

Efficienza energetica nell'illuminazione esterna di grandi aree

Marco Turatti

ottobre 2010

Indice

1	Analisi dell'impianto attuale	4
1.1	Utilità e disposizione impianto	4
1.2	Lampade al mercurio	4
1.3	Analisi del carico	6
2	Analisi illuminotecnica	13
2.1	Situazione normativa	13
2.2	Scelta dei valori illuminotecnici per aree	13
2.2.1	Strade adiacenti	13
2.2.2	Parcheggi	14
2.3	Requisiti finali	15
3	Soluzioni di progetto	16
3.1	Scelta degli apparecchi illuminanti	16
3.1.1	Curve fotometriche	16
3.1.2	Scelta delle sorgenti	17
3.2	Tipi di soluzioni	21
3.3	Soluzione al sodio AP da 250W	21
3.4	Soluzione al sodio AP da 150W	25
3.5	Soluzione a LED	27
3.6	Soluzione LED integrata	33
3.7	Soluzione sodio-LED integrata	35
4	Analisi energetica	43
4.1	Miglioramento efficienza energetica	43
4.1.1	Alimentatori elettronici	43
4.1.2	Regolatori di flusso luminoso	44
4.1.3	Sensori di luminosità	45
4.2	Scenari di accensione	46
4.3	Analisi energetica tra le soluzioni	46
4.4	Soluzioni ottimali e risparmio energetico	47

5	Analisi economica	56
5.1	Costi installazione nuovo impianto	57
5.2	Costi di manutenzione	58
5.3	Costi consumi energetici	59
5.4	Confronto economico delle soluzioni	61
A	Tabelle normativa UNI 11248	65
B	Definizioni illuminotecnica e fotometria	69
C	Sorgenti al sodio	73
D	Regolazione del flusso luminoso	76
E	LEGGE REGIONALE 7 agosto 2009, n. 17	79

Introduzione

È stato svolto uno studio per valutare e confrontare le possibili soluzioni illuminotecniche, per poter revisionare in ottica di efficienza energetica un impianto di illuminazione esterna molto esteso, riguardante i parcheggi e le strade di accesso di un ospedale.

In un primo momento stato preso in considerazione lo stato attuale dell'impianto, valutando i tipi di apparecchi illuminanti, la loro disposizione e potenza.

Successivamente sono stati definiti i requisiti illuminotecnici in conformità con le normative vigenti, e proposte diverse soluzioni progettuali con funzionalità e sorgenti luminose diverse (in particolare a LED e sodio).

Nella fase conclusiva sono state confrontate le proposte sia in termini di consumi energetici, associati ai diversi scenari di utilizzo, sia in termini economici per poter definire quale sia la soluzione tecnico-economica migliore per l'efficienza energetica.

Capitolo 1

Analisi dell'impianto attuale

Questo progetto di studio prende in analisi un impianto di illuminazione esistente, proponendo delle soluzioni di revisione alternative rispetto alla situazione attuale, in ottica di efficienza energetica e nel rispetto delle normative vigenti.

1.1 Utilità e disposizione impianto

Il parcheggio esterno dell'Ospedale, con superficie di circa $20000m^2$ è suddiviso in due parti, il primo parcheggio ha l'accesso direttamente dalla portineria principale, il secondo invece è collegato con l'ingresso da due strade a senso unico, una per entrare e l'altra per uscire, che portano al pronto soccorso e agli edifici posteriori dell'ospedale. In fig.1.1 è riportata la cartina con la disposizione dei parcheggi e le strade appena descritte.

All'interno dei due parcheggi sono distribuite 5 torri faro (tre nel primo e due nel secondo) alte 25m; in ognuna di queste sono installati 12 apparecchi illuminanti al mercurio da 400W per un totale di 60 punti luce con una potenza complessiva di 24kW nominali. Le torri sono disposte in modo da illuminare nel modo più uniforme possibile sia i parcheggi che le strade limitrofe di ingresso e uscita; la portineria viene illuminata in modo assestante.

1.2 Lampade al mercurio

Gli attuali apparecchi illuminanti al mercurio sono stati banditi dal commercio come riporta la **DIRETTIVA 2002/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO** del 27 gennaio 2003 *sulla restrizione dell'uso di determinate sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche*

Articolo 4: *A partire dal 1 luglio 2006 gli Stati membri provvedono affinché le apparecchiature elettriche ed elettroniche nuove*

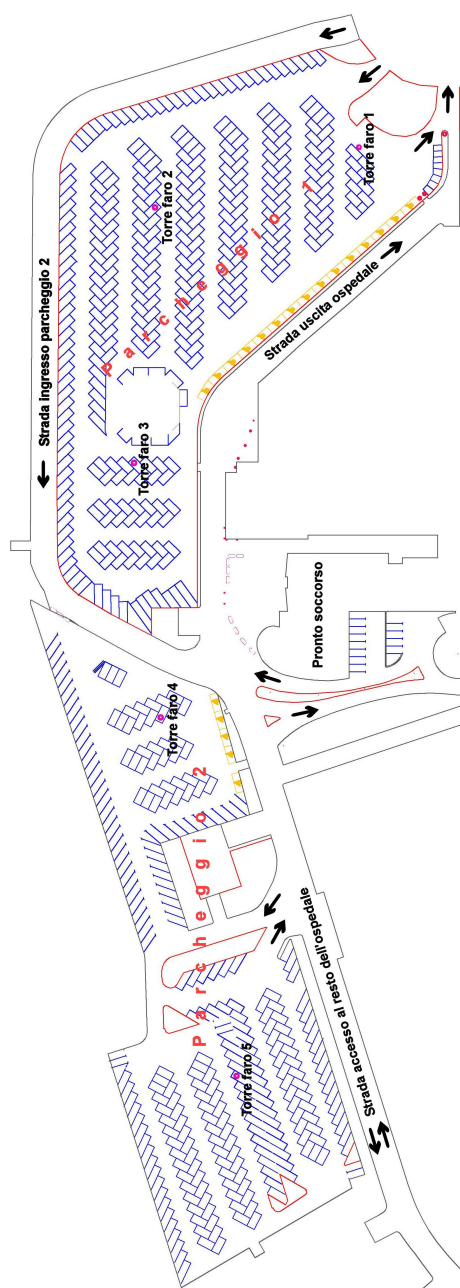


Figura 1.1: Cartina ospedale

immesse sul mercato non contengano piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, bifenili polibromurati (PBB) o etere di difenile polibromurato (PBDE). Fino al 1 luglio 2006 è possibile mantenere le misure nazionali volte a limitare o vietare l'uso di dette sostanze nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche adottate per ottemperare alla normativa comunitaria prima dell'adozione della presente direttiva.

Tale direttiva va applicata alle apparecchiature elettriche ed elettroniche descritte nell'articolo 2¹, ha efficacia immediata (articolo 1²) con lo scopo di:

Articolo 1: *...ravvicinare le legislazioni degli Stati membri sulle restrizioni dell'uso di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche e a contribuire alla tutela della salute umana nonché al recupero e allo smaltimento ecologicamente corretto dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.*

Le lampade al mercurio allo stato attuale non hanno quindi futuro, sia per i vincoli posti dalla normativa, sia per la loro scarsa efficienza ed arretratezza, sia per gli elevati costi di smaltimento che eliminano il risparmio dovuto al loro basso costo. Si cercheranno quindi delle sorgenti sostitutive a maggiore efficienza, come ad esempio quelle al sodio ad alta pressione (80-100lm/W) che garantiscono anche una discreta resa cromatica (intorno ai 60), e maggiore adattabilità alle condizioni d'uso dell'impianto come ad esempio i LED.

1.3 Analisi del carico

Tutti gli apparecchi installati sulle torri fanno riferimento a un quadro elettrico principale a loro dedicato e vengono regolati da un crepuscolare il quale permette l'accensione al calar del sole e lo spegnimento all'alba dei corpi illuminanti per poter illuminare l'area di accoglienza all'ospedale per tutta la durata della notte. Data la forte necessità nell'abbattere il consumo energetico di questa porzione d'impianto sono state eseguite delle misure al quadro, durante l'arco di un'intera giornata di maggio. Tali misure sono state eseguite con uno strumento elettronico il quale ha registrato le seguenti grandezze ogni 15 minuti:

- potenza apparente, attiva e reattiva totale

¹ "Fatto salvo l'articolo 6, la presente direttiva si applica alle apparecchiature elettriche ed elettroniche che rientrano nelle categorie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10 dell'allegato I A della direttiva 2002/96/CE (RAEE) nonché alle lampade ad incandescenza e ai lampadari delle abitazioni."

² "La presente direttiva entra in vigore il giorno della pubblicazione nella Gazzetta ufficiale dell'Unione europea."

- potenza apparente, attiva e reattiva di ogni fase
- $\cos\varphi$ terna di tensioni, terna di correnti
- THD di tensione e di corrente
- armoniche 3a, 5a, 7a e fondamentale di corrente

Il carico come riportato in fig.1.2 ha due picchi di potenza reattiva di tipo induttivo al momento dell'accensione (alle ore 19:00 circa) e spegnimento (alle ore 6:20 circa) per una durata media di 15 minuti, dovuti al reattore delle lampade (necessario per l'innesco e il disinnesco della scarica). Durante la notte il carico si può considerare praticamente resistivo con un valor medio di potenza attiva che si aggira intorno ai 26kW (leggermente superiore ai valori nominali a causa delle perdite d'impianto e alla minore efficienza delle lampade).

