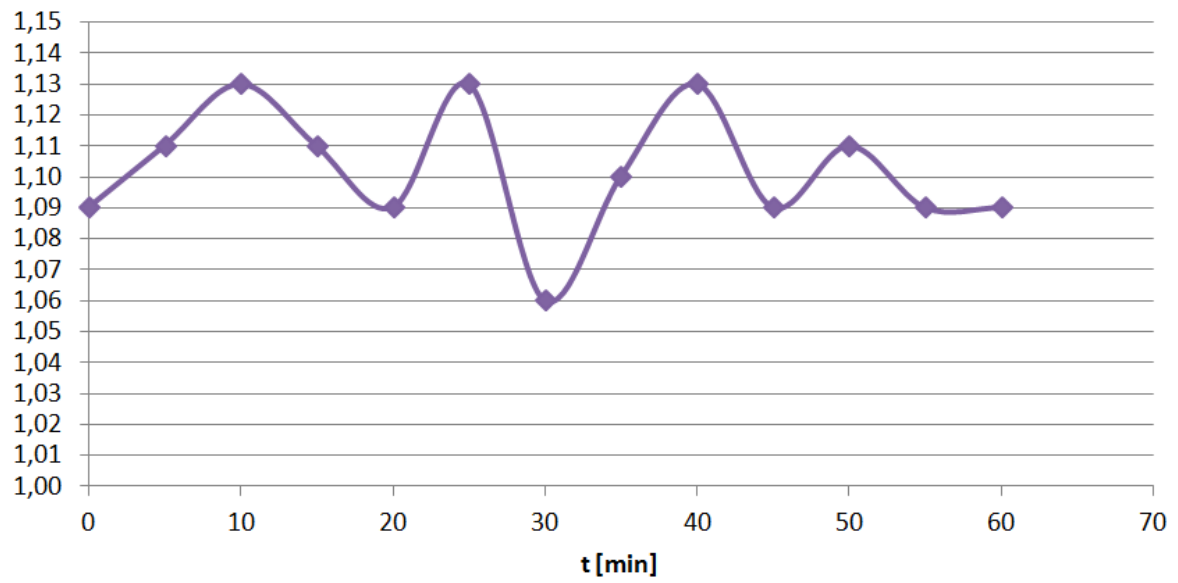


Figura 141 - Andamento orario del THDFI con le sole cinque lampade SAP spente.

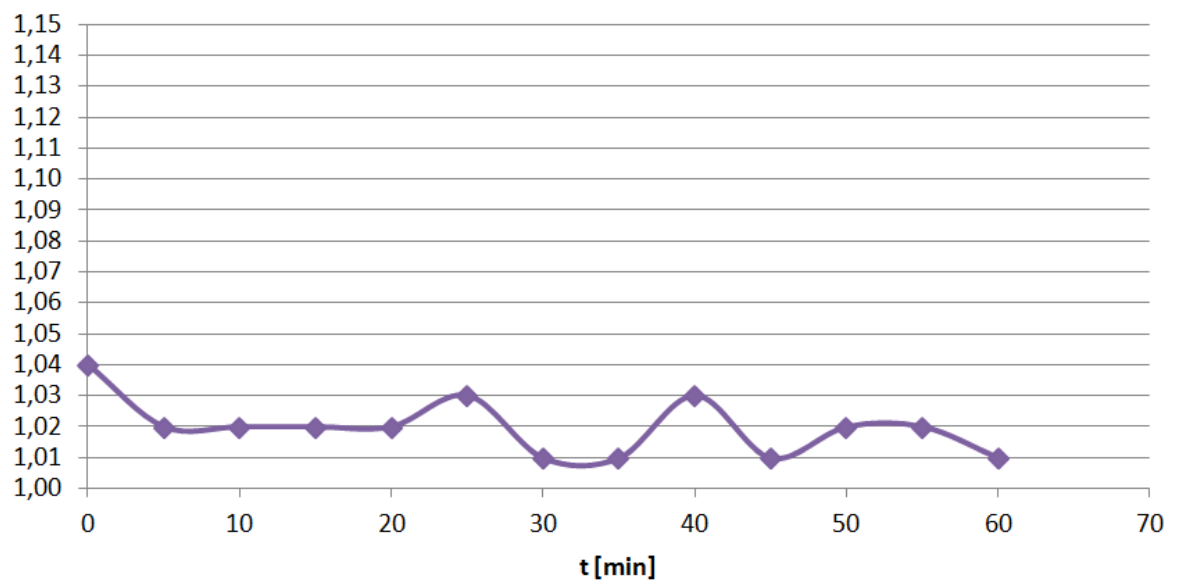


Figura 142 - Andamento orario del THDFI con le cinque lampade SAP sottoposte a un "livello di dimming" pari a 49.

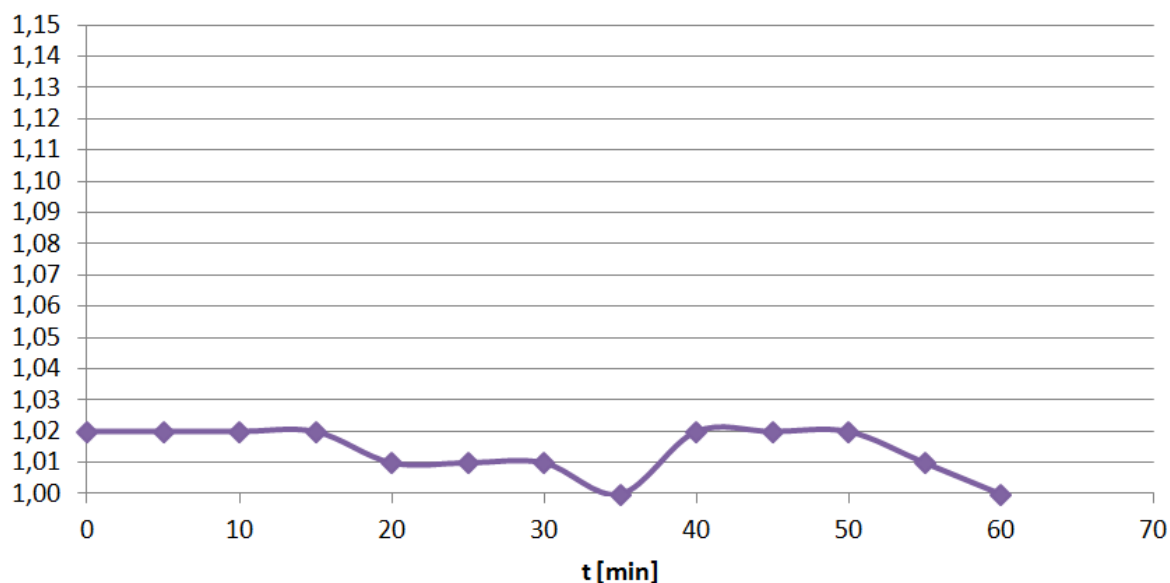


Figura 143 - Andamento orario del THDF1 con le cinque lampade SAP sottoposte a un “livello di dimming” pari a 15.

Alla luce di quanto rilevato, tra i vari vantaggi che l’introduzione del un sistema di alimentazione di tipo elettronico offre non vi sono solamente i minori assorbimenti di energia reattiva, l’incremento del fattore di potenza della linea e le maggiori efficienze di funzionamento delle lampade, ma vi è anche una sorta di compensazione delle armoniche rilevate sulle linee elettriche che presentano non solo punti luce alimentati elettronicamente, ma anche corpi illuminanti funzionanti con un circuito di alimentazione di tipo tradizionale.

5.2 Misure di illuminamento al variare della potenza assorbita

5.2.1 Introduzione

Come già anticipato nell’introduzione al presente capitolo, la prova presentata nel seguito consiste in un “lux test” effettuato allo scopo di verificare la reale variazione dell’illuminamento misurato a terra al diminuire della potenza assorbita da una lampada a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, dotata di un alimentatore elettronico della serie “HID Flat” e comunicante via onde convogliate con la stessa Collecting Unit utilizzata nell’esperienza precedente.

In altre parole, prendendo spunto dai test di laboratorio effettuati da ABB-Power One su alcune lampade SAP al fine di valutare la variazione del flusso luminoso emesso dalle stesse al ridursi della potenza assorbita, ai quali si è fatto affidamento sia nei calcoli illuminotecnici riportati all’interno del *Capitolo 3*, sia nel calcolo dei risparmi energetici riportati nel *Capitolo 4*, è stata realizzata una verifica analoga misurando l’illuminamento su un punto fisso a livello della pavimentazione al posto del flusso

luminoso. Secondo quanto già esposto all'interno del *Capitolo 1*, tali grandezze sono comunque legate da una relazione di proporzionalità, motivo per cui a una riduzione percentuale della prima, misurata sullo stesso punto della superficie considerata, corrisponde la stessa percentuale di riduzione della seconda e viceversa.

5.2.2 Strumentazione

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata nella prova in oggetto, la regolazione della potenza è stata affidata, come già accennato, al sistema ABB-Power One, comprensivo di un alimentatore elettronico "HID Flat" associato a una delle cinque lampade SAP presenti nel parcheggio dell'azienda, in particolare una delle due situate all'interno del *settore 1* (*fig. 127*), e di una Collecting Unit per l'invio dei segnali di riduzione impostati tramite il software CB Manager.

Oltre a tali apparecchi, le cui caratteristiche tecniche sono già state specificate in precedenza, sono stati impiegati anche un luxmetro per la misura dell'illuminamento, un metro-laser per la misura dell'altezza della lampada e della distanza tra il punto fissato per il posizionamento del luxmetro e la base del punto luce e un righello per tener conto sia dell'altezza del metro-laser stesso, sia dello spessore dell'elemento fotosensibile di cui è costituito il luxmetro.

Lo strumento per la misura dell'illuminamento utilizzato è un ELD 9010, le cui specifiche tecniche sono elencate nella figura seguente:

Luxmetro
ELD 9010

DESCRIZIONE
Luxmetro digitale portatile.

FUNZIONI

- Indicatore LCD 3½ dgt
- Sensore fotodiode al silicio con correzione della risposta spettrale e del coseno.
- Portate manuali.
- Campo di misura: 0,01÷20/200/2.000/20.000 Lux.
- Precisione: ±3% rdg ±0,5% f.s. (<10,000 Lux).
±4% rdg ±10 dgts (>10,000 Lux) [2856 K]
- Supporto per l'inclinazione.
- Funzione DATA HOLD.

SPECIFICHE GENERALI

Alimentazione	1 batteria da 9 V
Dimensioni	135x72x33 mm
Peso	250 g



Figura 144 – Specifiche tecniche luxmetro ELD 9010 (fonte: www.eldesinstruments.it).

Per quanto riguarda il metro-laser, il modello impiegato è un HILTI PD32 (fig. 145) e le specifiche tecniche che ne caratterizzano il funzionamento sono di seguito riportate.



Figura 145 - Metro-laser HILTI PD32.

Technical data

Power supply

3 V DC
 Type: AA (LR6, AM3, Mignon)
 Standard: two alkaline primary cells
 Optional: rechargeable NiMH cells

Battery status indicator

Battery display with four segments showing 100%, 75%, 50% and 25 % charged
 All segments deleted = empty battery

Measuring range

0.05 m to 200 m (2 inch to 600 ft)
 0.05 m (2 inch) from the front edge
 Max. distance resolution 750 m (2,500 ft)
 Typical measuring range without target plate:
 - Drywall panel, white 70 m (210 ft)
 - Concrete, dry 50 m (150 ft)
 - Brick, dry 50 m (150 ft)

The maximum range depends on:
 - Reflectivity of the target surface
 - Ambient light conditions
 In case measurements are not possible, use the Hilti PDA 50 target plate.

Accuracy

±1.5 mm (±1/16 inch) is typical for individual and continuous measurements **
 ** The measuring accuracy is affected by ± (1.5 mm + 20 ppm) / ± (1/16 inch + 20 ppm) due to atmospheric conditions. This affect is typically noticeable at distances > 100 m (> 300 ft).

Smallest unit displayed

1 mm (1/16 inch)

Beam diameter

< 6mm @ 10m (< 0,2 in @ 30 ft)
 < 30mm @ 50m (< 1,2 in @ 150 ft)
 < 60mm @ 100m (< 2,4 in @ 300 ft)

Basic operating modes

Single measurement
 Continuous measurement
 Calculation / Functions

Display

Illuminated liquid-crystal display showing operating status and battery status

Laser

Visible, 620 – 690 nm, laser class 2 (IEC60825-1: 1993 + A1: 1997 + A2: 2001 / DIN EN60825-1: 2003; CFR 21 § 1040 [FDA] output power: < 1mW

Automatic time-out

Laser 1 min.
 Range meter: 10 min.

Battery life at 25°C (77°F)

Max. number of measurements with single set of batteries.
 Alkaline: 15'000 - 20'000
 NiMH: 8'000 - 10'000

Operating temperature

- 10°C...+ 50°C (14°F... 122°F)

Storage temperature

- 30°C...+ 70°C (- 22°F... 158°F)

Protection class

Dust and splash-proof, IP 54 as per IEC529 standard

Weight

220 g / 0,48 lb (without batteries)

Dimensions

120 (L) x 65 (B) x 28 (H) mm
 4,7" (L) x 2,5" (B) x 1,1" (H)

Figura 146 - specifiche tecniche metro-laser HILTI PD32 (fonte: Hilti Corporation, 2004).

Infine, il righello utilizzato è un FARA in alluminio da 20 cm avente le seguenti caratteristiche:

- range: 0-200 mm;
- risoluzione: 1 mm.

5.2.3 Metodo di misura

Come già anticipato, la prova è stata effettuata su una singola lampada a vapori di sodio ad alta pressione presente all'interno del *settore 1*, mantenendo spenta quella adiacente in maniera tale da conteggiare l'illuminamento orizzontale prodotto a livello della pavimentazione solo dalla prima sorgente.

L'altezza di installazione di quest'ultima è pari a $5,630 \pm 0,002$ m, valore ottenuto sommando la media dei dati rilevati attraverso misure ripetute con il metro-laser e la lunghezza del metro-laser stesso misurata con il righello; il punto della superficie sul quale è stato posizionato il centro del rivelatore fotometrico del luxmetro è stato fissato a una distanza pari a $4,028 \pm 0,0015$ mm dalla base del punto luce, in direzione parallela all'asse longitudinale della sorgente.

A rigore non sarebbe corretto parlare di illuminamento "a terra" in quanto il rivelatore fotometrico presenta uno spessore pari a $20 \pm 0,5$ mm, quindi i valori misurati sono riferiti al piano posto a tale altezza dalla pavimentazione; tuttavia, data la distanza di alcuni metri esistente tra lo strumento e il corpo illuminante, tale approssimazione può essere ritenuta accettabile. Per lo stesso motivo, gli errori accidentali associati alle misurazioni effettuate non sono stati conteggiati, data la loro scarsa incidenza sui risultati ottenuti.

Per quanto riguarda quanto operativamente fatto nel corso dell'esperienza, tramite il software CB Manager sono stati impostati progressivamente diversi livelli di riduzione della potenza assorbita dalla lampada, a partire dal livello 100 corrispondente alle condizioni di funzionamento nominali, e sono stati registrati, per ciascuno di essi, i valori di illuminamento a terra misurati e i corrispondenti valori di potenza assorbita. In particolare, una volta forzata la riduzione dal computer, le misure di illuminamento non sono state effettuate istantaneamente, ma solo dopo un intervallo di tempo precauzionalmente assunto pari a 5 minuti, al fine di consentire lo stabilizzarsi delle condizioni operative della sorgente luminosa.

Infine, per ogni livello di riduzione sono stati registrati anche i valori di tensione e di corrente caratterizzanti il funzionamento della lampada nelle diverse condizioni.

5.2.4 Analisi dei dati e discussione

La *tabella 64* di seguito proposta riporta i valori dei parametri di funzionamento (potenza attiva, tensione e corrente) del corpo illuminante considerato al variare del “livello di dimming” impostato, secondo quanto rilevato dal software CB Manager.

Tabella 64 - Parametri di funzionamento della sorgente luminosa al variare del “livello di dimming”.

Dimming	P letta [W]	P max [W]	P min [W]	ΔP [W]	V [V]	I [mA]
100	107,09	112,445	101,736	5,355	217,5	489
95	106,05	111,353	100,748	5,302	218,5	483
90	104,57	109,799	99,342	5,229	220,0	474
85	102,95	108,098	97,803	5,147	218,5	468
80	99,68	104,664	94,696	4,984	220,0	450
75	96,41	101,231	91,590	4,821	221,4	432
70	91,39	95,960	86,821	4,570	220,9	411
64	88,34	92,757	83,923	4,417	218,5	402
60	85,06	89,313	80,807	4,253	223,4	378
55	81,79	85,880	77,701	4,090	221,4	367
49	77,21	81,071	73,350	3,861	220,9	347
45	75,47	79,244	71,697	3,774	222,9	336
40	70,89	74,435	67,346	3,545	220,5	319
35	67,83	71,222	64,439	3,391	220,0	306
30	64,56	67,788	61,332	3,228	220,5	291
25	61,51	64,586	58,435	3,076	223,4	273
20	58,45	61,373	55,528	2,923	222,4	261
15	54,09	56,795	51,386	2,705	222,4	241
10	51,04	53,592	48,488	2,552	220,5	230
5	47,57	49,949	45,192	2,379	218,5	216

In particolare, considerando la precisione sulla lettura della potenza attiva dichiarata dal costruttore, a tale grandezza è stata associata una banda d’incertezza compresa tra i valori massimi e minimi riportati in tabella.