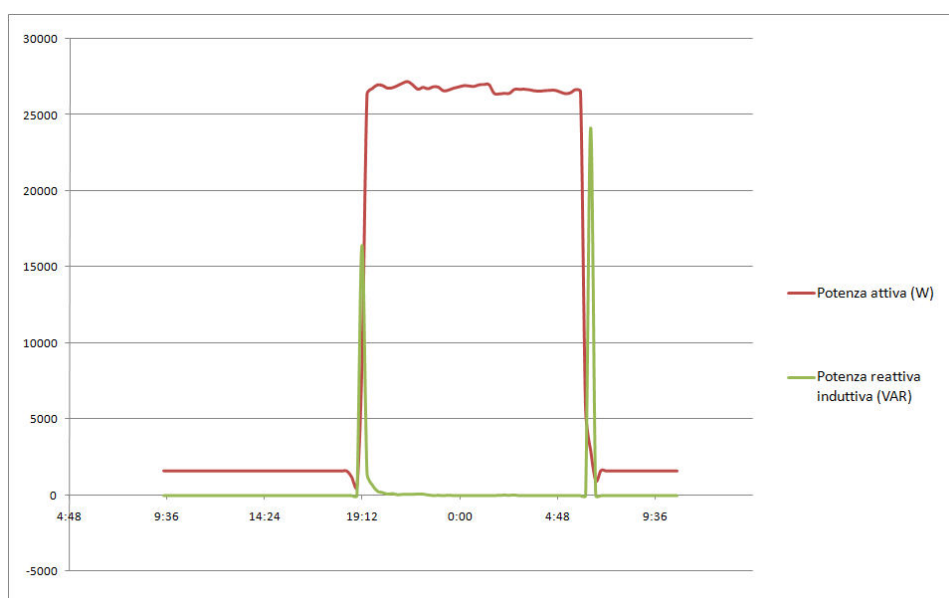


Figura 1.2: Grafico con la potenza attiva e reattiva totale

Il carico risulta essere leggermente squilibrato come riportato in fig.1.3 e fig.1.4

Le tensioni delle tre fasi restano pressoché costanti, entro il 2% del loro valor medio che si aggira intorno ai 231V (fig.1.5)

La corrente di neutro, risulta essere poco al di sotto dei valori delle correnti di fase (fig.1.6 e fig.1.7)

L'impianto presenta un notevole contenuto armonico sia di 3a che 5a e 7a, lo si può vedere sia nelle singole correnti di fase (fig.1.8,1.9 e 1.10) che nel THD complessivo (fig.1.11)