Il profilo di riduzione della potenza attiva al diminuire del “livello di dimming” è qualitativamente apprezzabile in *figura 147*; come si evince dal grafico proposto, tale andamento è descrivibile, entro la fascia di incertezza sopra citata, tramite una funzione di tipo lineare descritta dall’equazione:

$$y = 0,6611 \cdot x + 44,958 \quad (5.4)$$

dove

- y rappresenta la potenza attiva;
- x rappresenta il “livello di dimming” impostato.

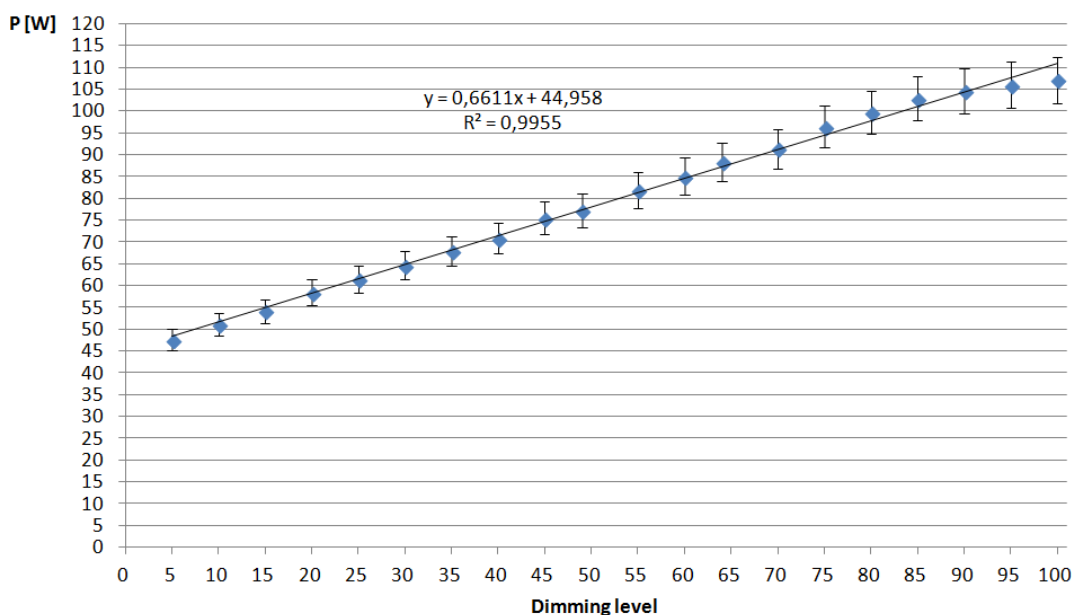


Figura 147 – Profilo di riduzione della potenza assorbita al variare del “livello di dimming”.

Per quanto riguarda invece l’illuminamento prodotto dalla sorgente sul punto della pavimentazione fissato, la tabella seguente riporta i valori rilevati con il luxmetro, riproposti anche nel grafico di *figura 148* recante il profilo di riduzione della grandezza considerata al variare del “livello di dimming” impostato.

Tabella 65 – Valori di illuminamento rilevati al variare del “livello di dimming”.

Dimming	Illuminamento letto [lx]	Illuminamento max [lx]	Illuminamento min [lx]	Δ lux
100	50,9	53,94	47,86	3,04
95	49,7	52,69	46,71	2,99
90	48,5	51,44	45,56	2,94
85	46,2	49,05	43,35	2,85
80	43,9	46,66	41,14	2,76
75	41,6	44,26	38,94	2,66
70	38,2	40,73	35,67	2,53
64	36,0	38,44	33,56	2,44
60	33,7	36,05	31,35	2,35
55	31,5	33,76	29,24	2,26
49	28,2	30,33	26,07	2,13
45	27,1	29,18	25,02	2,08
40	23,9	25,86	21,94	1,96
35	21,7	23,57	19,83	1,87
30	19,5	21,28	17,72	1,78
25	17,5	19,20	15,80	1,70
20	15,5	17,12	13,88	1,62
15	12,5	14,00	11,00	1,50
10	10,8	12,23	9,37	1,43
5	8,7	9,06	8,34	0,36

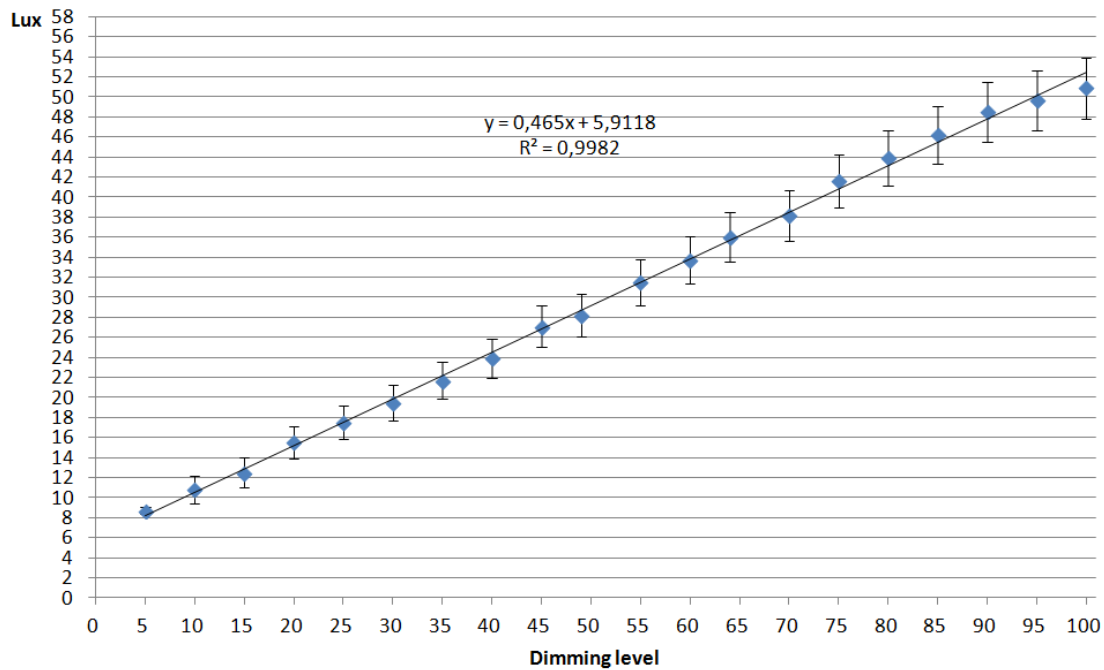


Figura 148 - Profilo di riduzione dell'illuminamento al variare del "livello di dimming".

Come per la potenza, anche il profilo di riduzione dell'illuminamento è esprimibile, entro le bande di incertezza ricavate grazie ai dati di precisione del luxmetro forniti dal costruttore, tramite una funzione di tipo lineare; in particolare, quest'ultima è definita dalla seguente equazione :

$$y = 0,465 \cdot x + 5,9118 \quad (5.5)$$

dove

- y rappresenta l'illuminamento;
- x rappresenta il "livello di dimming" impostato.

Infine, la tabella seguente ripropone, per ciascun livello di riduzione, le stesse letture dei dati di potenza attiva e di illuminamento presentati nelle due tabelle precedenti, espresse però in percentuale rispetto ai loro valori massimi, rispettivamente pari a 107,09 W e a 50,9 lx, registrati in corrispondenza del "livello di dimming" 100.

Tabella 66 – Variazione percentuale di potenza e illuminamento al variare del “livello di dimming”.

Dimming	%P	%Lux
100	100%	100%
95	99%	98%
90	98%	95%
85	96%	91%
80	93%	86%
75	90%	82%
70	85%	75%
64	82%	71%
60	79%	66%
55	76%	62%
49	72%	55%
45	70%	53%
40	66%	47%
35	63%	43%
30	60%	38%
25	57%	34%
20	55%	30%
15	51%	25%
10	48%	21%
5	44%	17%

Come si evince dalla tabella, la percentuale di riduzione dell’illuminamento a terra rilevato si discosta dalla percentuale di riduzione della potenza attiva assorbita dalla lampada tanto più quanto il “livello di dimming” impostato diminuisce; tale considerazione risulta ancor più evidente dal confronto qualitativo tra i due profili di riduzione riportati nel grafico di *figura 149*, nel quale la curva rossa è riferita alla potenza e la curva azzurra all’illuminamento.

Tali percentuali si discostano in parte da quelle fornite da ABB-Power One e riportate nella *tabella 31* di cui alla *sezione 3.6.5.3* principalmente a causa del fatto che nel presente test è stato misurato l’illuminamento a terra e non il flusso luminoso prodotto dalla sorgente. Altri parametri di influenza sono senz’altro costituiti dalla particolare linea elettrica nella quale è inserita la lampada in oggetto e dalle diverse condizioni ambientali alle quali la prova è stata effettuata: i dati forniti dal costruttore fanno riferimento infatti a test avvenuti in laboratorio, mentre la verifica qui presentata è avvenuta all’esterno, su un punto luce esistente, a una temperatura ambiente pari a $4,6 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

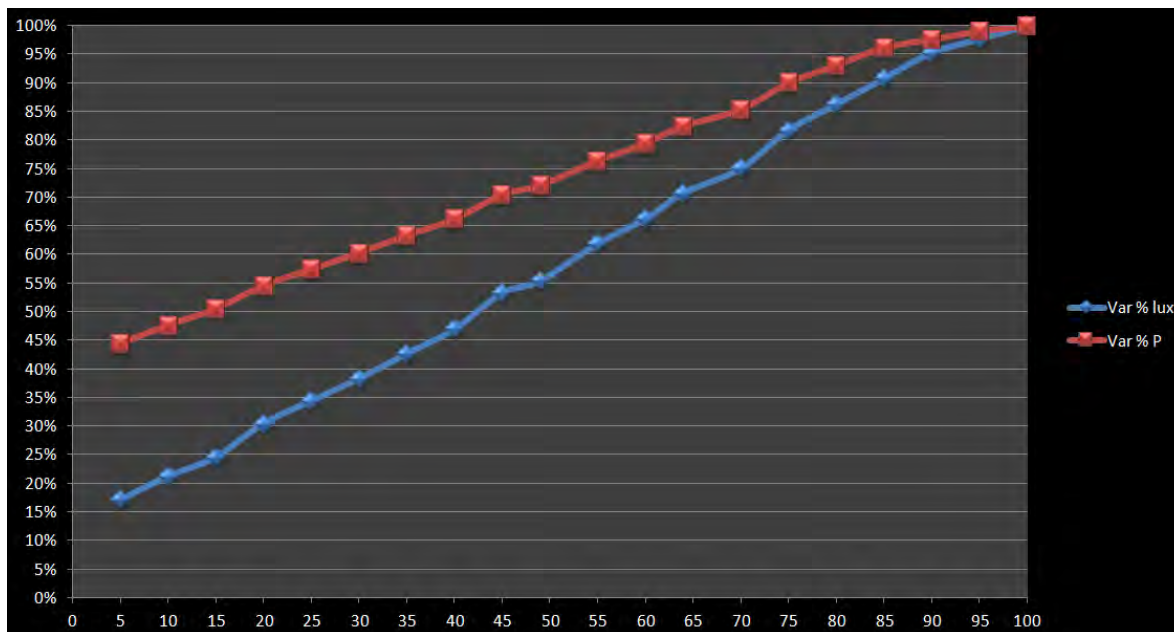


Figura 149 - Profili di variazione percentuale della potenza (in rosso) e dell'illuminamento (in azzurro) al variare del "livello di dimming".

Nonostante ciò, i risultati ottenuti ben evidenziano l'effetto che un sistema di riduzione associato a una lampada a scarica comporta in termini di potenza assorbita e di illuminamento prodotto; una corretta progettazione e l'implementazione di adeguati profili di funzionamento in regime di parzializzazione non possono dunque prescindere da tali considerazioni, sulle quali una qualsiasi amministrazione comunale che si dota del sistema di abbattimento dei consumi presentato deve essere opportunamente formata al fine di evitare l'insorgere di situazioni potenzialmente pericolose per gli utenti della strada a causa di errate valutazioni nell'impostazione della potenza di funzionamento delle sorgenti luminose.

Conclusioni

La sfavorevole congiunzione economica che sta interessando il nostro Paese negli ultimi anni esercita la sua forza su tutti i livelli, a partire dal singolo cittadino, fino a giungere all'istituzione statale stessa, non risparmiando neppure le amministrazioni comunali, con sindaci che quotidianamente si trovano a fare i conti con bilanci in rosso che ne paralizzano l'azione e ne limitano la possibilità di realizzare nuove infrastrutture di vario genere o di migliorare quelle esistenti.

In particolare, il settore dell'illuminazione pubblica rappresenta una voce di costo notevole in termini di assorbimenti energetici, che possono incidere fino al 50-70% sui totali consumi di energia elettrica del comune, e, di conseguenza, in termini di oneri economici relativi all'esercizio e alla manutenzione ordinaria e straordinaria del sistema di illuminazione stesso.

La soluzione di riqualificazione energetica proposta per il Comune di Breda di Piave nell'ambito del progetto trattato rappresenta una valida alternativa per abbattere in maniera notevole i consumi suddetti e comporta una pluralità di vantaggi e di benefici estendibili a una qualsiasi rete di illuminazione pubblica.

Spesso, infatti, la maggior parte degli impianti di illuminazione pubblica risultano sovradimensionati rispetto alle reali esigenze delle strade nelle quali sono installati: questo normalmente si verifica allo scopo di mantenere un buon livello di illuminamento durante tutta la vita utile delle lampade, nel corso della quale il flusso luminoso da esse emesso decade progressivamente a causa dell'invecchiamento delle sorgenti; i corpi illuminanti a scarica, in particolare, risentono in maniera piuttosto marcata dei picchi di sovratensione che possono verificarsi più o meno frequentemente nella rete e delle accensioni e degli spegnimenti ripetuti, magari causati da sistemi di comando mal funzionanti oppure obsoleti.

Proprio per tale ragione, utilizzando il sistema di telecontrollo descritto e, in particolare, installando i regolatori di flusso elettronici prodotti da ABB-Power One a livello dei singoli punti luce, è possibile ridurre il flusso emesso dalle lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, modello presente in maniera preponderante su tutto il territorio di Breda di Piave, fino al 60% rispetto alle condizioni di funzionamento nominale nelle ore notturne che presentano un traffico veicolare fortemente ridotto rispetto ai momenti di punta.

Oltre a ciò, gli stessi alimentatori elettronici, stabilizzando la tensione di alimentazione, risparmiano alla lampada inopportuni stress dovuti a sbalzi della tensione di rete, preservandone le funzionalità nel tempo e limitandone fortemente l'invecchiamento.

In secondo luogo, il telecontrollo dei singoli punti luce consente non solo di variare il flusso luminoso emesso dalle sorgenti secondo profili di riduzione impostati dal centro di gestione, ma anche di pianificare le manutenzioni ordinarie, grazie

all'indicazione delle condizioni di funzionamento istantanee di ciascuna lampada, e di provvedere prontamente alla manutenzione straordinaria delle sorgenti guaste, mediante il sistema di segnalazione in tempo reale.

Inoltre, tra i vantaggi che il sistema di regolazione del flusso luminoso offre, vi è la possibilità di conseguire un buon livello di contenimento dei consumi energetici semplicemente alimentando le lampade in esame con dei dispositivi elettronici efficienti e in grado di ridurre la potenza assorbita dalle stesse, senza la necessità di dover sostituire le sorgenti, in particolare quelle a vapori di sodio ad alta pressione, che presentano buone caratteristiche di durata e di affidabilità, con dei corpi illuminanti a LED di potenza inferiore, ma con costi assai più elevati.

L'adozione di questi ultimi appare infatti più giustificata laddove sia necessario eliminare delle lampade esistenti obsolete, problematiche dal punto di vista ambientale e piuttosto inefficienti come quelle al mercurio, soprattutto nelle zone in cui l'insistenza di un traffico misto di pedoni e veicoli sul tracciato considerato richiede una soluzione che soddisfi contemporaneamente dei requisiti di sicurezza stradale e di valenza estetica.

Nello svolgimento dell'attività progettuale descritta nella trattazione sono stati presi in considerazione tutti i punti toccati in precedenza. I profili di riduzione ipotizzati sono stati verificati mediante appositi calcoli illuminotecnici realizzati con il software DIALux, strumento molto utile per predire la realtà grazie alla possibilità di inserire al suo interno le geometrie della strada in oggetto, il tipo di pavimentazione esistente, le caratteristiche di montaggio dei corpi illuminanti e i file fotometrici, recanti le proprietà di emissione di questi ultimi, forniti dalle case produttrici stesse allo scopo di agevolare la progettazione e la scelta della potenza di lampada corretta. Grazie alla possibilità di modificare a proprio piacimento il dato inerente il flusso luminoso emesso dagli apparecchi, è stato possibile effettuare delle simulazioni per vari step di riduzione, analizzando la rispondenza della particolare soluzione scelta alla norma UNI EN 13201-2:2004 e rispettando quanto indicato nella norma UNI 11248:2012, la quale consente di ridurre la categoria illuminotecnica del tracciato considerato in funzione delle sue caratteristiche.

Attraverso i calcoli economici basati sulla stima dei parametri del tempo di ritorno, del tasso interno di redditività, del valore attuale netto e dell'indice di profitto, si è verificato come l'investimento iniziale derivante dalla spesa per il sistema di telecontrollo, comprensivo di Collecting Unit, Control Box e alimentatori "HID Flat", dalla spesa per la sostituzione dei corpi illuminanti al mercurio con sorgenti a LED aventi una potenza inferiore e un'efficienza luminosa molto più vantaggiosa, dalla spesa per la sostituzione dei pali in cemento, problematici dal punto di vista della sicurezza stradale, e dalla spesa per lo spostamento di alcuni corpi illuminanti al sodio a favore di altrettante apparecchiature a LED, si ripaghi in tempi ragionevolmente brevi anche in assenza dei proventi derivanti dal bando indetto dalla Regione Veneto.

Particolarmente vantaggiosa in termini economici per il Comune è risultata poi la simulazione di rientro economico inerente il caso in cui parte dei fondi per la copertura dell'investimento derivi da un finanziamento concesso da un istituto di credito alla ESCo chiamata a realizzare le opere previste dall'intervento.

Tramite la prima prova sperimentale effettuata, è stato testato il funzionamento del sistema di telecontrollo "I-Illumination" su cinque lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 100 W, verificando i consumi effettivamente imputabili alle stesse e analizzando i parametri di rete contestualmente misurati in termini di tasso di distorsione armonica, di energia reattiva e di fattore di potenza, sia in condizioni di progetto, sia forzando la riduzione del flusso luminoso mediante un segnale inviato dalla Collecting Unit.

Per quanto riguarda l'energia attiva realmente assorbita dalle cinque sorgenti in condizioni nominali entro l'intervallo temporale fissato, sono stati ottenuti valori molto prossimi rispetto a quanto stimato per lo stesso numero di punti luce considerando gli stessi parametri utilizzati nel corso dell'analisi di risparmio energetico presentata all'interno del *Capitolo 3*.

Dalle prove realizzate in condizioni di esercizio, in particolare spegnendo le cinque lampade suddette, si è inoltre verificato come il tasso di distorsione armonica sulla corrente aumenti in maniera importante rispetto alle condizioni nominali e il fattore di potenza diminuisca, come dimostrato anche dal contestuale incremento percentuale dell'energia reattiva assorbita dalle altre lampade, non dotate di ausiliari elettronici, presenti nella linea elettrica.

Infine, l'ultima prova effettuata su un singolo apparecchio acceso al fine di misurarne l'illuminamento a terra in funzione della potenza effettivamente assorbita, ha dimostrato come, impostando dei livelli di riduzione del flusso luminoso emesso dalla sorgente via via inferiori, la curva di decadimento dell'illuminamento non abbia lo stesso andamento di quella relativa alla potenza assorbita, bensì si discosti da essa in maniera tanto più marcata quanto più la regolazione viene spinta a bassi valori di flusso luminoso.

Il sistema descritto e testato attraverso le prove sperimentali suddette, nonostante costituisca una soluzione matura e immediatamente implementabile per abbattere i consumi di energia elettrica dovuti alla rete di illuminazione, presenta ampi margini di sviluppo, soprattutto per quanto concerne i servizi aggiuntivi che possono essere associati alla rete stessa.

Ad esempio, l'adozione di sensori di presenza dotati di videocamere in grado di stimare l'afflusso di veicoli passanti per una determinata strada nelle diverse fasce orarie della giornata, con annesso backup dello storico, consentirebbe sicuramente di implementare dei profili di riduzione del flusso luminoso precisi e adatti alle reali esigenze del tracciato considerato, oltre a rappresentare un indiscusso vantaggio in termini di sicurezza nel caso in cui le immagini registrate venissero rese disponibili alle forze dell'ordine.

Analogamente, la presenza di sensori delle condizioni meteorologiche comunicanti con il centro di gestione garantirebbe la possibilità di variare da remoto i parametri di funzionamento delle sorgenti, ad esempio anticipando l'accensione di queste ultime nelle giornate in cui la presenza di cielo coperto richiede un determinato illuminamento delle strade anche in prossimità del crepuscolo.

Tali servizi, unitamente alla possibilità di implementare degli access-point wifi associati alla rete elettrica estesi a tutto il territorio comunale e dei punti di ricarica dei veicoli elettrici, rappresentano solamente alcuni esempi di come sia possibile riqualificare, non solo dal punto di vista energetico, il sistema di illuminazione pubblica, contribuendo alla realizzazione di ciò che in un futuro ormai prossimo sarà comunemente chiamato "smart grid".

APPENDICE A

Analisi della bolletta

SITO	CODICE POD	gen-11	kWh	feb-11	kWh	mar-11	kWh	apr-11	kWh	mag-11	kWh	giu-11	kWh	lug-11	kWh	ago-11	kWh	set-11	kWh	ott-11	kWh	nov-11	kWh	dic-11	kWh
via Moretti	IT001E30472753	159.18	758	133.98	638	133.56	636	108.99	519	93.45	445	81.69	389	0	90.3	430	0	245.49	1169	0	0	309.75	1475		
via parè	IT001E31209394	500.01	2381	404.88	1928	0	0	723.87	3447	298.62	1422	270.69	1289	286.02	1362	334.95	1595	387.24	1844	463.68	2208	479.64	2284	548.52	2612
via Paster	IT001E30250702	587.79	2799	451.5	2150	0	0	522.27	2487	313.74	1494	284.76	1356	297.57	1417	94.5	450	400.47	1907	476.28	2268	539.49	2569	791.49	3769
via Roma	IT001E33774067	337.68	1608	271.95	1295	0	0	487.2	2320	194.46	926	171.57	817	171.78	818	212.1	1010	245.07	1167	290.85	1385	313.74	1494	397.11	1891
via Cavallaro	IT001E33672924	13.65	65	11.76	56	0	0	20.79	99	7.77	37	7.77	37	7.98	38	9.66	46	10.71	51	12.6	60	13.65	65	14.49	69
via Pozzi	IT001E32235722	227.01	1081	186.9	890	0	0	288.96	1376	212.73	1013	123.69	589	137.13	653	262.71	1251	297.78	1418	320.88	1528	210.42	1002	231.21	1101
via Marmolada	IT001E31450938	73.5	350	54.6	260	0	0	97.86	466	42.21	201	42.42	202	44.94	214	51.66	246	58.8	280	69.3	330	74.55	355	81.06	386
via San Giacomo	IT001E30325229	255.15	1215	215.67	1027	0	0	346.92	1652	115.29	549	99.54	474	108.36	516	42	200	153.72	732	186.27	887	199.92	952	211.89	1009
via XI Febbraio	IT001E30024360	19.95	95	17.01	81	0	0	30.66	146	12.39	59	10.71	51	11.76	56	4.2	20	15.54	74	18.48	88	19.95	95	21.42	102
via Vittoria	IT001E30024373	30.03	143	26.04	124	0	0	29.4	140	20.79	99	18.27	87	19.95	95	4.2	20	26.04	124	31.08	148	33.18	158	36.12	172
via del Passo	IT001E33720326	22.26	105	0	21	100	25.62	122	0	6.72	32	6.72	32	8.19	39	8.82	42	10.5	50	11.13	53	12.18	58		
via A. Volta	IT001E32098442	648.9	3090	543.69	2589	535.08	2548	440.37	2097	383.25	1825	238.14	1134	263.97	1257	370.02	1762	425.67	2027	503.58	2398	526.05	2505	562.38	2678
via Paralovo	IT001E31450933	42.21	201	31.5	150	0	0	56.7	270	23.31	111	21	100	22.47	107	25.41	121	28.56	136	33.6	160	35.91	171	55.02	262
via Foscolo	IT001E33998651	76.86	366	63.21	301	0	0	111.72	532	44.73	213	40.53	193	41.37	197	45.57	217	51.03	243	59.43	283	67.41	321	69.93	333
via Cal del Brolo	IT001E31104391	560.49	2669	451.29	2149	430.29	2049	351.33	1673	304.92	1452	325.29	1549	286.65	1365	272.58	1298	346.92	1652	366.24	1744	305.97	1457	263.55	1256
via Monte Grappa	IT001E30109001	76.65	365	61.53	293	0	0	108.36	516	42.21	201	39.27	187	41.16	196	42	200	57.96	276	70.56	336	78.33	373	87.78	418
via Molinetto	IT001E31246609	300.3	1430	249.9	1190	0	0	346.71	1651	127.26	606	118.02	562	123.69	589	307.194	1463	96.18	458	143.85	685	165.48	788	145.53	693
via Cavalieri Vittorio V.	IT001E30107647	282.45	1345	231.42	1102	0	0	412.44	1964	164.43	783	154.98	738	162.12	772	96.18	458	123.06	586	121.17	577	181.65	865	161.28	768
via Indipendenza	IT001E33998001	12.39	59	10.5	50	0	0	13.65	65	3.78	18	6.72	32	7.35	35	8.19	39	9.45	45	10.92	52	11.97	57	12.6	60
via Indipendenza	IT001E33998025	10.71	51	8.82	42	0	0	25.62	120	6.72	32	6.09	29	6.51	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
via Indipendenza	IT001E33998036	10.92	52	10.08	48	0	0	14.28	68	7.35	35	4.2	20	4.2	20	4.2	20	4.2	20	9.03	43	11.76	56	13.02	62
via Indipendenza	IT001E33998050	12.18	58	10.29	49	0	0	17.64	84	7.35	35	6.3	30	7.14	34	7.98	38	8.61	41	10.29	49	11.13	53	11.76	56
via dei mastri	IT001E33992986	200.34	954	164.64	784	0	0	289.17	1377	108.78	518	104.37	497	108.78	518	121.8	580	140.91	671	172.41	821	187.95	895	202.02	962
via per Cavri di S.B.	IT001E33998242	353.64	1684	289.59	1379	0	0	326.76	1556	186.69	889	42	200	42	200	42	200	42	200	258.3	1230	352.8	1680	400.47	1907
via Cassette Davanti	IT001E33998277	35.28	168	29.4	140	0	0	31.29	149	21.21	101	19.74	94	20.79	99	23.94	114	26.67	127	31.71	151	34.65	165	37.8	180
via Argine Piave	IT001E30462491	9.19	39	72.65	346	0	0	15.96	76	6.51	31	5.1	31	6.51	31	4.2	20	8.19	39	9.65	45	10.5	50	11.13	53
via Don Mitani	IT001E31487789	138.18	658	113.61	541	111.72	532	129.57	617	83.16	396	78.75	375	78.75	375	73.92	352	78.33	373	92.82	442	17.85	85	102.06	486
via C.A. Dalla Chiesa	IT001E30567620	325.5	1550	271.74	1294	0	0	496.86	2366	195.93	933	175.14	834	187.53	893	96.18	458	225.12	1072	288.12	1372	315.84	1504	338.1	1610
via del Lavoro	IT001E33958375	297.78	1418	248.43	1183	0	0	444.36	2116	175.35	835	59.01	281	163.59	779	167.37	797	200.55	955	243.81	1161	266.91	1271	289.38	1378
via Saoride	IT001E33998356	75.81	361	63	300	61.74	294	46.2	220	45.36	216	46.2	220	46.2	220	46.2	220	46.2	220	53.97	257	72.45	345	77.91	371
via Davanzo	IT001E33998127	438.27	2087	325.92	1552	318.78	1518	280.77	1337	245.28	1168	220.08	1048	240.66	1146	276.78	1318	309.33	1473	349.86	1666	378.84	1804	537.39	2559
via Termine	IT001E32308787	334.11	1591	270.06	1286	265.23	1263	221.34	1054	197.4	940	181.86	866	190.89	909	217.56	1036	241.5	1150	285.39	1359	307.44	1464	361.41	1721
via Piave	IT001E33998892	10.5	50	8.61	41	8.82	42	4.2	20	6.51	31	5.88	28	5.88	28	7.14	34	7.98	38	9.45	45	10.5	50	10.92	52
via XI Febbraio	IT001E33775654	190.68	908	159.6	760	157.71	751	131.25	625	112.14	534	99.96	476	111.72	532	127.89	609	144.69	689	168.84	804	179.34	854	189	900
via Argine Piave	IT001E30024376	9.66	46	7.98	38	7.77	37	4.2	20	5.88	28	5.67	27	5.67	27	4.2	20	7.35	35	9.03	43	9.66	46	10.29	49
via Vittoria	IT001E33999421	10.71	51	8.82	42	9.03	43	7.14	34	6.3	30	5.67	27	6.09	29	6.72	32	7.77	37	9.24	44	9.45	45	11.55	55
via Casoni	IT001E30210022	189.63	903	149.73	713	141.33	673	120.54	574	103.53	493	94.29	449	101.22	482	96.18	458	141.54	674	173.04	824	191.73	913	208.74	994
via XXIV Maggio	IT001E33997840	165.69	789	145.53	693	142.17	677	16.8	80	107.52	512	101.22	482	105.84	504	120.12	572	135.66	646	160.86	766	172.62	822	187.95	895
Piazza Vittorio Veneto	IT001E33997812	783.3	3730	532.35	2535	531.72	2532	459.9	2190	435.75	2075	384.09	1829	416.01	1981	457.17	2177	502.11	2391	558.18	2658	596.4	2840	1195.32	5692
via Parè	IT001E32430994	27.51	131	23.1	110	23.73	113	17.85	85	17.85	85	17.43	83	17.43	83	19.95	95								
via Toniolo	IT001E33993130	180.18	858	150.78	718	106.68	508	46.2	220	116.13	553	99.54	474	103.53	493	86.52	412	139.44	664	163.59	779	173.04	824	186.48	888
via Pozzetti	IT001E33775655	267.12	1272	223.02	1062	217.35	1035	182.07	867	159.81	761	142.17	677	153.3	730	177.66	846	206.01	981	243.39	1159	259.56	1236	278.88	1328
via Chiesetta SN	IT001E04728759	191.52	912	160.02	762	155.4	740	39.48	188	96.81	461	85.26	406	91.14	434	103.11	491	119.28	568	141.54	674	156.66	746	165.06	786
via Brugnotto	IT001E33999906	46.62	222	37.38	178	33.6	160	31.08	148	27.51	131	24.78	118	26.67	127	30.45	145	33.6	160	38.85	185	40.95	195	44.94	214
via Cartiere	IT001E31450930	14.7																							

APPENDICE B

Stato di fatto dello stralcio di progetto

Via/Piazza	Suddivisione punti luce che si intende gestire da remoto (stato di fatto)				Suddivisione punti luce che si intende gestire in modalità "stand alone" (stato di fatto)			
	SAP 70 W	SAP 100 W	VM 125 W	LED 36 W	SAP 70 W	SAP 100 W	SAP 150 W	VM 125 W
VOLTA		38						
ACQUICCIOLA		9						
ANTELAO								2
ARGINE PIAVE		18					1	
BIANCA ROVEDA		5						
BOVON DI BREDÀ						20		
BOVON DI S. BARTOLOMEO		3				8		
BRIGATA EMILIA		1				1		1
BRUGNOTTO		2						
CAL DEL BROLO		27						
CAL DI BREDÀ		62						
CARLESSO MARCO						6		
CASSETTE		9						
CASSETTE DAVANTI						1		2
CAVALIERI DI VITTORIO VENETO			8					
CHIESA		4						
CODE		10				9		
CROSA COSTANTINO								4
DAL VESCO ALVISE		38						
DEI CASONI		26						
DEI MASTRI		13						
DEI TIGLI	14							
DEL LAVORO						1		13
DELL' ARTIGIANATO		4						
DELLA VITTORIA	3	6				2		
DELLE INDUSTRIE						2		43
DOLOMITI		1						
DON ASTI ANTONIO		1	12					
DON G. SOLDERA		6						
DON LORENZO MILANI								11
EINAUDI LUIGI			9					
EUROPA			5					
FORMENTANO VITTORIO		10						
G. SARAGAT		8						
GARIBALDI GIUSEPPE		9						
INDIPENDENZA		8		48				
INTERNA		6						
IV NOVEMBRE		36						
LEVADA					5	11		1
MARCHE		20	2					
MASOTTI		8						
MAZZOLA'		25						
MOLINETTO		38						
MONTE BIANCO								2

	Suddivisione punti luce che si intende gestire da remoto (stato di fatto)			Suddivisione punti luce che si intende gestire in modalità "stand alone" (stato di fatto)			
MONTELLO		7					
MORETTI NICCOLO'		3			20		
PARALOVO							3
PARE'		14			3		
PASTEUR LOUIS		12					
PELLICO SILVIO		12					
PER CAVRIE' DI S. BARTOLOM		21	5		2		
PERTINI SANDRO			20				
PIAVE					1		
PLE JULIA		4					
PONTESELLI		3					1
POZZETTI		6					
PZA BATTISTI CESARE		2					
PZA ITALIA							4
PZA NAZIONI UNITE					4		
PZA OLIVI DOMENICA		4					
PZA VITTORIO VENETO	10						
ROMA		20			2		
SAN GIACOMO		27					
SAN PIETRO		1					
SAN PIO X		19			6		3
SERENISSIMA		3					
SG.TE DAVANZO M. DI S.BART		1					
STV BRUGNOTTO							1
STV MARCHE			4				
TERMINE		21					
TONIOLO GIUSEPPE		8					
TRENTO E TRIESTE		9			2		
VILLA DEL BOSCO							4
VILLANOVA							2
VLO CANNAREGIO			4				
VLO DON G. SOLDERA		4					
VLO PARNASSO		8					
VLO VILLANOVA							1
XI FEBBRAIO		18			2		
XXIV MAGGIO					8		2

APPENDICE C

Calcoli illuminotecnici

Via Formentano (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade SOLED LED.

- CASO DI STUDIO 1 - Condizioni di progetto.