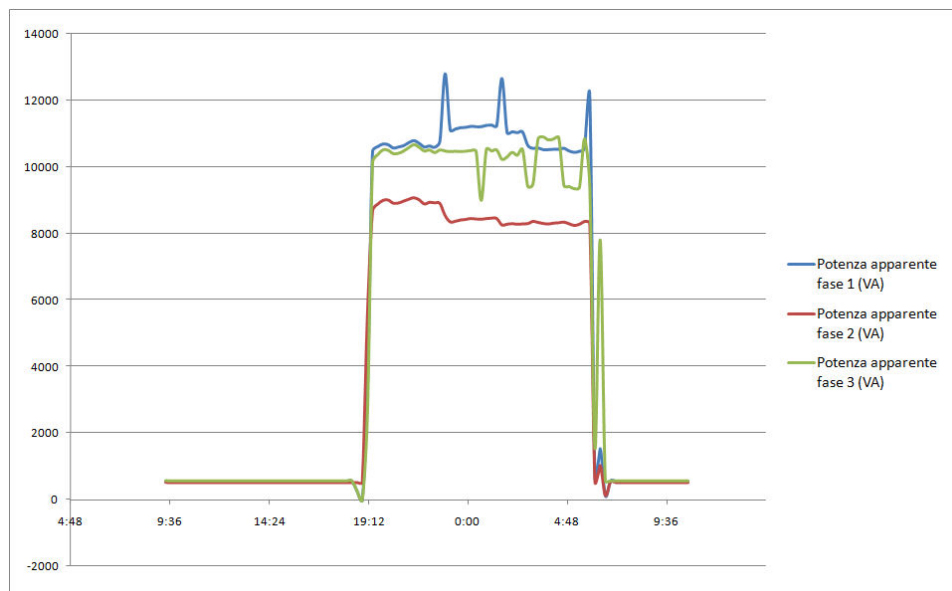


Figura 1.3: Grafico potenza apparente nelle tre fasi

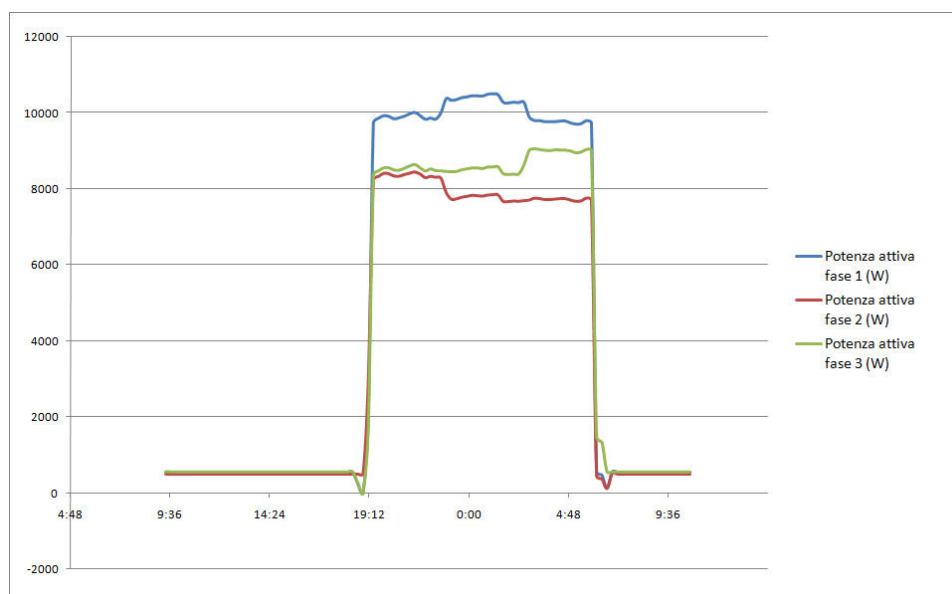


Figura 1.4: Grafico potenza attiva delle 3 fasi

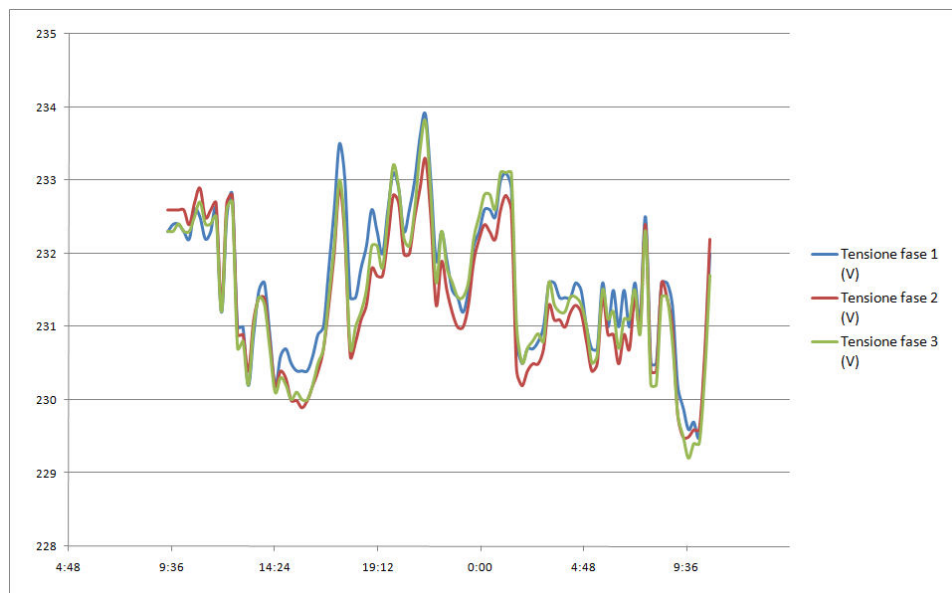


Figura 1.5: Grafico delle tensioni nelle tre fasi

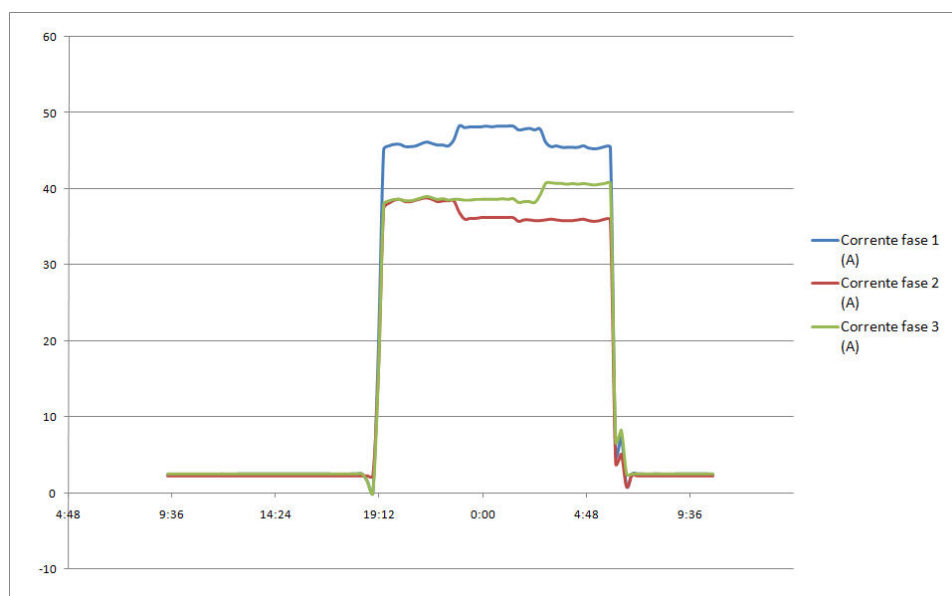


Figura 1.6: Correnti delle tre fasi

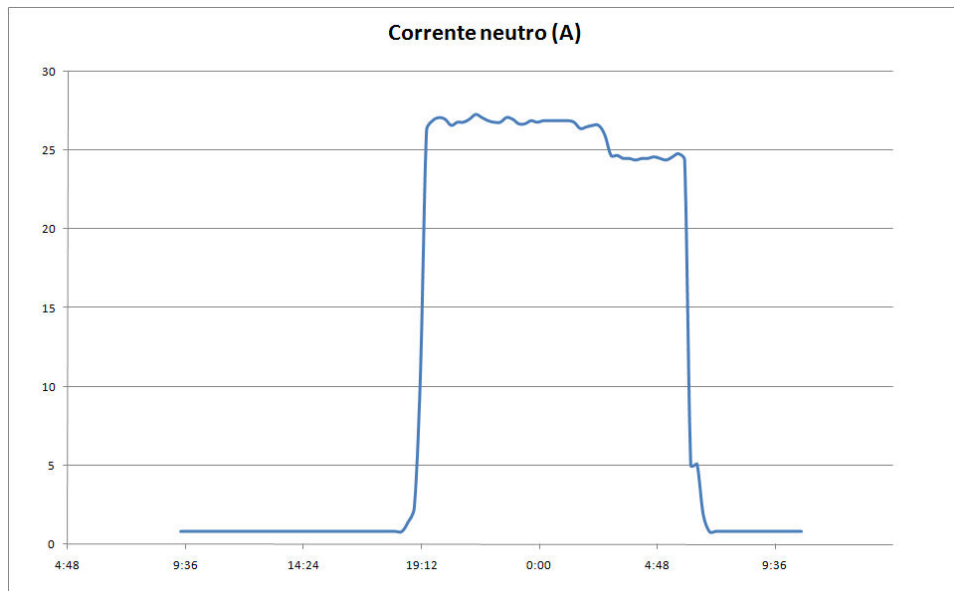


Figura 1.7: Corrente di neutro

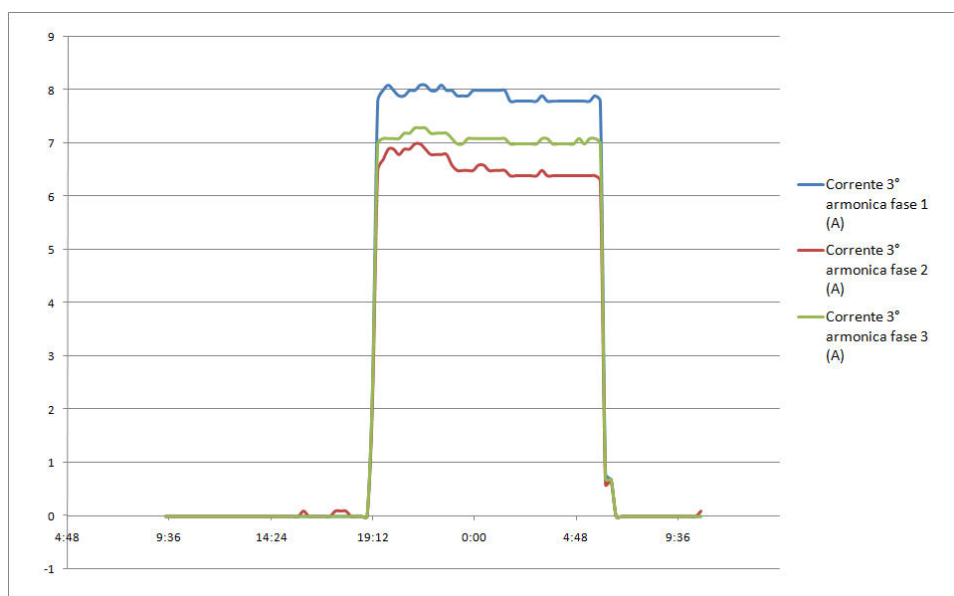


Figura 1.8: Correnti di 3a armonica

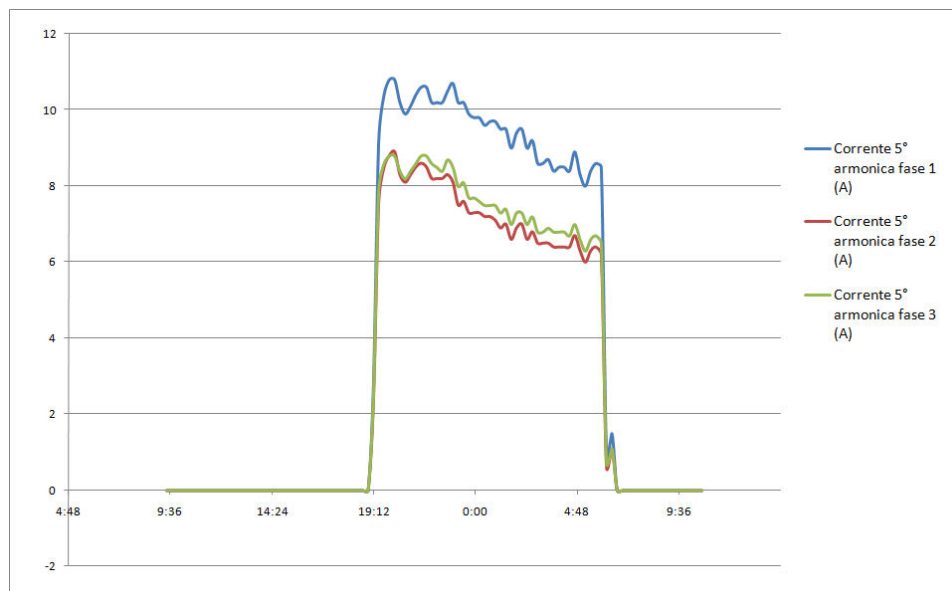
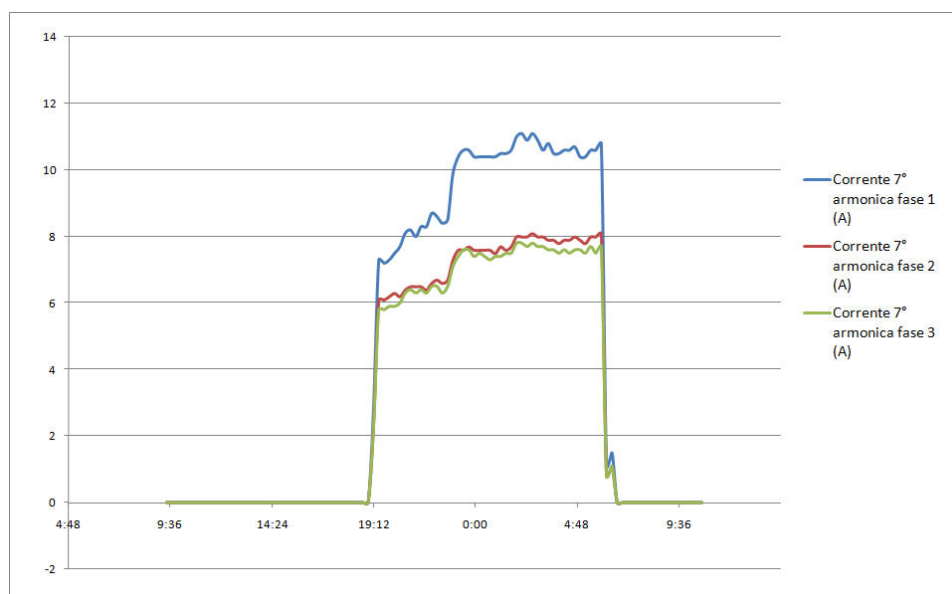
**Figura 1.9:** Correnti di 5a armonica**Figura 1.10:** Correnti di 7a armonica



Figura 1.11: THD delle correnti di fase

Capitolo 2

Analisi illuminotecnica

2.1 Situazione normativa

Vengono ora prese in analisi tre diverse normative:

- UNI 11248 “Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche”
- UNI EN 13201-2 “Illuminazione stradale - Requisiti prestazionali”
- UNI EN 12464-2 “Illuminazione dei posti di lavoro - Posizioni di lavoro in esterno”

La UNI 11248 è un aggiornamento della precedente norma UNI 10439 e prevede la distinzione dei vari tipi di strada definendo delle categorie illuminotecniche; la UNI EN 13201-2 invece definisce quali siano i valori prestazionali illuminotecnici delle varie categorie (definite nella precedente norma); infine la UNI EN 12464-2 che specifica i requisiti illuminotecnici per i posti di lavoro in esterno, considerando i compiti visivi più abituali. Nel progetto in analisi si è scelto di utilizzare le prime due normative per lo studio delle strade di ingresso e uscita e la UNI EN 12464-2 per i parametri illuminotecnici dei parcheggi (in tale normativa infatti si fa riferimento esplicito alle aree di parcheggio). Data la somiglianza dei requisiti trovati nei due filoni normativi, la necessità di limitare le diversità illuminotecniche tra zone adiacenti (come previsto dalle stesse norme) e la complessità del compito visivo, si è deciso di uniformare i livelli così trovati ad un unico livello prestazionale per l'intera area di studio.