Via Formentano / Dati di pianificazione

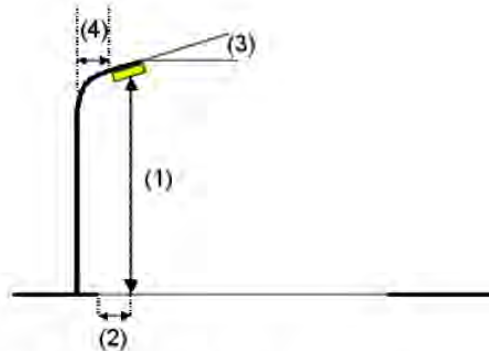
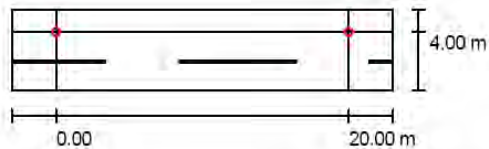
Profilo strada

Pista ciclabile 1 (Larghezza: 1.500 m)

Carreggiata 1 (Larghezza: 4.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	AEC ILLUMINAZIONE SRL SLD-0H-ST-002 SOLED 0H ST 4.5-18
Flusso luminoso lampade:	2460 lm
Potenza lampade:	30.0 W
Disposizione:	un lato, in alto
Distanza pali:	20.000 m
Altezza di montaggio (1):	5.000 m
Altezza fuochi:	4.522 m
Distanza dal bordo stradale (2):	0.000 m
Inclinazione braccio (3):	0.0 °
Lunghezza braccio (4):	0.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa

per 70°: 438 cd/klm

per 80°: 164 cd/klm

per 90°: 0.00 cd/klm

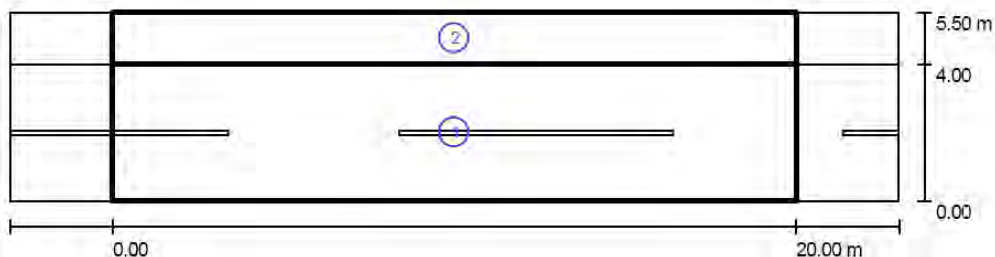
Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

Nessuna intensità luminosa superiore a 90°.

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G1.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.

Via Formentano / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Campo di valutazione Carreggiata 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 4.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata 1.
 Classe di illuminazione selezionata: CE4

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:

Valori nominali secondo la classe:

Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	U_0
12.43	0.48
≥ 10.00	≥ 0.40
✓	✓

Lista campo di valutazione

- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
 Classe di illuminazione selezionata: S3

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

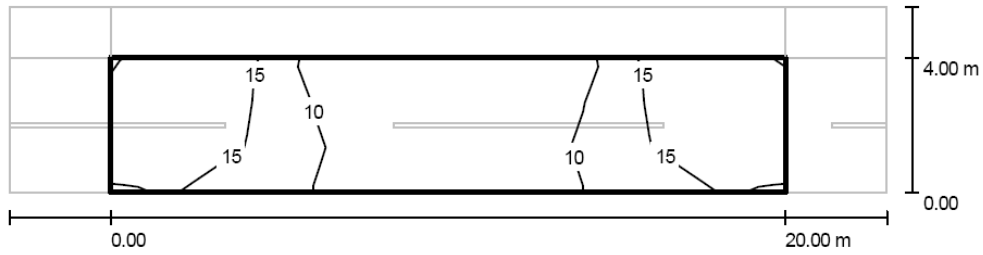
Valori reali calcolati:

Valori nominali secondo la classe:

Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	E_{min} [lx]
8.98	4.32
≥ 7.50	≥ 1.50
✓	✓

Via Formentano / Campo di valutazione Carreggiata 1 / Isolinee (E)

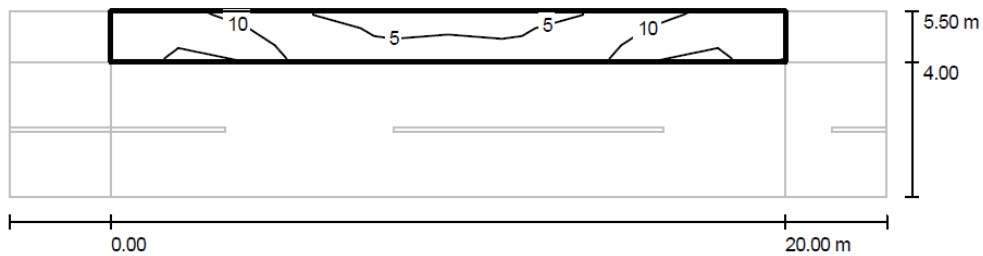


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	6.00	21	0.483	0.280

Via Formentano / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
8.98	4.32	19	0.481	0.230

Via Formentano (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade SOLED LED.

- CASO DI STUDIO 2 - Flusso luminoso ridotto del 40%.

Via Formentano / Dati di pianificazione

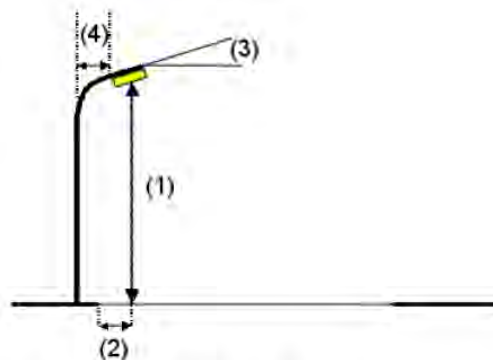
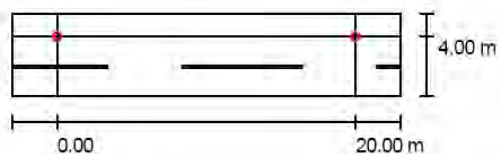
Profilo strada

Pista ciclabile 1 (Larghezza: 1.500 m)

Carreggiata 1 (Larghezza: 4.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	AEC ILLUMINAZIONE SRL SLD-0H-ST-002 SOLED 0H ST 4.5-18
Flusso luminoso lampade:	1484 lm
Potenza lampade:	18.0 W
Disposizione:	un lato, in alto
Distanza pali:	20.000 m
Altezza di montaggio (1):	5.000 m
Altezza fuochi:	4.522 m
Distanza dal bordo stradale (2):	0.000 m
Inclinazione braccio (3):	0.0 °
Lunghezza braccio (4):	0.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa	
per 70°:	438 cd/klm
per 80°:	164 cd/klm
per 90°:	0.00 cd/klm

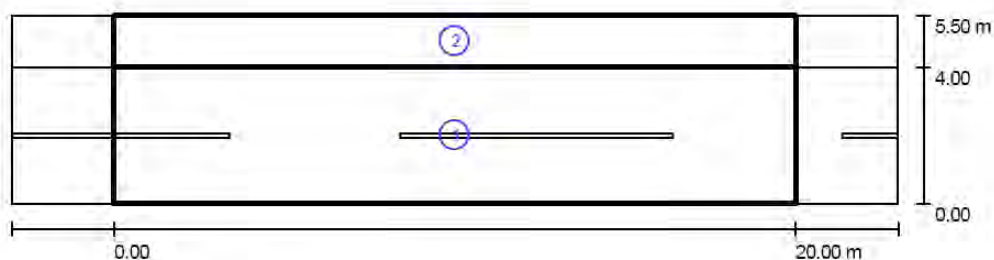
Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

Nessuna intensità luminosa superiore a 90°.

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G1.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.

Via Formentano / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Campo di valutazione Carreggiata 1
Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 4.000 m
Reticolo: 10 x 3 Punti
Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata 1.
Classe di illuminazione selezionata: CE5

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:
Valori nominali secondo la classe:
Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	U0
7.50	0.48
≥ 7.50	≥ 0.40
✓	✓

Lista campo di valutazione

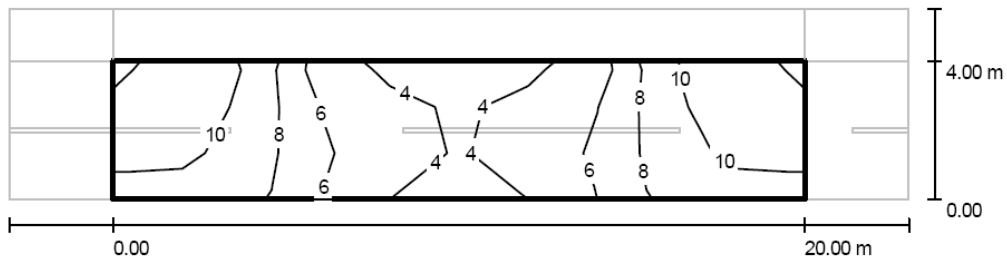
- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
Reticolo: 10 x 3 Punti
Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
Classe di illuminazione selezionata: S4

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:
Valori nominali secondo la classe:
Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	E_{min} [lx]
5.42	2.60
≥ 5.00	≥ 1.00
✓	✓

Via Formentano / Campo di valutazione Carreggiata 1 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

 E_m [lx]
7.50

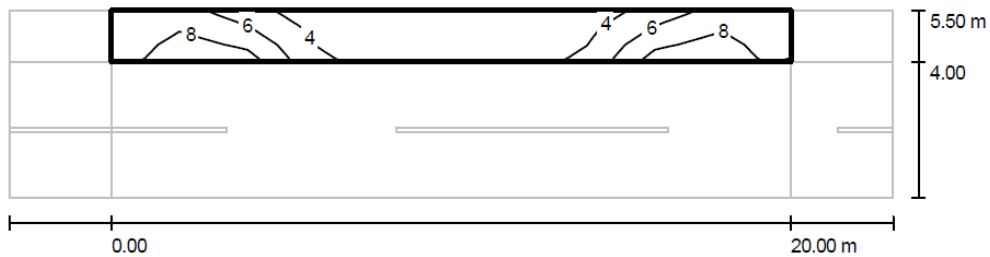
 E_{min} [lx]
3.62

 E_{max} [lx]
13

 E_{min} / E_m
0.483

 E_{min} / E_{max}
0.280

Via Formentano / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

 E_m [lx]
5.42

 E_{min} [lx]
2.60

 E_{max} [lx]
11

 E_{min} / E_m
0.481

 E_{min} / E_{max}
0.230

Via don Milani (località: San Bartolomeo)

Verifica illuminotecnica con lampade ITALO 1 LED.

- CASO DI STUDIO 1 - Condizioni di progetto.

via don Milani / Dati di pianificazione

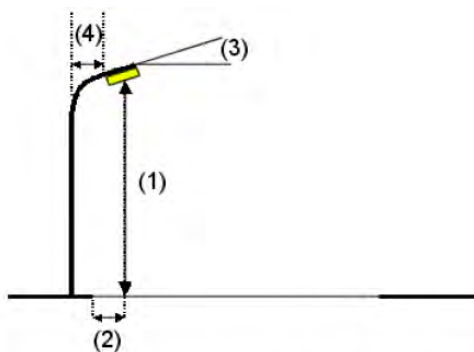
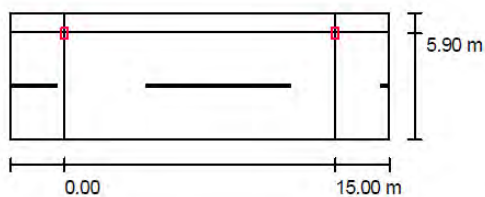
Profilo strada

Marciapiede (Larghezza: 1.000 m)

Carreggiata (Larghezza: 6.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:

AEC ILLUMINAZIONE SRL ITALO 1 0F2H1 STU-M 4.5-2M ITALO 1 0F2H1 STU-M 4.5-2M

Flusso luminoso lampade: 3210 lm
 Potenza lampade: 32.5 W
 Disposizione: un lato, in alto
 Distanza pali: 15.000 m
 Altezza di montaggio (1): 8.000 m
 Altezza fuochi: 7.894 m
 Distanza dal bordo stradale (2): 0.109 m
 Inclinazione braccio (3): 5.0 °
 Lunghezza braccio (4): 1.000 m

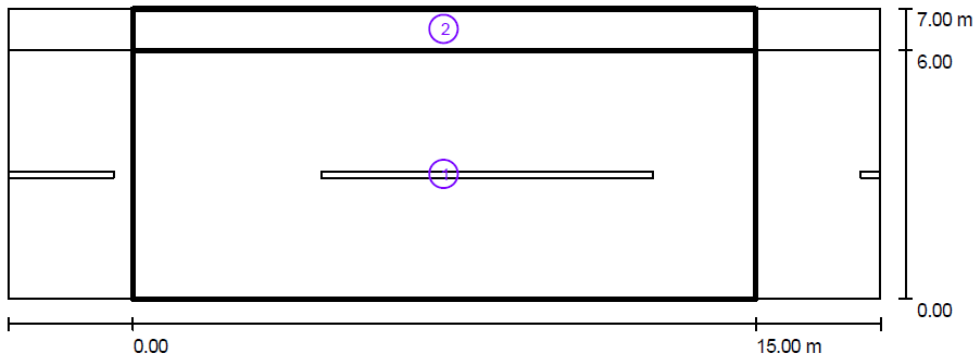
Valori massimi dell'intensità luminosa

per 70°: 710 cd/klm
 per 80°: 245 cd/klm
 per 90°: 3.18 cd/klm

Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

Nessuna intensità luminosa superiore a 95°.
 La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.5.

via don Milani / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:151

Lista campo di valutazione

1 Carreggiata

Lunghezza: 15.000 m, Larghezza: 6.000 m
 Reticolo: 10 x 4 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Classe di illuminazione selezionata: CE4

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	U0
Valori reali calcolati:	12.96	0.75
Valori nominali secondo la classe:	≥ 10.00	≥ 0.40
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

Lista campo di valutazione

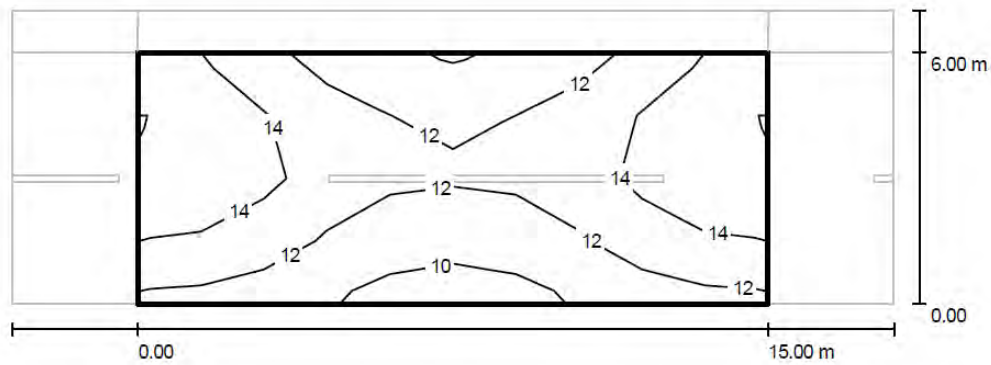
2 Marciapiede

Lunghezza: 15.000 m, Larghezza: 1.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Marciapiede.
 Classe di illuminazione selezionata: S3

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	10.41	7.58
Valori nominali secondo la classe:	≥ 7.50	≥ 1.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

via don Milani / Carreggiata / Isolinee (E)

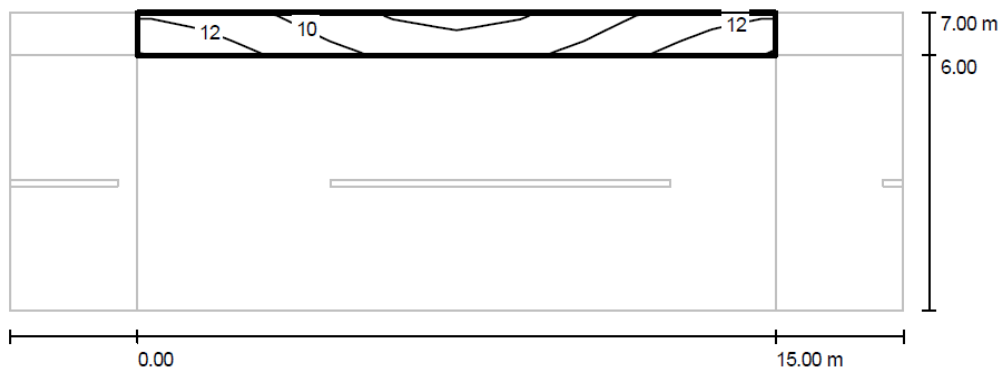


Valori in Lux, Scala 1 : 151

Reticolo: 10 x 4 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
13	9.74	16	0.751	0.596

via don Milani / Marciapiede / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 151

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
10	7.58	13	0.728	0.566

Via don Milani (località: San Bartolomeo)

Verifica illuminotecnica con lampade ITALO 1 LED.

- CASO DI STUDIO 2 - Flusso luminoso ridotto del 40%.

via don Milani / Dati di pianificazione

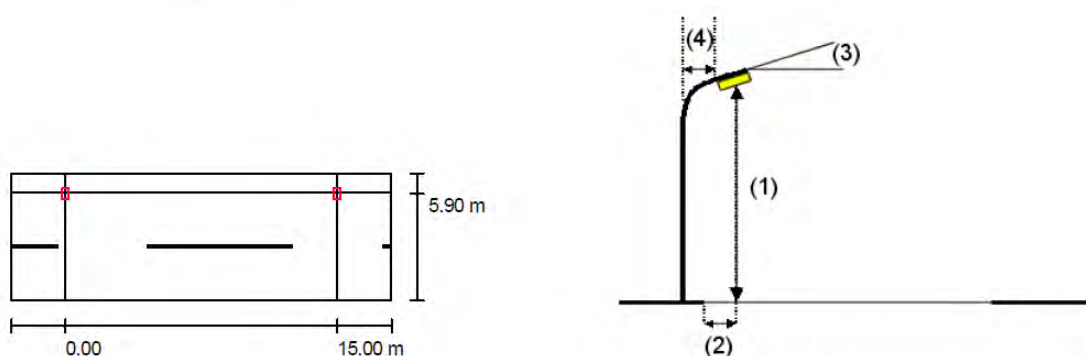
Profilo strada

Marciapiede (Larghezza: 1.000 m)

Carreggiata (Larghezza: 6.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:

AEC ILLUMINAZIONE SRL ITALO 1 0F2H1 STU-M 4.5-2M ITALO 1 0F2H1 STU-M 4.5-2M

Flusso luminoso lampade:

1926 lm

Potenza lampade:

19.5 W

Disposizione:

un lato, in alto

Distanza pali:

15.000 m

Altezza di montaggio (1):

8.000 m

Altezza fuochi:

7.894 m

Distanza dal bordo stradale (2):

0.109 m

Inclinazione braccio (3):

5.0 °

Lunghezza braccio (4):

1.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa

per 70°: 710 cd/klm

per 80°: 245 cd/klm

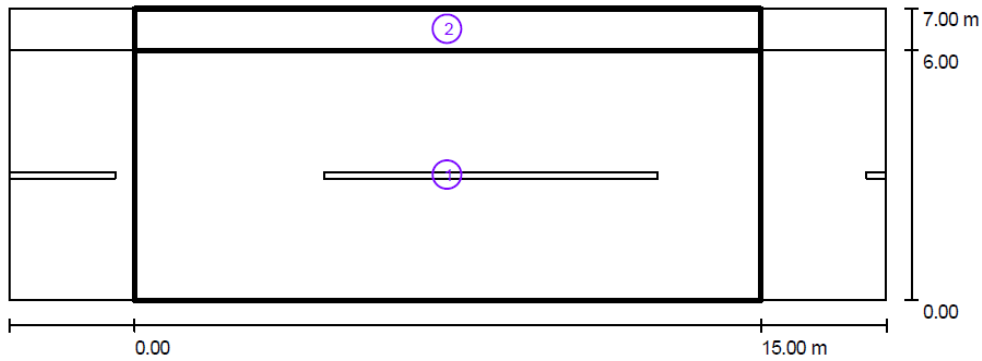
per 90°: 3.18 cd/klm

Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

Nessuna intensità luminosa superiore a 95°.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.5.

via don Milani / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:151

Lista campo di valutazione

1 Carreggiata

Lunghezza: 15.000 m, Larghezza: 6.000 m
 Reticolo: 10 x 4 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Classe di illuminazione selezionata: CE5

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:
 Valori nominali secondo la classe:
 Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	U0
7.78	0.75
≥ 7.50	≥ 0.40
✓	✓

Lista campo di valutazione

2 Marciapiede

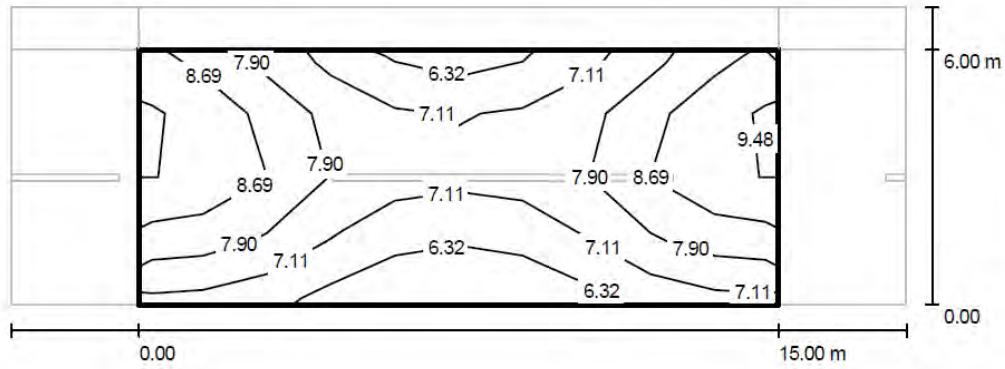
Lunghezza: 15.000 m, Larghezza: 1.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Marciapiede.
 Classe di illuminazione selezionata: S4

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:
 Valori nominali secondo la classe:
 Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	E_{min} [lx]
6.24	4.55
≥ 5.00	≥ 1.00
✓	✓

via don Milani / Carreggiata / Isolinee (E)

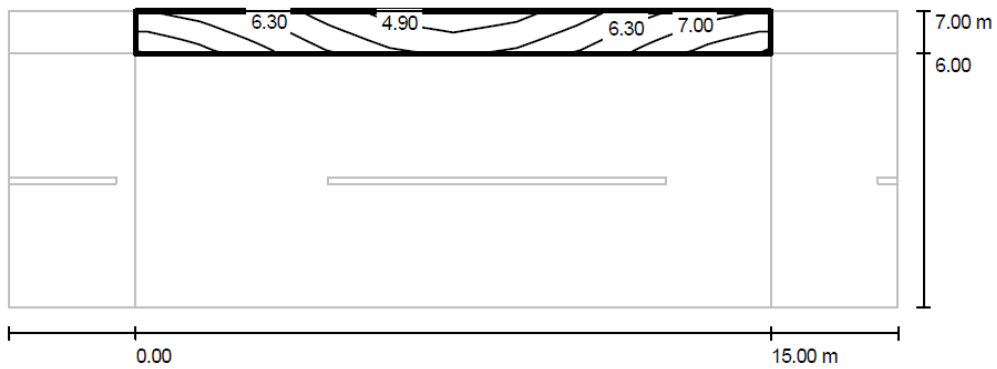


Valori in Lux, Scala 1 : 151

Reticolo: 10 x 4 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
7.78	5.84	9.80	0.751	0.596

via don Milani / Marciapiede / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 151

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
6.24	4.55	8.03	0.728	0.566

Via Roma (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade al sodio ad alta pressione SITECO esistenti.

- CASO DI STUDIO 1 - Condizioni di progetto.

via Roma / Dati di pianificazione

Profilo strada

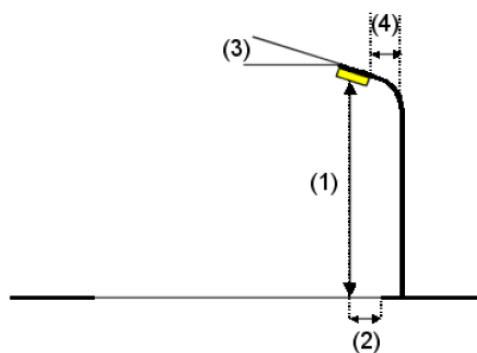
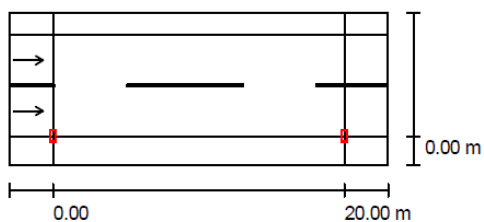
Pista ciclabile 1 (Larghezza: 1.500 m)

Carreggiata (Larghezza: 7.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Pista ciclabile 2 (Larghezza: 2.000 m)

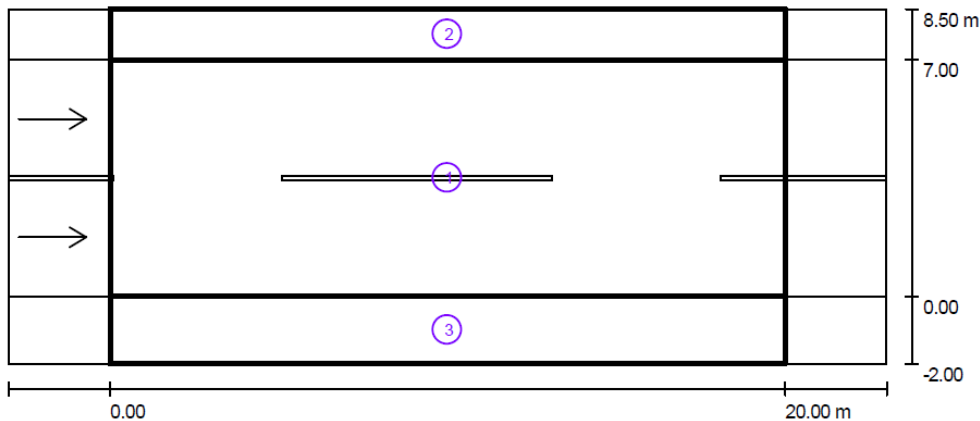
Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	Siteco 5NA55271NT72 SR 100 individual position: LPV=30, RP=2	
Flusso luminoso lampade:	8002 lm	Valori massimi dell'intensità luminosa
Potenza lampade:	105.0 W	per 70°: 479 cd/klm
Disposizione:	un lato, in basso	per 80°: 136 cd/klm
Distanza pali:	20.000 m	per 90°: 3.39 cd/klm
Altezza di montaggio (1):	8.000 m	Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano
Altezza fuochi:	7.787 m	l'angolo indicato con le verticali inferiori.
Distanza dal bordo stradale (2):	0.038 m	La disposizione rispetta la classe di intensità
Inclinazione braccio (3):	10.0 °	luminosa G2.
Lunghezza braccio (4):	2.000 m	La disposizione rispetta la classe degli indici di
		abbagliamento D.6.

via Roma / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Carreggiata
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 7.000 m
 Reticolo: 10 x 6 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Manto stradale: C1, q0: 0.100
 Classe di illuminazione selezionata: ME3c

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valori reali calcolati:	1.92	0.72	0.66	6	0.66
Valori nominali secondo la classe:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

Lista campo di valutazione

- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
 Classe di illuminazione selezionata: S2

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	14.74	12.96
Valori nominali secondo la classe:	≥ 10.00	≥ 3.00
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

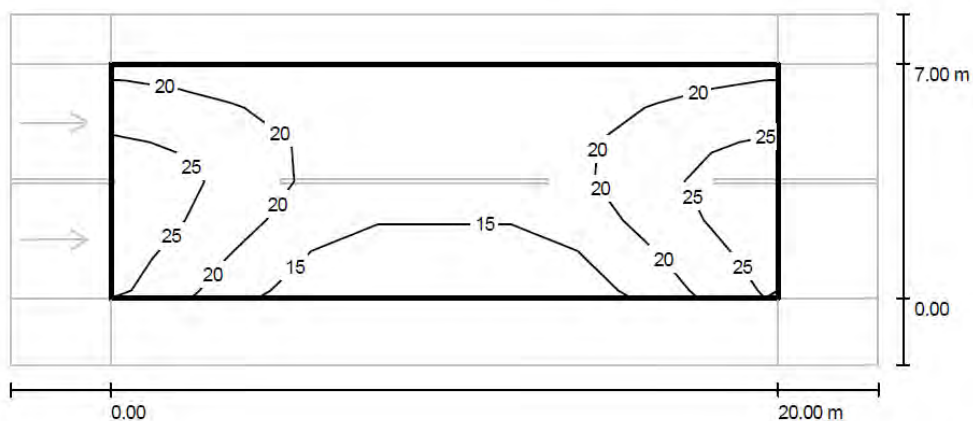
via Roma / Risultati illuminotecnici

Lista campo di valutazione

- 3 Campo di valutazione Pista ciclabile 2
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 2.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 2.
 Classe di illuminazione selezionata: S2 (Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori nominali secondo la classe:	14.10	9.38
Rispettato/non rispettato:	≥ 10.00	≥ 3.00
	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Isoleee (E)

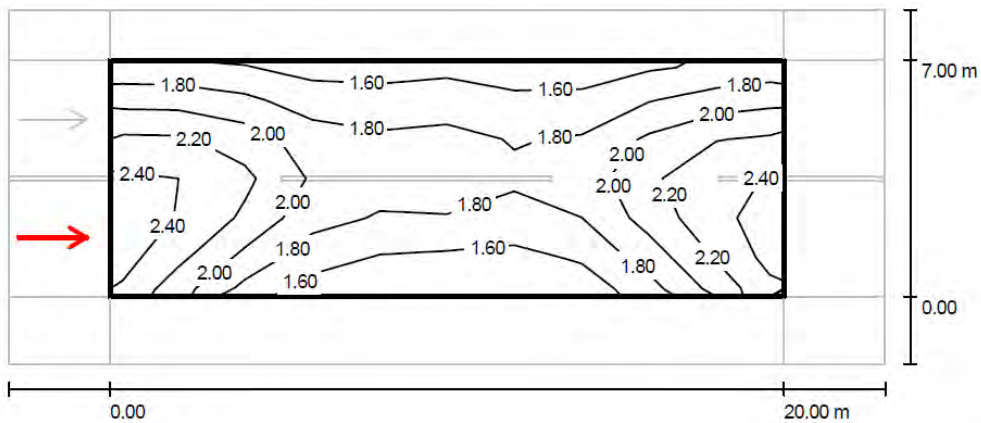


Valori in Lux. Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
19	11	27	0.576	0.412

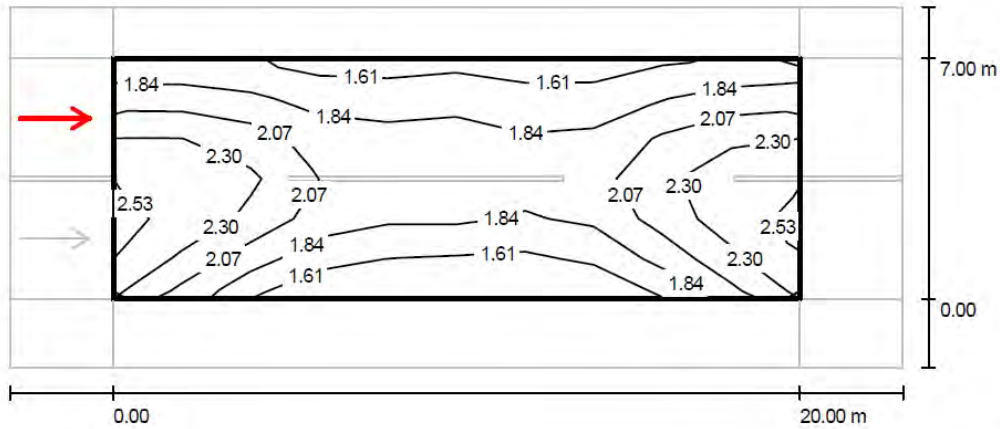
via Roma / Carreggiata / Osservatore 1 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.92	0.75	0.66	6
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Osservatore 2 / Isolinee (L)

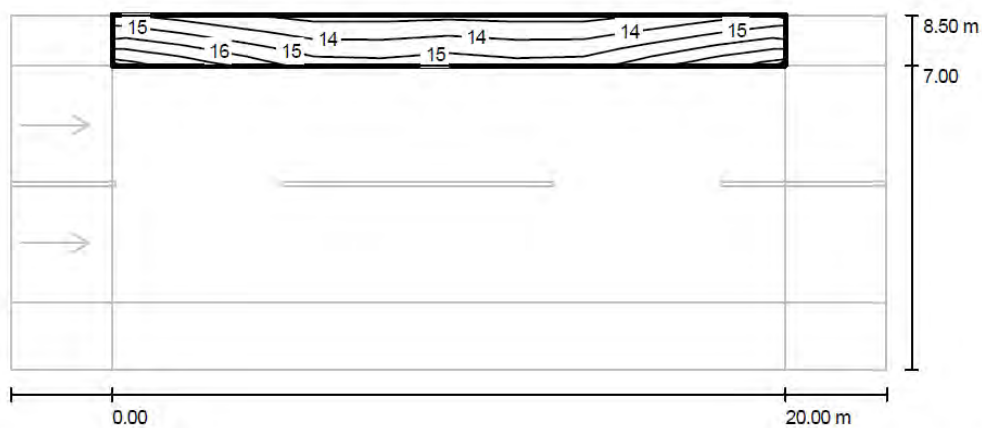


Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.97	0.72	0.81	6
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)

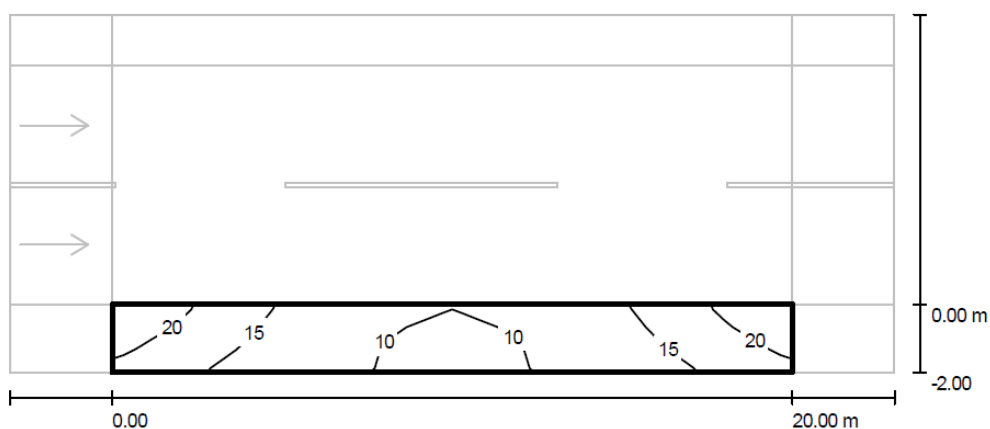


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
15	13	17	0.879	0.741

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 2 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
14	9.38	22	0.665	0.419

Via Roma (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade al sodio ad alta pressione SITECO esistenti.

- CASO DI STUDIO 2 - Flusso luminoso ridotto del 40%.