2.2 Scelta dei valori illuminotecnici per aree

2.2.1 Strade adiacenti

Le strade in ingresso e uscita sono a senso unico ed hanno una velocità di percorrenza che al massimo può raggiungere i 30km/h; per tali motivi, in

riferimento alla classificazione delle strade riportate nella normativa (vedere appendice A), si scelto di caratterizzare tali strade come “Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30” corrispondenti alla categoria illuminotecnica di riferimento CE4. Per passare alla categoria illuminotecnica di progetto bisogna valutare eventuali variazioni dei parametri di influenza rispetto a quelli definiti per il tipo di strada: le caratteristiche specifiche di un tratto di strada, che sono significative sul piano illuminotecnico, e quindi influiscono sui requisiti illuminotecnici, sono indicate dalla norma come “parametri di influenza”; per ogni tipo di strada sono definiti i valori di default di tali parametri, sta al progettista valutare eventuali modifiche di tali valori e definire quindi una categoria di progetto diversa rispetto quella di riferimento (vedere appendice A). Nel caso in specifico (strada di tipo F) i valori dei parametri di influenza sono:

- flusso di traffico: massimo
- complessità del compito visivo: normale
- zona di conflitto: assente
- indice di rischio aggressione: normale

rispecchiano appieno le caratteristiche delle strade, quindi si conferma la categoria CE4 come categoria sia di riferimento che di progetto. Una volta definita la categoria si passa alla determinazione dei requisiti prestazionali definiti dalla normativa UNI EN 13201-2; come si vede nella tab.2.1, che riporta i livelli di illuminamento e uniformità per le categorie di serie CE, la categoria CE4 ha un illuminamento orizzontale minimo mantenuto di 10lx e una uniformità di 0,4.

Categoria	E_{medio} [lx] (minimo mantenuto)	U_0 (minima)
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Tabella 2.1: Livelli illuminotecnici categorie CE

2.2.2 Parcheggi

Per le caratteristiche illuminotecniche riguardanti i parcheggi facciamo riferimento alla normativa UNI EN 12464-2 che fornisce delle precise indicazioni per attività e compiti visivi riguardanti le aree di parcheggio esterne, tali indicazioni sono riportate nella tab. 2.2:

Tipo di zona, compito o attività	E_{medio} [lx]	U_0	GRL	R_a
Traffico leggero, per esempio aree di parcheggio di negozi, villette a schiera e condomini; parchi ciclistici	5	0,25	55	20
Traffico medio, per esempio aree di parcheggio di supermercati, edifici per uffici, impianti industriali, complessi di edifici sportivi e polivalenti	10	0,25	50	20
Traffico intenso, per esempio aree di parcheggio delle scuole, degli edifici di culto, dei principali centri commerciali, dei principali complessi di edifici sportivi e polivalenti	20	0,25	50	20

Tabella 2.2: Livelli illuminamento aree di parcheggio

Nel caso specifico possiamo prendere come riferimento un parcheggio a traffico medio che presenta un valore di illuminamento pari a 10lx e una uniformità minima di 0,25.

2.3 Requisiti finali

Data la somiglianza dei valori illuminotecnici trovati, possiamo definire dei parametri illuminotecnici comuni sia per i parcheggi che per le strade fissando un illuminamento di 10lx e una uniformità di 0,25 minima.

Capitolo 3

Soluzioni di progetto

3.1 Scelta degli apparecchi illuminanti

Le 5 torri faro presenti all'interno dei due parcheggi sono state progettate per illuminare l'intera area di $20000m^2$ con raggi d'azione che variano dai 32 ai 62 metri rispetto la loro base, per riuscire a coprire anche le strade che si trovano all'estremità. Data l'altezza delle torri (25m) il flusso luminoso dovrà quindi arrivare a coprire un angolo molto ampio fino ai 60°; risulta quindi fondamentale scegliere delle ottiche degli apparecchi molto aperte, questo lo si può valutare studiando le curve fotometriche date dal costruttore.

3.1.1 Curve fotometriche

Le curve fotometriche costituiscono il mezzo di rappresentazione grafica della luce emessa da una sorgente luminosa. I valori dei diagrammi sono espressi in candele per 1000 lumen e si riferiscono ad una lampada di tipo normalizzato. In sede di progetto è possibile utilizzare una lampada con un valore di flusso scelto dall'utente ed adattare di conseguenza i valori del diagramma. Si definisce solido fotometrico la rappresentazione tridimensionale delle intensità luminose emesse da una sorgente (puntiforme) nello spazio. Intersecando il solido con dei piani si ottengono le "curve fotometriche". Questi piani possono essere fatti ruotare attorno ad un asse per esplorare ogni punto del solido fotometrico. Le norme CIE definiscono la modalità di rotazione dei piani a seconda dell'asse fissato per la rotazione. Una delle rappresentazioni più usate è il sistema C-x, nel quale l'asse di rotazione è l'intersezione dei piani è la verticale passante per il centro fotometrico, e "x" rappresenta l'angolo di rotazione rispetto al piano trasversale. In fig.3.1 si possono vedere le disposizioni di tali piani.

Generalmente il piano trasversale viene indicato come C0-C180 mentre quello longitudinale con C90-C270. Il diagramma riassume quindi la distribuzione dell'intensità luminosa nel piano considerato.

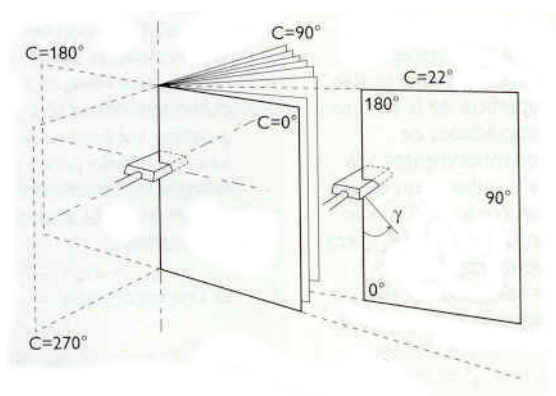


Figura 3.1: Piani fotometrici

Apparecchi che concentrano il flusso luminoso a ridosso della loro verticale avranno curve fotometriche come quella in fig.3.2, mentre apparecchi più aperti che distribuiscono il flusso anche nelle aree circostanti avranno una curva fotometrica simile a quella in fig.3.3.

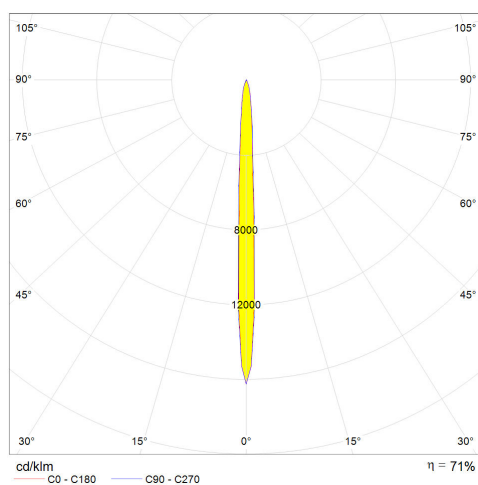


Figura 3.2: Curva fotometrica ristretta

In questo progetto data la necessit  di ricoprire angoli fino ai 60 circa, sar  necessario cercare degli apparecchi che avranno una maggiore intensit  luminosa per angoli che variano dai 40 ai 60 rispetto al piano C90-C270.

3.1.2 Scelta delle sorgenti

L'obiettivo di questo studio è quello di migliorare il pi possibile l'efficienza energetica dell'intero impianto; il primo passo per raggiungere tale scopo sta nella corretta scelta delle sorgenti luminose, tenendo in considerazione

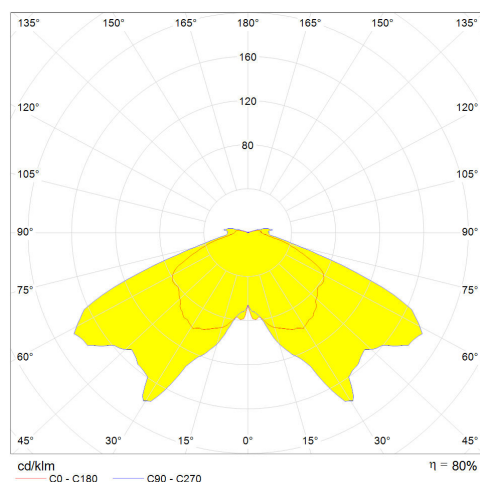


Figura 3.3: Curva fotometrica aperta

i seguenti parametri (per alcune definizioni di tali parametri si rimanda all'appendice B):

- potenza assorbita
- flusso luminoso emesso
- efficienza luminosa
- durata di vita
- costo globale del ciclo di vita (smaltimento)
- spettro d'emissione
- temperatura di colore
- indice di resa cromatica
- tempo di accensione e riaccensione

i primi cinque sono strettamente legati all'efficienza dal punto di vista energetico ed economico, i restanti servono a garantire anche un confort visivo e funzionalit nell'utilizzo di tali apparecchi. Quando si progetta un impianto infatti, si deve tenere conto sia del corretto bilanciamento energetico per garantire i livelli di illuminamento previsti dalla norma con il minimo consumo, ma anche aspetti legati al confort visivo con attenzione alla qualit e non solo alla quantit della luce.

Attualmente nel mercato esistono una moltitudine di sorgenti, alcune ormai obsolete in uscita dal mercato (es. lampade ad incandescenza e al mercurio) altre invece di nuova generazione (es. LED) o sviluppate da altre

tecnologie già esistenti (es. sodio alta ed altissima pressione). In tab.3.1 vengono riportati i parametri descritti in precedenza delle sorgenti di luce più comuni.