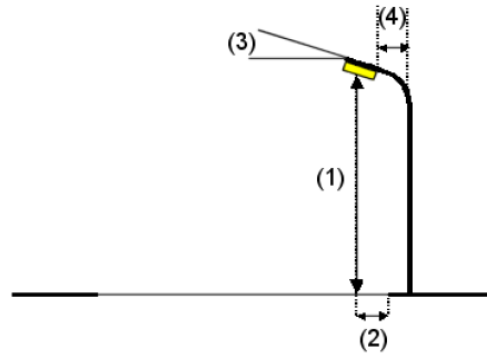
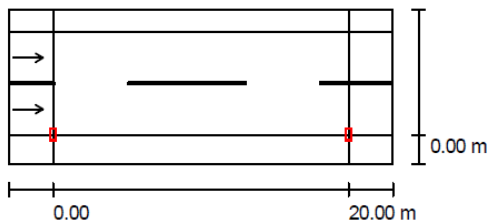
via Roma / Dati di pianificazione

Profilo strada

Pista ciclabile 1	(Larghezza: 1.500 m)
Carreggiata	(Larghezza: 7.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)
Pista ciclabile 2	(Larghezza: 2.000 m)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	Siteco 5NA55271NT72 SR 100 individual position: LPV=30, RP=2
Flusso luminoso lampade:	4801 lm
Potenza lampade:	73.5 W
Disposizione:	un lato, in basso
Distanza pali:	20.000 m
Altezza di montaggio (1):	8.000 m
Altezza fuochi:	7.787 m
Distanza dal bordo stradale (2):	0.038 m
Inclinazione braccio (3):	10.0 °
Lunghezza braccio (4):	2.000 m

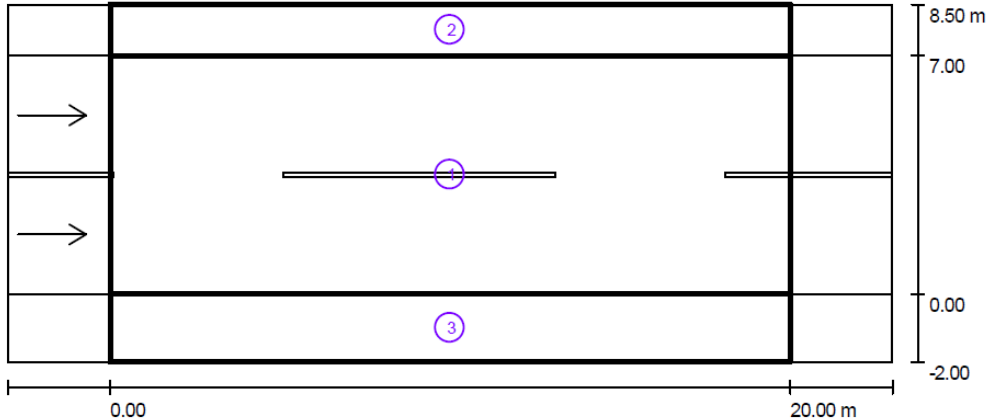
Valori massimi dell'intensità luminosa	
per 70°:	479 cd/klm
per 80°:	136 cd/klm
per 90°:	3.39 cd/klm

Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G2.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.

via Roma / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Carreggiata
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 7.000 m
 Reticolo: 10 x 6 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Manto stradale: C1, q0: 0.100
 Classe di illuminazione selezionata: ME4a

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valori reali calcolati:	1.15	0.72	0.66	6	0.66
Valori nominali secondo la classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

Lista campo di valutazione

- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
 Classe di illuminazione selezionata: S3

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	8.85	7.77
Valori nominali secondo la classe:	≥ 7.50	≥ 1.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

via Roma / Risultati illuminotecnici

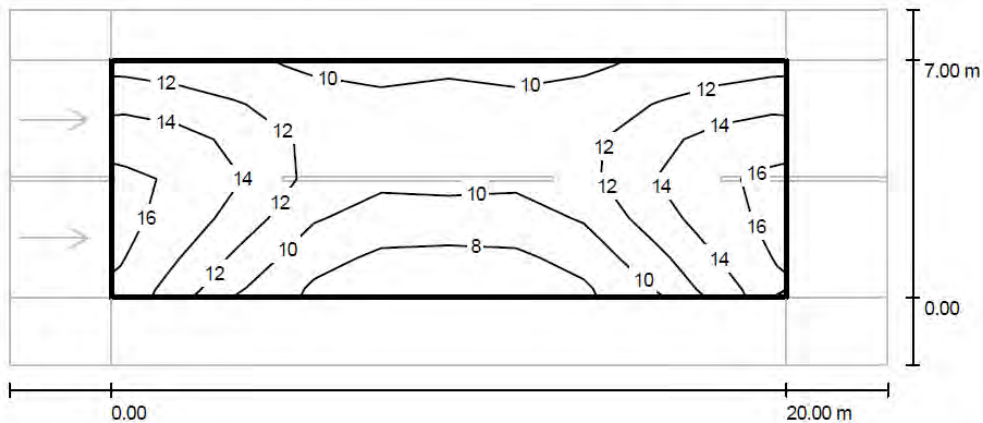
Lista campo di valutazione

- 3 Campo di valutazione Pista ciclabile 2
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 2.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 2.
 Classe di illuminazione selezionata: S3

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori nominali secondo la classe:	8.46	5.63
Rispettato/non rispettato:	≥ 7.50	≥ 1.50
	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Isolinee (E)

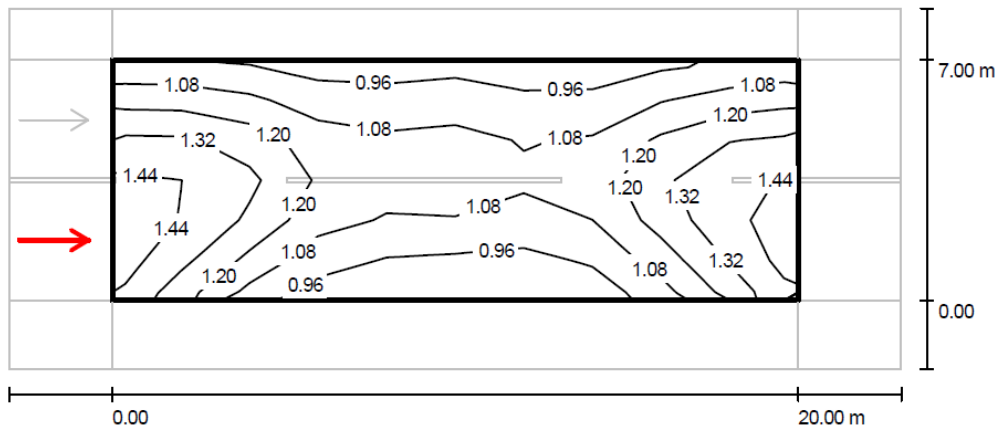


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	6.72	16	0.576	0.412

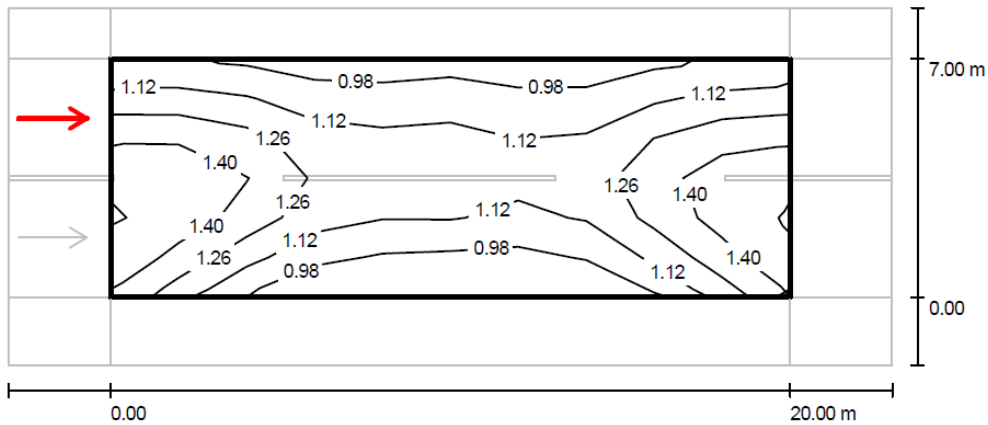
via Roma / Carreggiata / Osservatore 1 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.15	0.75	0.66	5
Valori nominali secondo la classe ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Osservatore 2 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

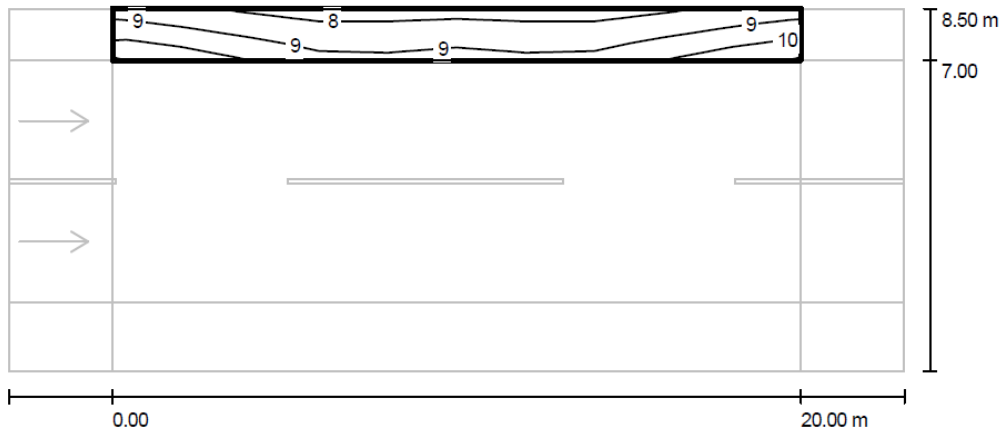
Reticolo: 10 x 6 Punti

Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)

Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.18	0.72	0.81	6
Valori nominali secondo la classe ME4a:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)

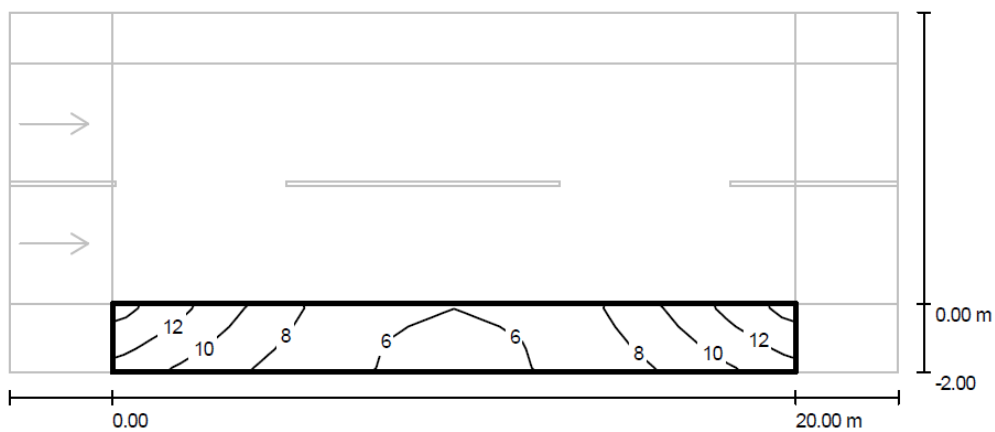


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
8.85	7.77	10	0.879	0.741

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 2 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
8.46	5.63	13	0.665	0.419

Via Roma (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade al sodio ad alta pressione SITECO esistenti.

- CASO DI STUDIO 3 - Flusso luminoso ridotto del 60%.

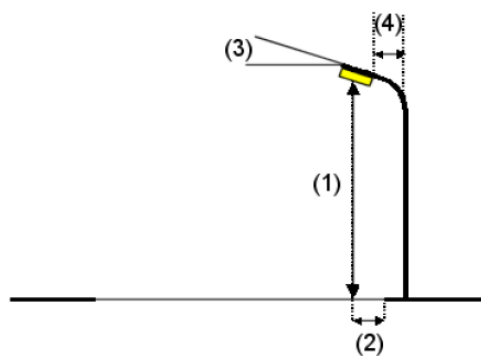
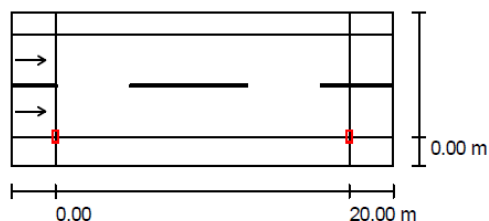
via Roma / Dati di pianificazione

Profilo strada

Pista ciclabile 1	(Larghezza: 1.500 m)
Carreggiata	(Larghezza: 7.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)
Pista ciclabile 2	(Larghezza: 2.000 m)

Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	Siteco 5NA55271NT72 SR 100 individual position: LPV=30, RP=2
Flusso luminoso lampade:	3201 lm
Potenza lampade:	58.0 W
Disposizione:	un lato, in basso
Distanza pali:	20.000 m
Altezza di montaggio (1):	8.000 m
Altezza fuochi:	7.787 m
Distanza dal bordo stradale (2):	0.038 m
Inclinazione braccio (3):	10.0 °
Lunghezza braccio (4):	2.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa

per 70°: 479 cd/klm

per 80°: 136 cd/klm

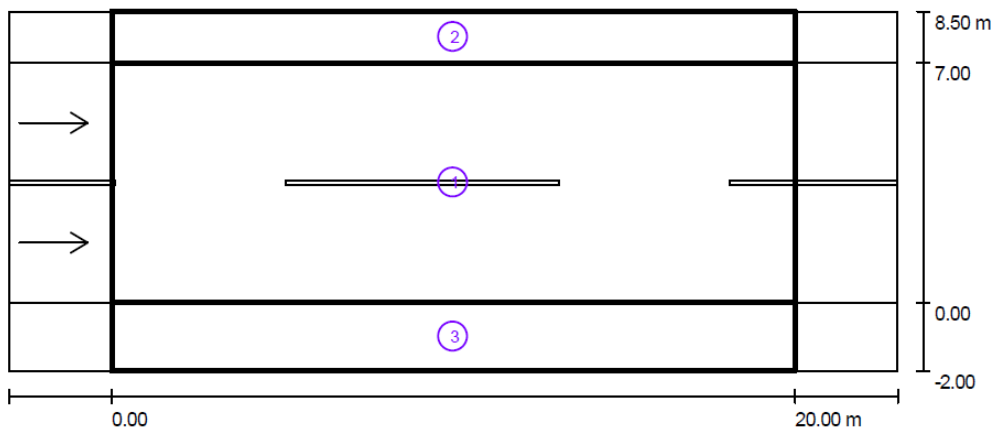
per 90°: 3.39 cd/klm

Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.

La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G2.

La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.

via Roma / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Carreggiata
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 7.000 m
 Reticolo: 10 x 6 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Manto stradale: C1, q0: 0.100
 Classe di illuminazione selezionata: ME4b

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valori reali calcolati:	0.77	0.72	0.66	5	0.66
Valori nominali secondo la classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

Lista campo di valutazione

- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
 Classe di illuminazione selezionata: S4

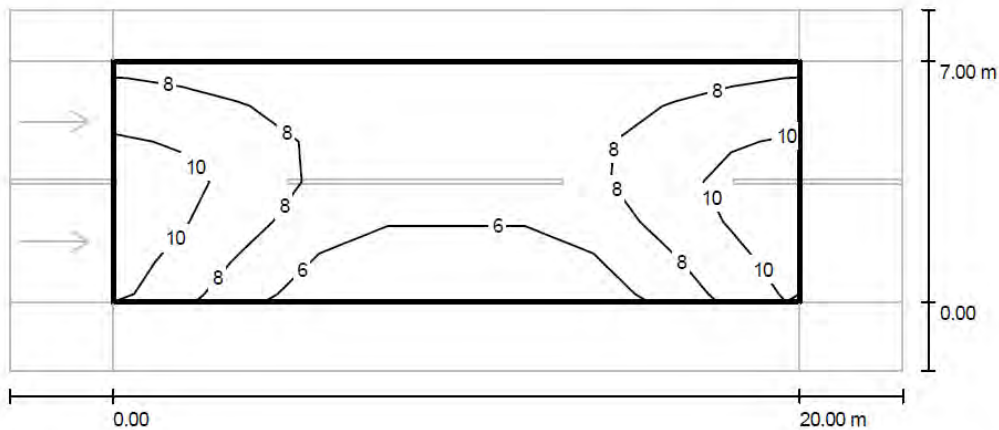
(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	5.90	5.18
Valori nominali secondo la classe:	≥ 5.00	≥ 1.00
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

- 3 Campo di valutazione Pista ciclabile 2
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 2.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 2.
 Classe di illuminazione selezionata: S4 (Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

Valori reali calcolati:	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori nominali secondo la classe:	5.64	3.75
Rispettato/non rispettato:	≥ 5.00	≥ 1.00
	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Isolinee (E)

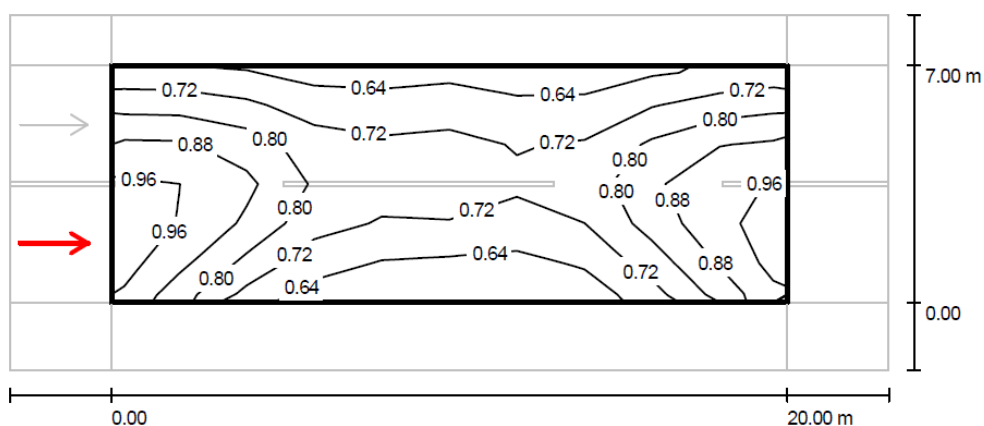


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
7.78	4.48	11	0.576	0.412

via Roma / Carreggiata / Osservatore 1 / Isolinee (L)