Osservando la tabella si possono trarre alcune considerazioni utili alla scelta della sorgente migliore:

- le sorgenti al sodio a bassa pressione, le più utilizzate in passato per applicazioni nell'illuminazione stradale, rappresentano la soluzione migliore per l'efficienza luminosa però hanno una resa cromatica praticamente nulla, cioè sono monocromatiche (colorazione gialla), queste infatti non garantiscono un confort visivo, non fanno nessuna distinzione dei colori e quindi non forniscono una luce di qualità
- le sorgenti al mercurio, come detto in precedenza, sono state bandite dal mercato, hanno un'efficienza luminosa mediocre e non permettono una regolazione del flusso luminoso che come vedremo ha un ruolo importante per ridurre i consumi e utilizzare l'impianto al meglio a seconda delle condizioni d'uso
- le sorgenti al sodio ad alta pressione rappresentano una delle soluzioni ottimali sia per l'efficienza energetica, tra le più alte, sia per la resa cromatica, notevolmente migliorata rispetto quelle a bassa pressione che le precedono dal punto di vista tecnologico
- le sorgenti al sodio ad altissima pressione sono un'ulteriore evoluzione di quelle ad alta pressione con l'obiettivo di ottenere una maggiore resa cromatica (addirittura di 80); questo però porta ad una perdita d'efficienza luminosa che cala drasticamente a 40-60lm/W. C'è infatti una stretta correlazione tra la pressione del tubo di scarica, la quantità di flusso emesso e lo spettro di emissione (associato a sua volta alla resa cromatica e alla temperatura di colore): all'aumentare della pressione si riduce il flusso migliorando però la qualità della luce (con colorazioni orientate verso il bianco)
- le sorgenti a LED hanno delle caratteristiche ottimali su più fronti: sia per l'efficienza luminosa, prossima a quelle al sodio ad alta pressione, sia per la resa cromatica che è tra le più alte; cosa ancor migliore riguarda l'alta adattabilità alle condizioni di utilizzo (ampio range di regolazione del flusso e tempi di accensione-spegnimento nulli) e la durata di vita superiore a qualsiasi altro tipo di sorgente

Per descrizioni più approfondite di alcune sorgenti al sodio si rimanda all'appendice C.

A fronte di quanto detto si è scelto di orientare la scelta sulle sorgenti al sodio ad alta pressione ed a LED. Nei prossimi paragrafi si proporranno delle soluzioni di confronto tra queste due sorgenti applicate al caso specifico di progetto.

Tipo di sorgente	Efficienza luminosa [lm/W]	Durata di vita [h]	Tempo di accensione/spegnim.	Alimentaz.	Regolazione luminosa	Resa cromatica	Temperatura di colore [K]	Applicazioni
Incandescente	5 - 15	1.000	immediato	tensione di rete	0 - 100%	100	2.700	ill. generale
Alogena	12 - 35	2.000 - 4.000	immediato	tensione di rete	0 - 100%	100	2.700	ill. generale
Fluorescente Lineare	50 - 100	10.000 - 16.000	immediato	reattore	25 - 100%	80 - 95	3.000 - 6.500	ill. generale
Fluorescente Compatta	40 - 65	6.000 - 12.000	immediato	reattore	25 - 100%	80 - 95	2.700 - 5.400	ill. generale
Induzione	60 - 80	60.000	immediato	alimentatore HF	inattuabile	70	3.000 - 4.000	postazioni di difficile manutenzione
agli Alogeni Metallici	50 - 100	6.000 - 12.000	5 - 15 min.	reattore	40 - 100%	80 - 95	2.700 - 5.400	strutture commerciali
a Mercurio	40 - 60	12.000	4 - 7 min.	reattore	inattuabile	50	3.000 - 4.200	ill. esterna e stradale
al Sodio	180 - 200	18.000	10 min.	reattore	40 - 100%	0	1.700	ill. esterna e stradale
al Sodio ad alta pressione	80 - 100	12.000 - 16.000	10 min.	reattore	40 - 100%	20 - 60	2.000	ill. esterna e stradale
al Sodio ad altissima pressione	40 - 60	6.000 - 10.000	10 min.	reattore	40 - 100%	80	3.000	ill. esterna, grandi ambienti
LED	20 - 110	10.000 - 50.000	immediato	alimentatore	0 - 100%	80 - 95	3.200 - 6.500	ill. generale e decorativa

Tabella 3.1: Caratteristiche delle sorgenti

3.2 Tipi di soluzioni

Nei successivi paragrafi vengono prese in analisi diverse applicazioni combinando apparecchi al sodio e LED; in particolare:

- una soluzione con il solo utilizzo del sodio ad alta pressione con un numero di apparecchi ridotto ma di potenza maggiore; pi vicino alla soluzione attuale; installati sulle torri faro
- una soluzione con il solo utilizzo del sodio ad alta pressione con un numero di apparecchi maggiore, pi distribuiti di minore potenza; installati sulle torri faro
- una soluzione con il solo utilizzo di moduli a LED opportunamente orientati, data la loro forte direzionalit del flusso luminoso, in modo da coprire l'intera area; installati sulle torri faro
- una soluzione con il solo utilizzo di moduli a LED suddivisi in due gruppi: una parte installati nelle torri faro per illuminare la sola area dei parcheggi e una parte lungo le strade utilizzando delle nuove palificazioni per illuminare le vie di ingresso ed uscita dei parcheggi
- una soluzione integrata tra sodio ad alta pressione e moduli a LED: gli apparecchi al sodio installati sulle torri per illuminare i soli parcheggi e i LED lungo le strade con delle nuove palificazioni per illuminare le vie di ingresso ed uscita dei parcheggi

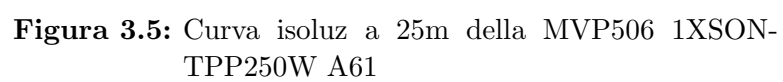
L'inclinazione dei proiettori deve essere orizzontale rispetto alla superficie secondo quanto indicato dalla nuova normativa regionale del 7 agosto 2009 (per approfondimenti vedere appendice E) Le varie soluzioni sono state simulate utilizzando il programma di calcolo CALCULUX.

3.3 Soluzione al sodio AP da 250W

Come prima soluzione si è cercato di seguire il modello d'installazione attuale, cercando di limitare i punti luce, ed avere quindi il minor numero di apparecchi possibili con potenze ovviamente superiori. Valutando diversi cataloghi di prodotti in commercio si è cercato un apparecchio con le caratteristiche illuminotecniche e curve fotometriche descritte nei precedenti paragrafi. Si è optato per la scelta di un apparecchio della Philips corrispondente alla sigla:

MVP506 1xSON - TPP250W A61

Come si vede anche dalla sigla l'ottica orienta il flusso fino ad angoli in un intorno dei 61 rispetto al piano C90-C270, la curva fotometrica è riportata in fig.3.4