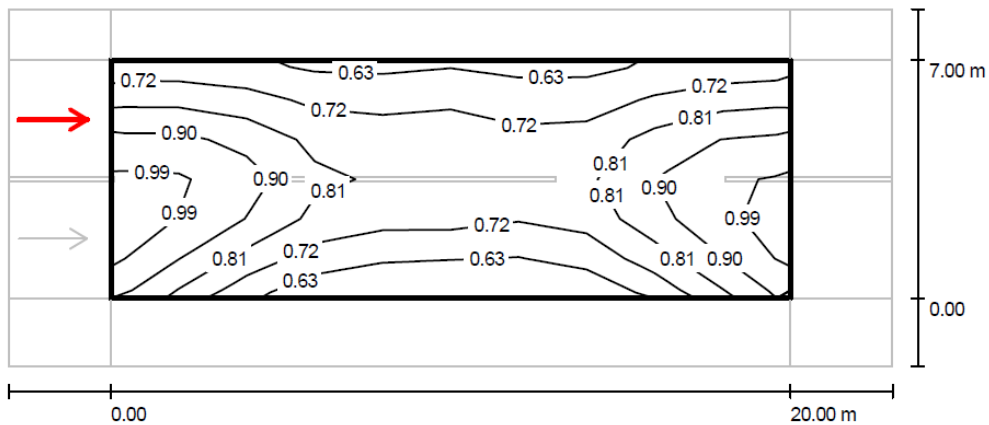


Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	0.77	0.75	0.66	5
Valori nominali secondo la classe ME4b:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Osservatore 2 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

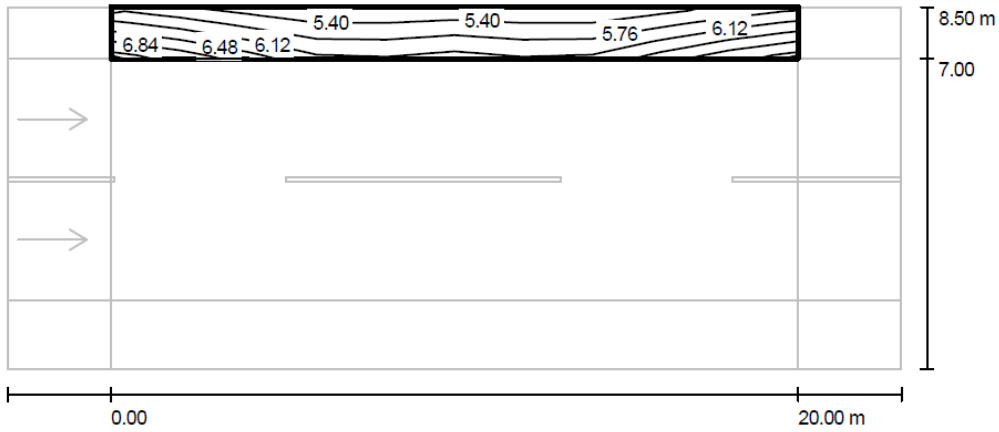
Reticolo: 10 x 6 Punti

Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)

Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	0.79	0.72	0.81	5
Valori nominali secondo la classe ME4b:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)

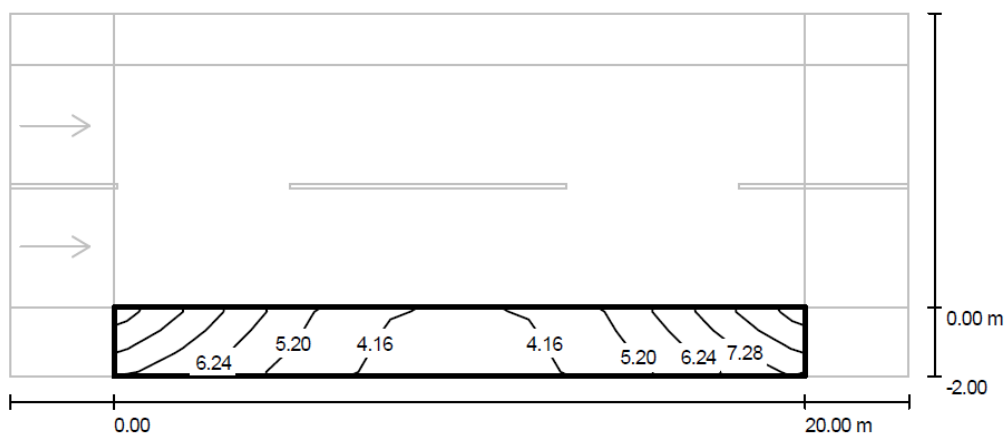


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
5.90	5.18	6.99	0.879	0.741

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 2 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
5.64	3.75	8.96	0.665	0.419

Via Roma (località: Breda di Piave)

Verifica illuminotecnica con lampade al sodio ad alta pressione SITECO esistenti.

- CASO DI STUDIO 4 - Verifica della rispondenza ai requisiti minimi richiesti dalla configurazione di progetto con riduzione del flusso luminoso del 12%.

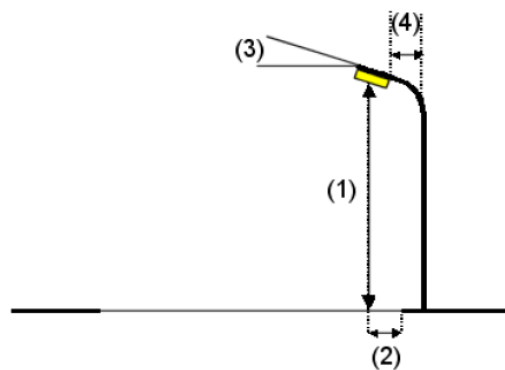
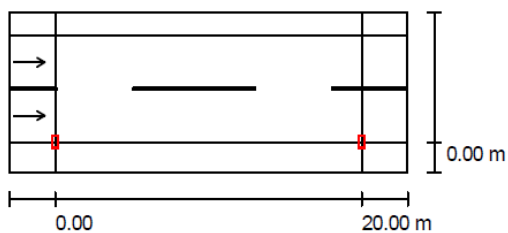
via Roma / Dati di pianificazione

Profilo strada

Pista ciclabile 1	(Larghezza: 1.500 m)
Carreggiata	(Larghezza: 7.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)
Pista ciclabile 2	(Larghezza: 2.000 m)

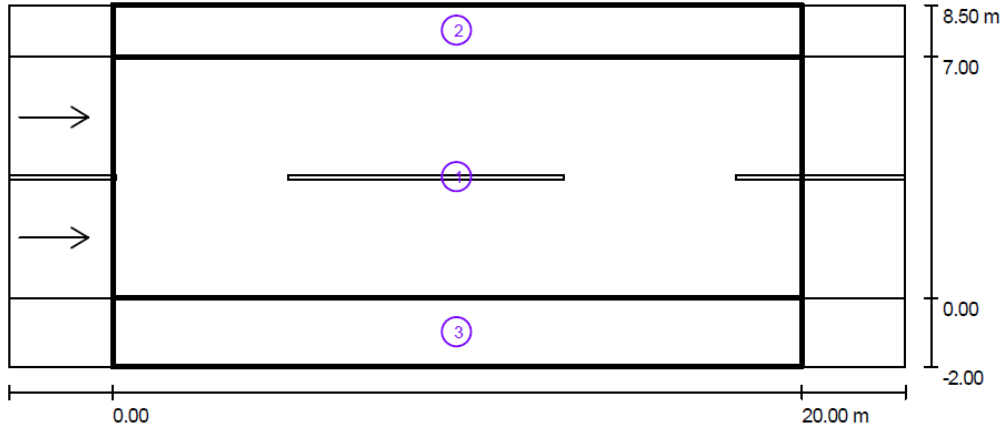
Fattore di manutenzione: 0.80

Disposizioni lampade



Lampada:	Siteco 5NA55271NT72 SR 100 individual position: LPV=30, RP=2	Valori massimi dell'intensità luminosa
Flusso luminoso lampade:	7042 lm	per 70°: 479 cd/klm
Potenza lampade:	95.0 W	per 80°: 136 cd/klm
Disposizione:	un lato, in basso	per 90°: 3.39 cd/klm
Distanza pali:	20.000 m	Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.
Altezza di montaggio (1):	8.000 m	La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G2.
Altezza fuochi:	7.787 m	La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.
Distanza dal bordo stradale (2):	0.038 m	
Inclinazione braccio (3):	10.0 °	
Lunghezza braccio (4):	2.000 m	

via Roma / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Carreggiata
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 7.000 m
 Reticolo: 10 x 6 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Manto stradale: C1, q0: 0.100
 Classe di illuminazione selezionata: ME3c

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valori reali calcolati:	1.69	0.72	0.66	6	0.66
Valori nominali secondo la classe:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

Lista campo di valutazione

- 2 Campo di valutazione Pista ciclabile 1
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 1.
 Classe di illuminazione selezionata: S2

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	12.97	11.40
Valori nominali secondo la classe:	≥ 10.00	≥ 3.00
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

- 3 Campo di valutazione Pista ciclabile 2
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 2.000 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Pista ciclabile 2.
 Classe di illuminazione selezionata: S2

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

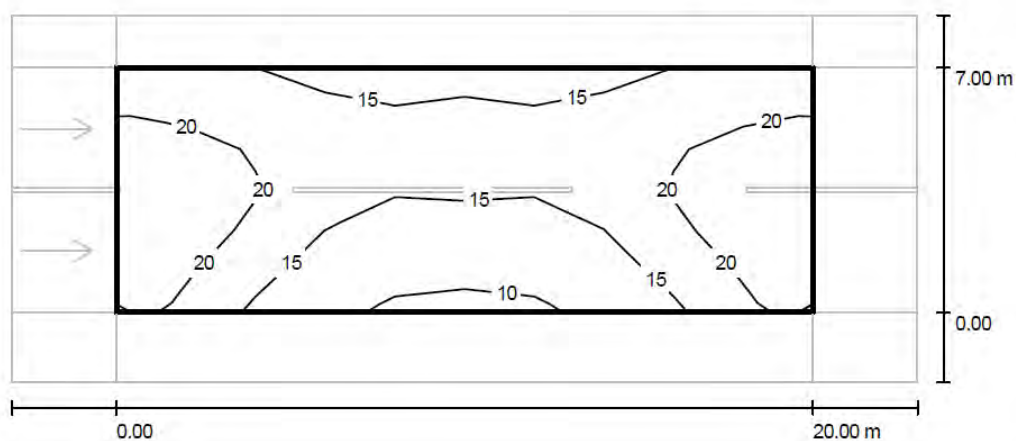
Valori reali calcolati:

Valori nominali secondo la classe:

Rispettato/non rispettato:

E_m [lx]	E_{min} [lx]
12.41	8.26
≥ 10.00	≥ 3.00
✓	✓

via Roma / Carreggiata / Isolinee (E)

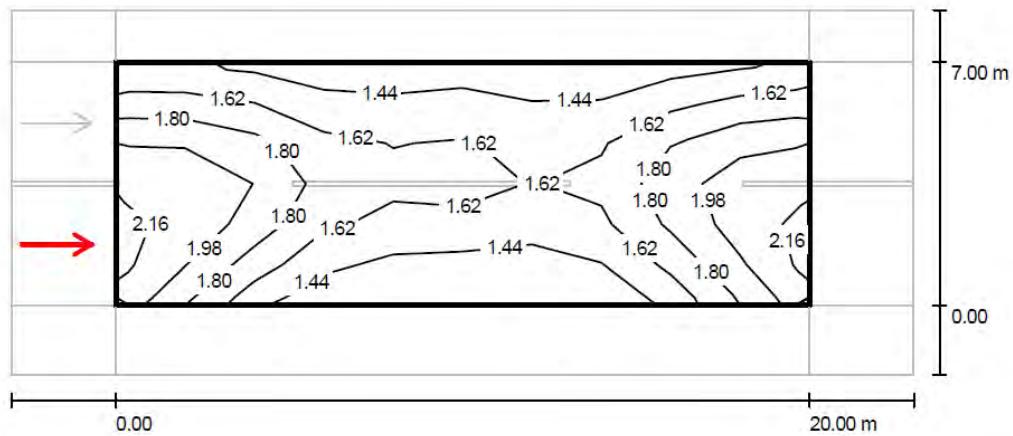


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
17	9.86	24	0.576	0.412

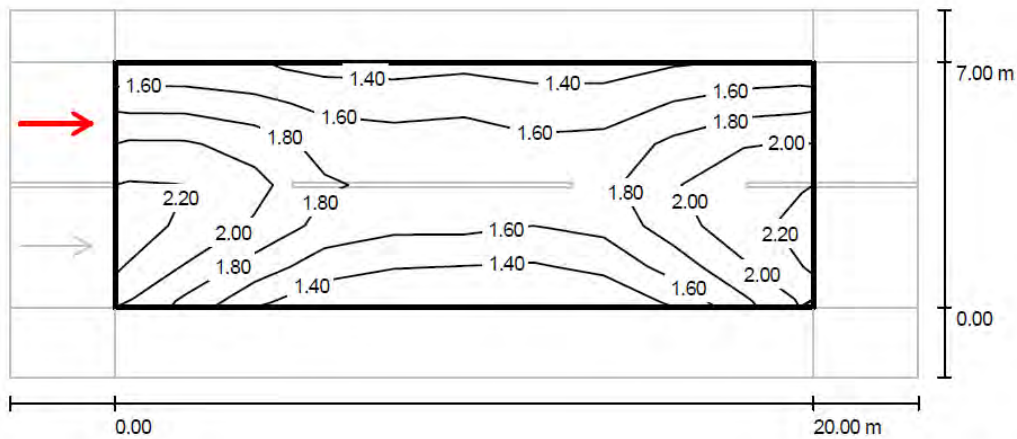
via Roma / Carreggiata / Osservatore 1 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 1.750 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.69	0.75	0.66	6
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Carreggiata / Osservatore 2 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 5.250 m, 1.500 m)

Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.73	0.72	0.81	6
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 1 / Isolinee (E)

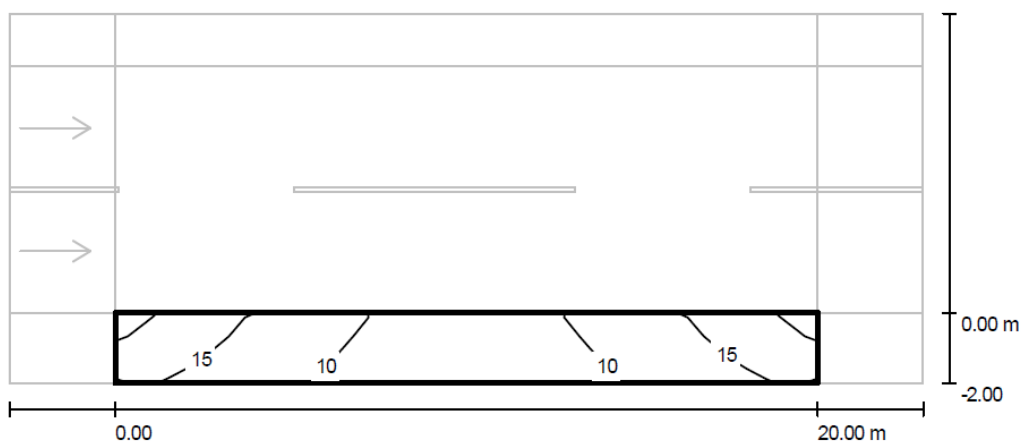


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
13	11	15	0.879	0.741

via Roma / Campo di valutazione Pista ciclabile 2 / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	8.26	20	0.665	0.419

Via del lavoro (località: Vacil)

Verifica illuminotecnica con lampade al sodio ad alta pressione da 70 W.