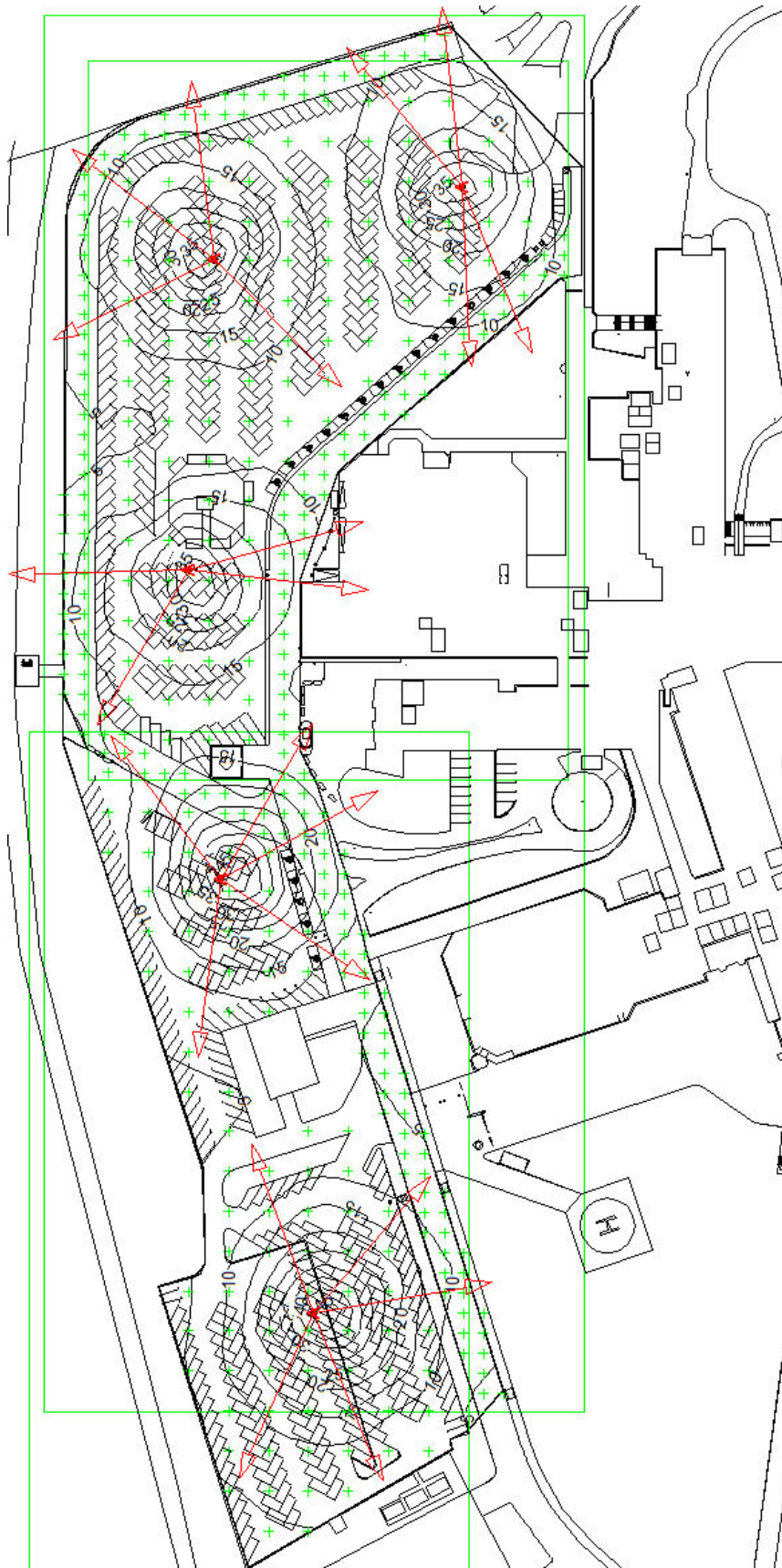


Figura 3.6: Curve isolux sodio 250W

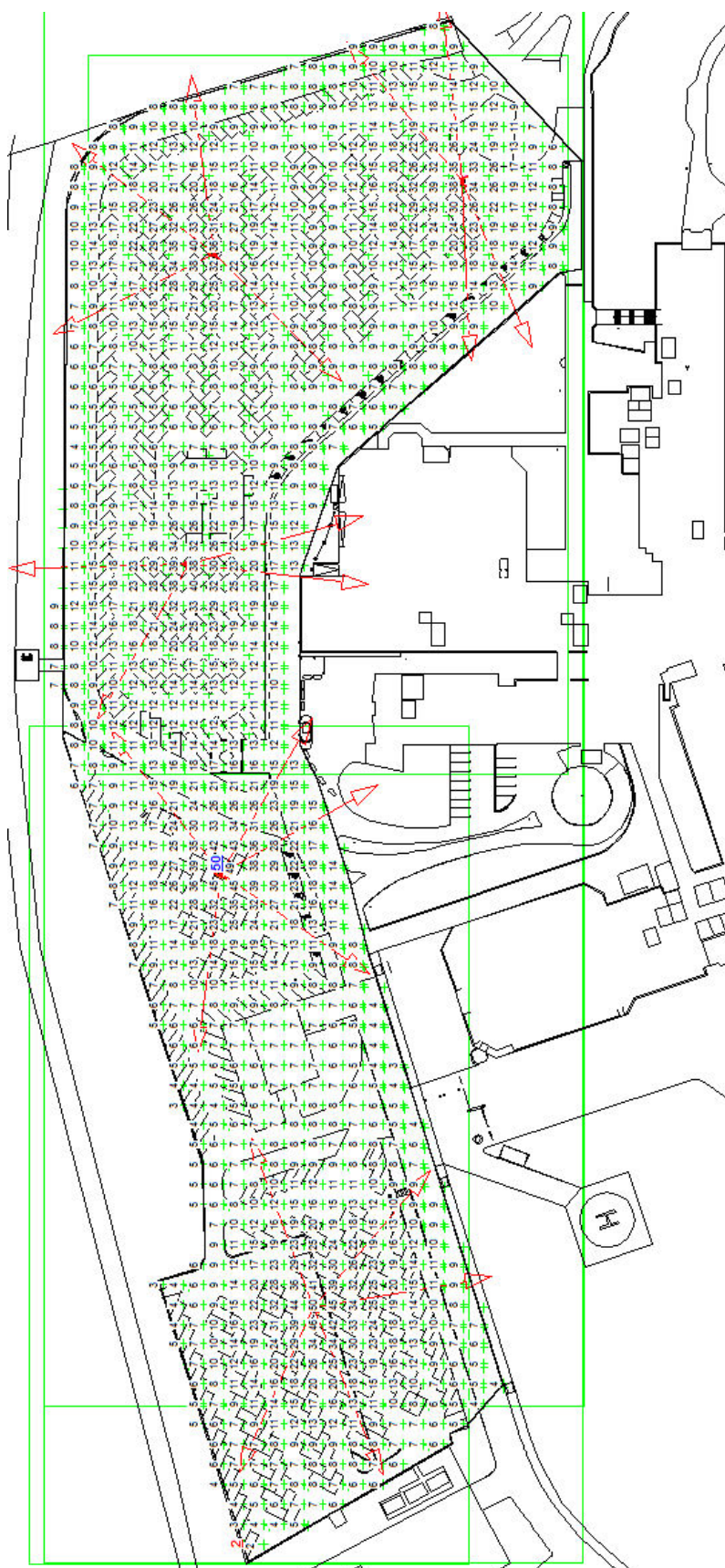


Figura 3.7: Reticolo punti illuminamento sodio 250W

Le curve isolux di un singolo apparecchio posto a 25m sono rappresentate in fig.3.5

Per ottenere i livelli di illuminamento desiderati, sono stati utilizzati 4 apparecchi per ogni torre nel parcheggio 1 e 5 apparecchi per torre nel parcheggio 2, che risulta essere maggiormente esteso in proporzione al numero di torri installate; per un totale quindi di 22 apparecchi da 250W. Il risultato delle simulazioni è rappresentato in fig.3.6, riferito alle curve isolux, e in fig.3.7, riferito al reticolo di punti. I risultati in termini di illuminamento e uniformità sono riportati in tab.3.2

	E_{medio}	E_{minimo}	$E_{massimo}$	E_{minimo}/E_{medio}
Parccheggio 1	15,1	4,6	40,1	0,30
Parccheggio 2	14,8	3,6	45,5	0,25
Strada	10,0	3,3	32,2	0,33

Tabella 3.2: Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio AP da 250W

Come si può osservare nel reticolo punti, la zona con il valore di illuminamento più basso risiede all'estremità del parcheggio 2 nella zona coperta dalla torre faro 5, in tale angolo comunque il compito visivo non risulta estremamente complesso, pertanto possiamo tollerare tale valore che rientra comunque nei valori di uniformità definiti dalla norma. In un futuro, a seconda degli sviluppi dell'ospedale, si potrà eventualmente prevedere l'installazione di un punto luce a palo specifico per innalzare i valori di illuminamento di tale angolo e di conseguenza l'uniformità dell'intero parcheggio. Una particolare attenzione è stata data alle due curve nella strada di ingresso che accede al pronto soccorso e al parcheggio 2, buona parte degli apparecchi sono infatti orientati in tale direzione. In questa soluzione la potenza installata risulta essere di 5,5kW.

3.4 Soluzione al sodio AP da 150W

In tale soluzione, a differenza della precedente, si cerca di utilizzare un maggior numero di apparecchi con potenza inferiore, per coprire in modo più specifico le aree di maggiore interesse o disposte in punti di difficile copertura per le torri faro. Anche in questo caso, valutando i cataloghi di prodotti, si è scelto un prodotto della Philips, con la seguente sigla:

MVP506 1xSON-TPP150W A/60

L'ottica è comunque sempre molto aperta in avanti fino a raggiungere angoli di 60° del piano C90-C270; la curva fotometrica è riportata in fig.3.9

Le curve isolux di un singolo apparecchio posto a 25m sono riportate in fig.3.9

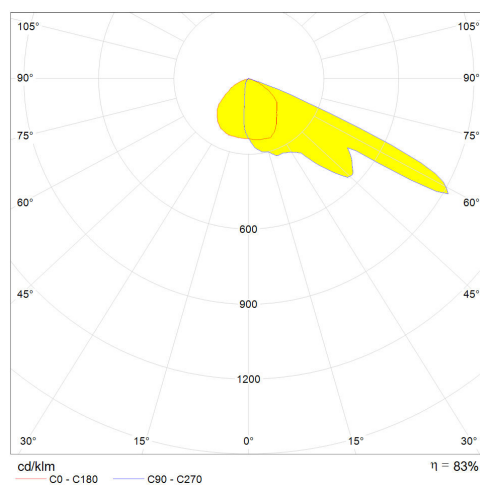


Figura 3.8: Curva fotometrica MVP5061xSON150W

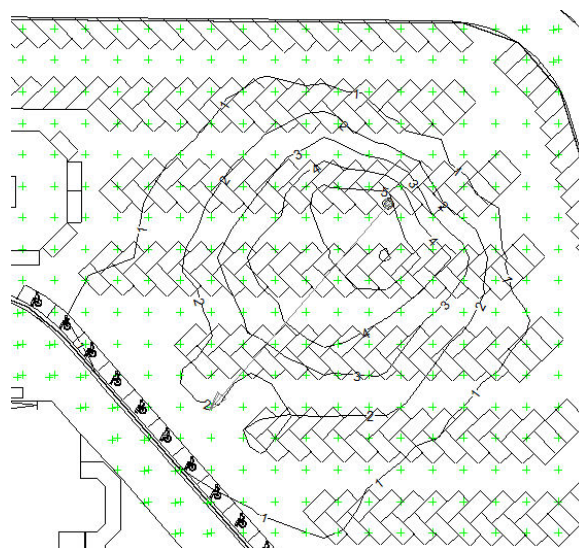


Figura 3.9: Curva isoluz a 25m della MVP506 1XSON-TPP150W A60

Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza installata su ogni torre faro sono riportate in tab.3.3

	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5	Totale
Nr. apparecchi	5	6	7	7	9	34
Potenza (W)	750	900	1050	1050	1350	5100

Tabella 3.3: Disposizione e potenza apparecchi 150W sulle torri

Il risultato delle simulazioni è rappresentato in fig.3.10, riferito alle curve isolux, e in fig.3.11, riferito al reticolo di punti. I risultati in termini di illuminamento e uniformità sono riportati in tab.3.4

	E_{medio}	E_{minimo}	$E_{massimo}$	E_{minimo}/E_{medio}
Parcheggio 1	15,1	5,1	42,3	0,34
Parcheggio 2	16,3	4,0	55,2	0,25
Strada	10,0	3,0	29,4	0,30

Tabella 3.4: Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio AP da 150W

Nonostante la maggior concentrazione degli apparecchi in direzione dell'angolo più estremo del parcheggio 2, il livello di illuminamento più basso, come nel caso precedente, risulta ancora essere nell'area coperta dalla torre 5 (evidenziato in rosso nel reticolo punti); per eventuali sviluppi futuri valgono le stesse considerazioni fatte nella precedente soluzione.

Anche in tale soluzione gli orientamenti degli apparecchi privilegiano le curve della strada di ingresso e l'incrocio tra la strada di uscita, la strada di ingresso e l'accesso al pronto soccorso. La potenza installata di 5,1kW risulta inferiore, e quindi preferibile, rispetto al caso precedente.

3.5 Soluzione a LED

I moduli a LED in commercio mediamente hanno un flusso luminoso e una potenza inferiori alle sorgenti al sodio ad alta pressione; tendono inoltre a focalizzare molto la radiazione di luce emessa, con la conseguente caratteristica di avere curve fotometriche con angoli molto più ristretti. Tutti questi aspetti permettono, attraverso la regolazione dell'angolo di orientamento dell'apparecchio, di suddividere l'intera area in sottoregioni (tipo a scacchiera) e assegnare ad ogni apparecchio il compito di illuminare specificatamente tale porzione; con una opportuna suddivisione si riesce ad ottenere un buon livello sia di illuminamento che di uniformità, quest'ultima sarebbe difficile da ottenere se valutassimo un singolo apparecchio. L'eventuale rottura di un

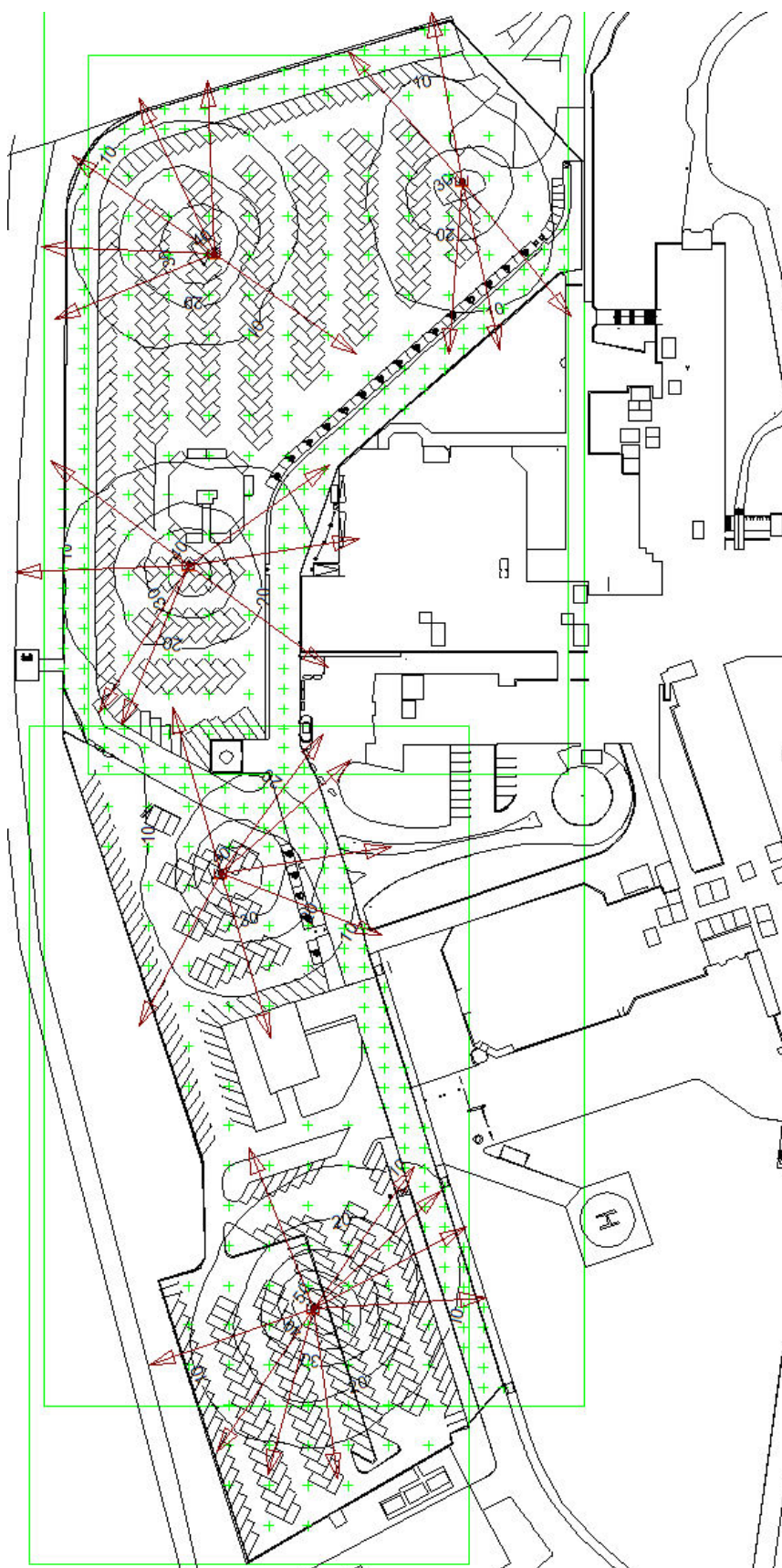


Figura 3.10: Curve isolux sodio 150W

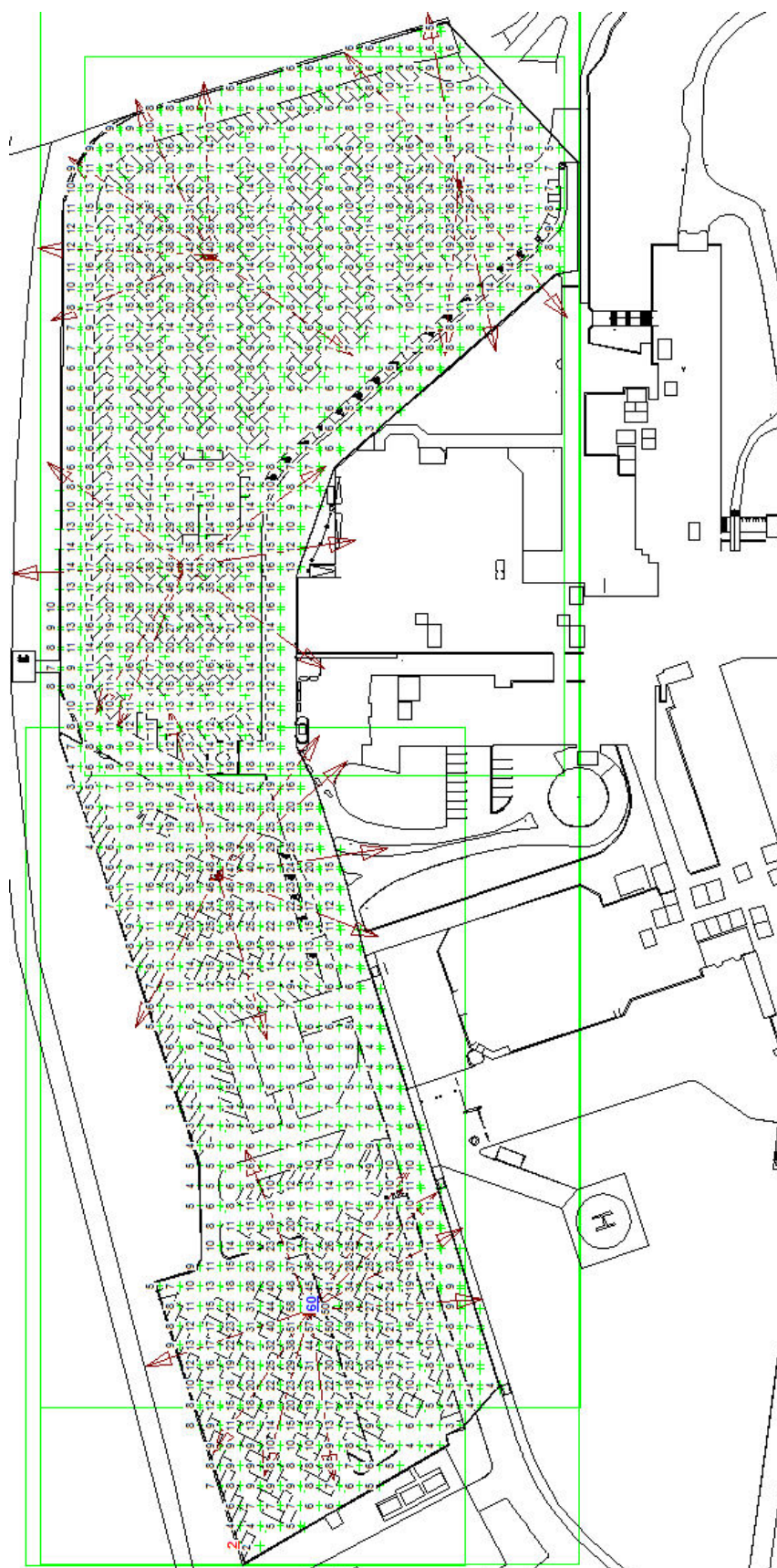


Figura 3.11: Reticolo punti illuminazione sodio 150W

apparecchio creerebbe delle macchie pi buie; esistono però in commercio dei moduli pi complessi, con delle ottiche particolari in grado di sopperire anche a questo problema.