- CASO DI STUDIO 1 - Verifica della rispondenza ai requisiti minimi richiesti dalla configurazione di progetto con riduzione del flusso luminoso del 12%.

via del lavoro/ Dati di pianificazione

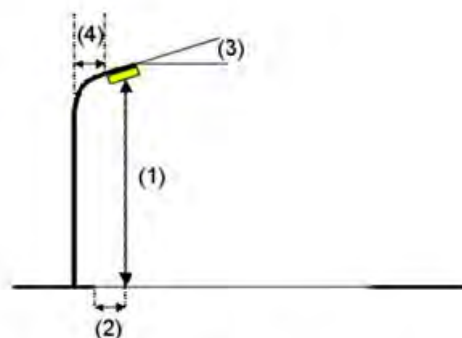
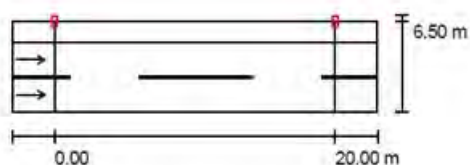
Profilo strada

Marciapiede (Larghezza: 1.500 m)

Carreggiata (Larghezza: 5.000 m, Numero corsie: 2, Manto stradale: C1, q0: 0.100)

Fattore di manutenzione: 0.80

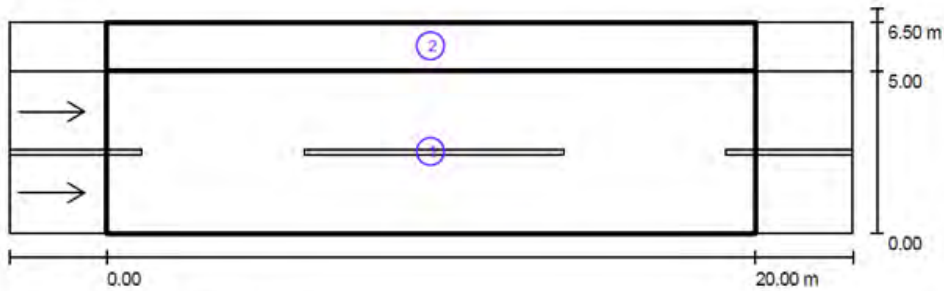
Disposizioni lampade



Lampada: Siteco 5NA55271NT72 SR 100 individual position: LPV=30, RP=2
 Flusso luminoso lampade: 4226 lm
 Potenza lampade: 67.0 W
 Disposizione: un lato, in alto
 Distanza pali: 20.000 m
 Altezza di montaggio (1): 7.800 m
 Altezza fuochi: 7.584 m
 Distanza dal bordo stradale (2): -1.500 m
 Inclinazione braccio (3): 0.0 °
 Lunghezza braccio (4): 0.000 m

Valori massimi dell'intensità luminosa
 per 70°: 474 cd/klm
 per 80°: 16 cd/klm
 per 90°: 0.00 cd/klm
 Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.
 Nessuna intensità luminosa superiore a 90°.
 La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G4.
 La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.

via del lavoro / Risultati illuminotecnici



Fattore di manutenzione: 0.80

Scala 1:186

Lista campo di valutazione

- 1 Carreggiata
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 5.000 m
 Reticolo: 10 x 6 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Carreggiata.
 Manto stradale: C1, q0: 0.100
 Classe di illuminazione selezionata: ME3c

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valori reali calcolati:	1.19	0.67	0.71	7	0.70
Valori nominali secondo la classe:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

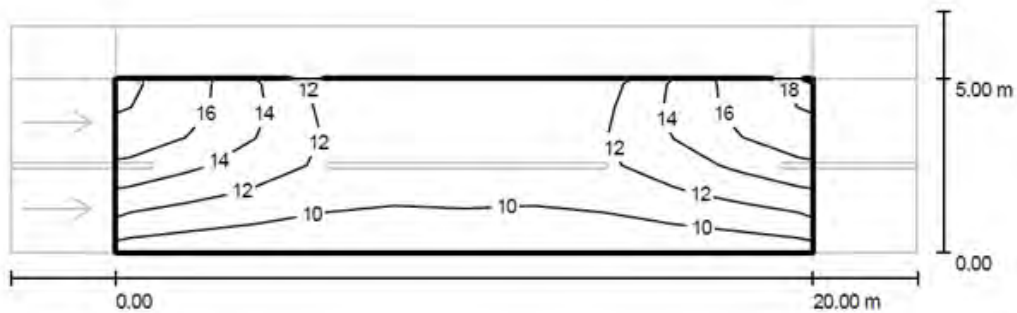
Lista campo di valutazione

- 2 Marciapiede
 Lunghezza: 20.000 m, Larghezza: 1.500 m
 Reticolo: 10 x 3 Punti
 Elementi stradali corrispondenti: Marciapiede.
 Classe di illuminazione selezionata: S2

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati.)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	11.44	7.44
Valori nominali secondo la classe:	≥ 10.00	≥ 3.00
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

via del lavoro / Carreggiata / Isolinee (E)

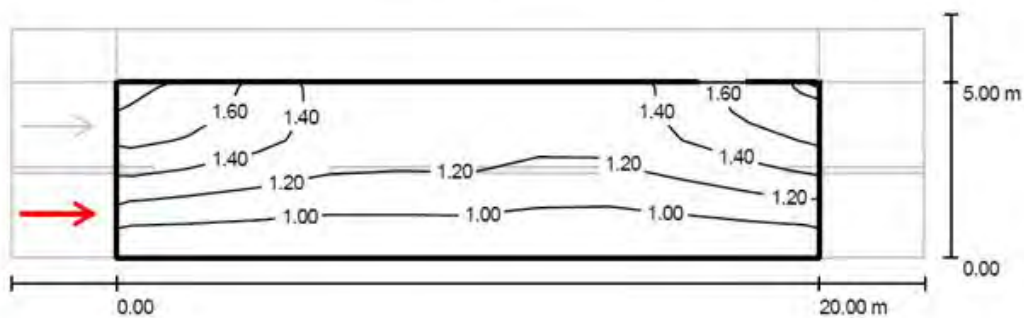


Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
12	8.67	18	0.719	0.487

via del lavoro / Carreggiata / Osservatore 1 / Isolinee (L)

Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

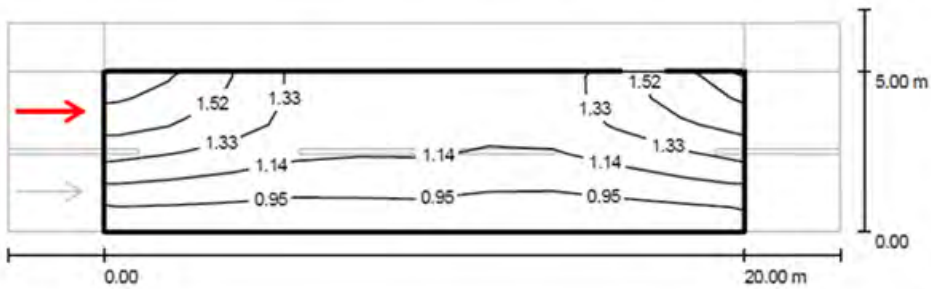
Reticolo: 10 x 6 Punti

Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 1.250 m, 1.500 m)

Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.22	0.67	0.87	3
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via del lavoro / Carreggiata / Osservatore 2 / Isolinee (L)

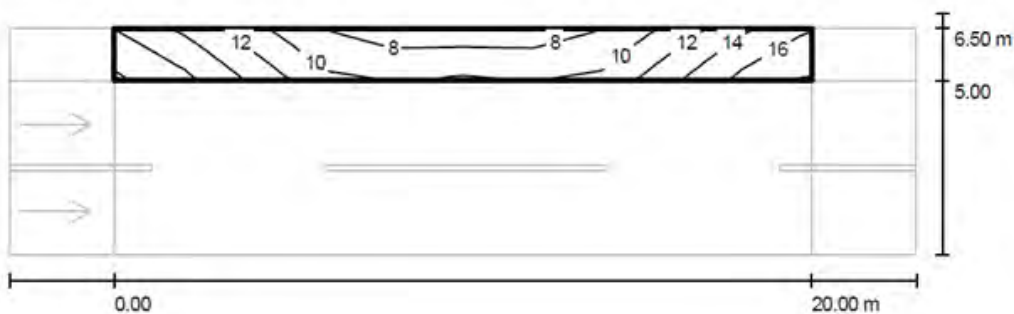


Valori in Candela/m², Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 6 Punti
 Posizione dell'osservatore: (-60.000 m, 3.750 m, 1.500 m)
 Manto stradale: C1, q0: 0.100

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valori reali calcolati:	1.19	0.68	0.71	7
Valori nominali secondo la classe ME3c:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓

via del lavoro / Marciapiede / Isolinee (E)



Valori in Lux, Scala 1 : 186

Reticolo: 10 x 3 Punti

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
11	7.44	17	0.650	0.436

APPENDICE D

Legislazione e normativa

D.G.R. n. 1421 del 05 agosto 2014

Programma Attuativo Regionale del Fondo per lo Sviluppo e la Coesione 2007 - 2013. Attuazione Asse prioritario 1 - Atmosfera ed Energia da fonte rinnovabile. Linea di intervento 1.1 Riduzione dei consumi energetici e efficientamento degli edifici pubblici - Approvazione bandi per la selezione degli interventi finanziabili.

D.G.R. n. 3173 del 10 ottobre 2006

Nuove disposizioni relative all'attuazione della direttiva comunitaria 92/43/CEE e D.P.R. 357/1997. Guida metodologica per la valutazione di incidenza. Procedure e modalità operative.

D.G.R. n. 2299 del 9 dicembre 2014

Nuove disposizioni relative all'attuazione della direttiva comunitaria 92/43/Cee e D.P.R. 357/1997 e ss.mm.ii. Guida metodologica per la valutazione di incidenza. Procedure e modalità operative.

Direttiva 2009/147/CE

Conservazione degli uccelli selvatici

L.R. n. 17 del 07 agosto 2009

Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici.

Norma CEI 315-4:2012

Guida all'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica: aspetti generali.

Norma UNI EN 13201-2:2004

Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali.

Norma UNI 11248:2012

Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche.

Regolamento (CE) N. 245/2009

Modalità di esecuzione della direttiva 2005/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile di lampade fluorescenti senza alimentatore integrato, lampade a scarica ad alta intensità e di alimentatori e apparecchi di illuminazione in grado di far funzionare tali lampade, e che abroga la direttiva 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio.

Regolamento (CE) N. 347/2010

Modifica del regolamento (CE) n. 245/2009 della Commissione per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile di lampade fluorescenti senza alimentatore integrato, lampade a scarica ad alta intensità e alimentatori e apparecchi di illuminazione in grado di far funzionare tali lampade.

Bibliografia

- ABB S.p.A. – *Su misura. Guida pratica alle misure elettriche nei quadri di bassa tensione*; giugno 2012
- Assil, Associazione Nazionale Produttori Illuminazione – *Guida al Regolamento (CE) n. 245/2009, modificato dal Regolamento (CE) n. 347/2010, sui prodotti per l'illuminazione del settore terziario* – II Ed.; Ottobre 2010
- Bisegna, Gugliermetti, Barbalace, Monti – *Confronto tra software illuminotecnici*; Report Rds/2010/237 ENEA
- Bisegna, Gugliermetti, Barbalace, Monti - *Stato dell'arte dei LED (Light Emitting Diodes)*, Report Rds/2010/238 ENEA
- Bisegna, Barbalace, Gugliermetti, Monti – *Metodologie di progettazione e valutazione di sistemi di illuminazione pubblica*; Report Rds/2010/239 ENEA
- Carrescia, Gaia, Marchetti, Nanni, Ricci, Sabino, Tannoia, Vienna – *Le guide blu 6: Illuminazione esterna*; marzo 2006
- Di Fraia Luciano, *Storia della luce e dell'illuminazione* in “Atti del Primo Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria”; 8-9 marzo 2006
- Documentazione I-Illumination (Power-One)
- DUCATI energia S.p.A. – *SMART Più, Manuale utente*; gennaio 2003
- Dughiero, *Appunti del corso di tecnologie fotovoltaiche*; A.A. 2012/2013
- Favaretti – *Incremento della Prestazione Energetica degli Edifici attraverso l'Uso Efficiente dell'Illuminazione Artificiale e lo Sfruttamento Intensivo della Luce Naturale - Il caso di un istituto scolastico nel Pordenonese*; Tesi di Laurea in Ingegneria Energetica, Politecnico di Milano; A.A. 2010/2011
- Fellin, Forcolini, Palladino - *Manuale di Illuminotecnica*, 1999
- Fiorentin prof. Pietro – *Appunti del corso di illuminotecnica e fotometria*; 2013
- Giani – *I colori del crepuscolo*; novembre 2010
- Grattieri, Menga – *Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica Illuminazione*; 2012
- Guerra – *Convegno Enea su Risparmio Innovazione Risorse del 4 aprile 2014, “L'innovazione tecnologica a sostegno della gestione ed integrazione dei servizi”, (Power-One)*; 2014

Hilti Corporation – *PD 32 Operating Instructions*; 2004

I-Illumination – *Risparmio energetico, efficienza e controllo dei costi nella Pubblica illuminazione*; Febbraio 2013

I-Illumination, *The most complete street lighting solution - Installation Guide*, ABB – *Power One*

Lazzerini – *Sistemi aperti e sistemi proprietari*; 2011

Low Frequency, Narrowband PLC Standards for Smart Grid –*The PLC Standards Gap! Don Shaver TI Fellow Director, Communications and Medical Systems Laboratory Texas Instruments Incorporated*; 2009

Mazzoldi, Nigro, Voci – *Fisica Vol. II: Elettromagnetismo e Onde*; EdiSES 2007

Nicolini – *Illuminotecnica*, Università degli Studi di Perugia

Palladino, *Manuale di Illuminazione*, 2005

Pedrotti – *Il LED: cos'è e come funziona. Introduzione al mondo dei LED: principio di funzionamento, caratteristiche tecniche, fotometriche e colorimetriche*, Padova 23 marzo 2013

Philips – *Corso di illuminotecnica*, Grandezze e unità di misura

Philips – *Manuale di illuminotecnica di base*

Quaderni di applicazione tecnica N. 9, *La comunicazione via bus con gli interruttori ABB*

Rizzo – *Analisi dello stato dell'arte nazionale ed internazionale dei sistemi integrati di illuminazione naturale/artificiale in relazione all'involucro edilizio nel caso di edifici del terziario e abitativi, ai fini di un loro impiego nell'ambito della certificazione energetica degli edifici*, Report RSE/2009/14

Rocchi – *Sistemi di comunicazione a onde convogliate: Studio e analisi comparativa*, Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica e delle Comunicazioni, Università di Bologna; A.A. 2011/2012

Sassi – *Il De anima nel quadro del pensiero aristotelico*

Sicilia, Di Monaco, Lecca, Iannotti, Iannotti, Sibilia, Nanni, Donadio, Filippetti, De Angeli, Tremadio – *Linee guida operative per la gestione degli impianti di illuminazione pubblica*, Ancitel Energia&Ambiente S.r.l.; gennaio 2013

Simionato Giuliano – *Breda di Piave: Vita e storia di un Comune*; 2002

Sutterlin, Downey – *A Power Line Communication Tutorial: Challenges and Technologies*

Sitografia

ftp://ftp.dpn.minambiente.it/Natura2000/TrasmissioneCE_2013/schede_mappe/VenVen/SIC_schede/Site_IT3240030.pdf, ottobre 2013

ftp://ftp.dpn.minambiente.it/Natura2000/TrasmissioneCE_2013/schede_mappe/VenVen/SIC_schede/Site_IT3240033.pdf, ottobre 2013

ftp://ftp.dpn.minambiente.it/Natura2000/TrasmissioneCE_2014/schede_mappe/VenVen/ZPS_schede/Site_IT3240023.pdf, ottobre 2013

<http://blog.gianlucatrantomontana.it/2014/01/teoria-del-colore-terminologia-e-concetti/>

<http://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioLegge.aspx?id=217634>, agosto 2009

http://decapoa.altervista.org/librodifisica/index.php?cp=24_Luce, novembre 2014

<http://treviso.consorziobimpiave.bl.it/SITI/>, ottobre 2014

<http://www.aecilluminazione.it/catalogo/serie-italo/italo>, ottobre 2014

<http://www.aecilluminazione.it/catalogo/urbano/soled>, ottobre 2014

http://www.arch.unige.it/did/12/architettura/terzo0708/fisicatecnica/capitoli/cap8_II.pdf, novembre 2014

<http://www.comune.bredadipiave.tv.it/>, ottobre 2014

http://www.dial.de/DIAL/fileadmin/download/dialux/wissen/Dx4_Rechenkern_eng.pdf, novembre 2014

<http://www.energiaenergetica.enea.it/politiche-e-strategie-1/politiche-e-strategie-in-europa-1/strumenti-di-indirizzo/direttive-ecodesign.aspx>, agosto 2013

<http://www.eldesinstruments.it/prodotti/ambiente/ELD9010/ELD9010.htm>, gennaio 2015

http://www.elenet.altervista.org/Elettrotecnica/Luce_fotometrie.html, 2008

<http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/universe/univuniv.html>, dicembre 2014

http://www.ilcamicebianco.com/articoli_medicina/2006100209421883118077.php, novembre 2014

<http://www.lampotech.co.uk/Documents/SO%20Spectral.htm>, novembre 2011

<http://www.luxemozione.com/2007/07/cara-vecchia-lampada-ad-incandescenza.html>, luglio 2007

<http://www.luxemozione.com/2008/01/neon-no-lampade-fluorescenti-principio.html>, gennaio 2008

<http://www.luxemozione.com/2008/05/colori-a-tutto-gas-catodi-freddi-parte-1.html>, maggio 2008

<http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>, ottobre 2014

<http://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>, ottobre 2014

<http://www.paolodelbo.it/occhio.html>, novembre 2014

http://www.powereetimes.com/en/ledsolutionfort8tube.html?cmp_id=71&news_id=222290417&page=1, gennaio 2015

<http://www.regione.veneto.it/web/vas-via-vinca-nuvv/normativa-regionale-2006>

<http://www.rpolillo.it/faciledausare/Cap.4.htm>, novembre 2014

<http://www.venetoagricoltura.org/content.php?IDSX=2&SIDSX=101>, gennaio 2010

<http://zaro41.wordpress.com/2010/11/12/ipotesi-bioplasmoidi-lampade-fluorescenti-contaminazione-da-mercurio-in-casa-gd-14/>, novembre 2010

<https://arching.wordpress.com/tag/curve-fotometriche/>, agosto 2009

<https://www.youtube.com/watch?v=z55566ep0Hg#t=37>, febbraio 2012

Ringraziamenti

Ringrazio il Prof. Arturo Lorenzoni per la disponibilità concessami, per i suoi preziosi consigli e per la sempre puntuale presenza accordatami.

Ringrazio l'azienda Eurogroup S.p.A. nel suo complesso per avermi dato l'opportunità, al giorno d'oggi certamente non scontata, di confrontarmi sin da subito con il lavoro, frutto della scelta da me effettuata poco più di cinque anni fa, e di proseguire tuttora nel cammino insieme intrapreso, permettendomi di attingere in misura sempre maggiore alla professionalità e all'umanità di tutte le persone che la compongono.

Un sentito grazie alla mia famiglia per avermi dato la possibilità di raggiungere questo importante traguardo, ma soprattutto per il sostegno e l'affetto infusi in ogni istante della mia vita.

Infine, desidero ringraziare colei senza la quale questi ultimi cinque anni non sarebbero mai stati gli stessi.