Per realizzare tale soluzione si è scelto di utilizzare un apparecchio della iGuzzini che ha la seguente sigla:

Platea (LED): BA51 - Floodlight 1xLED/44.1 W

Come detto, l'ottica è molto pi ristretta, la curva fotometrica è riportata in fig.3.12

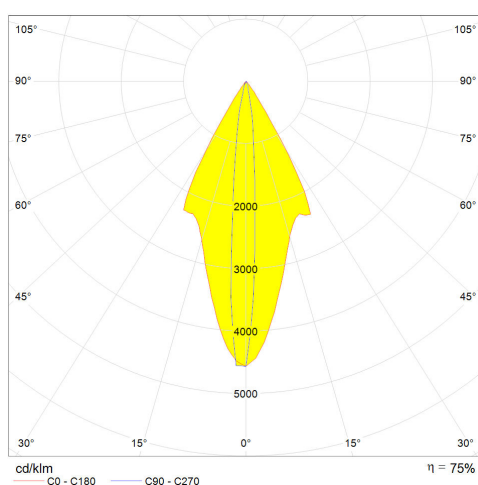


Figura 3.12: Curva fotometrica Platea LED

Le curve isolux di un singolo apparecchio posto a 25m sono riportate in fig.??

Per creare le sotto regioni descritte in precedenza sono stati disposti gli apparecchi a raggiera su tre livelli di circonferenze (corrispondenti a tre livelli di inclinazione dell'apparecchio), in un secondo momento gli orientamenti sono stati corretti in modo da essere funzionali alle necessit di copertura di ogni singola torre, ponendo sempre attenzione alle strade e all'incrocio. Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza istallata su ogni torre faro sono riportate in tab.3.5; la potenza di ogni apparecchio è 51,2W.

	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5	Totale
Nr. apparecchi	27	33	30	33	40	163
Potenza (W)	1382,4	1689,6	1536	1689,6	2048	8345,6

Tabella 3.5: Disposizione e potenza apparecchi LED sulle torri

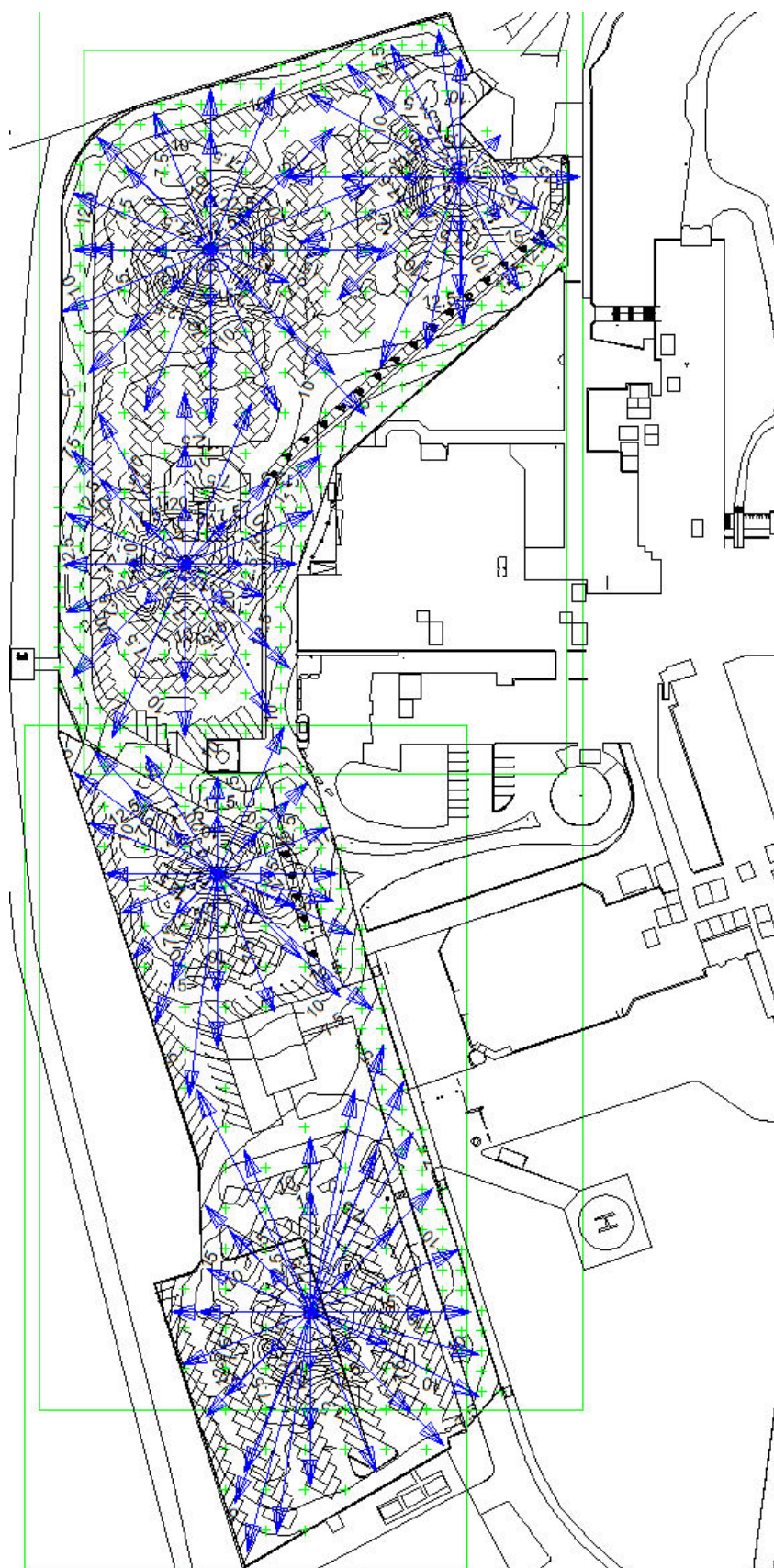


Figura 3.13: Curve isolux LED sulle torri



Figura 3.14: Reticolo punti illuminamento LED su torri

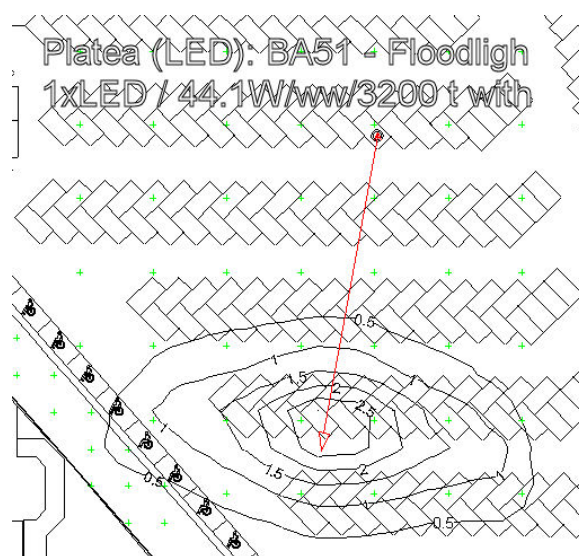


Figura 3.15: Curva isolux a 25m della Platea(LED): BA51-Floodlight 1xLED/44.1W

Il risultato delle simulazioni è rappresentato in fig.??, riferito alle curve isolux, e in fig.??, riferito al reticolo di punti. I risultati in termini di illuminamento e uniformità sono riportati in tab.3.6

	E_{medio}	E_{minimo}	$E_{massimo}$	E_{minimo}/E_{medio}
Parcheggio 1	12,2	6,0	26,6	0,49
Parcheggio 2	10,3	2,6	25,0	0,25
Strada	10,1	3,2	20,0	0,32

Tabella 3.6: Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti a LED

Grazie alla forte specificità di ogni apparecchio installato si è riusciti a risolvere il problema dell'angolo più buio delle precedenti soluzioni ottenendo un livello di illuminamento superiore intorno ai 3lx. La potenza installata in questo caso risulta essere notevolmente aumentata da 5,1kW (caso finora migliore) a 8,3kW.

3.6 Soluzione LED integrata

In tale soluzione si è cercato di differenziare le funzionalità d'uso dei parcheggi rispetto a quelle delle strade limitrofe. Si prevede di utilizzare le torri faro per la sola copertura dei parcheggi e l'installazione di nuove palificazioni lungo le strade per coprire le vie di ingresso ed uscita. Questa combinazione permette una maggiore regolazione dei livelli di illuminamento: possiamo

infatti prevedere un regime di accensione differenziato soprattutto nelle ore centrali della notte nelle quali il traffico presso il parcheggio risulta notevolmente ridotto e non è quindi richiesto un livello particolarmente elevato di illuminamento, garantendo allo stesso tempo però un livello maggiore per la strada di ingresso e uscita dal pronto soccorso che ha un traffico molto più variabile e imprevedibile.

In questo caso sono stati utilizzati due diversi tipi di apparecchi: il primo analogo al caso precedente della iGuzzini per le torri faro con la sigla

Platea (LED): BA51 - Floodlight 1xLED/44.1W

il secondo per le palificazioni della Disano con la sigla

1756 Monza - POWERLED 1x1x36

La curva fotometrica di quest'ultimo, riportata in fig.3.16, ha un'apertura maggiore nel piano C0-C180 e più ristretta nel piano C90-C270 perché dovendo illuminare una strada, l'area di copertura di un singolo apparecchio è più sviluppata ai lati e ridotta in avanti.

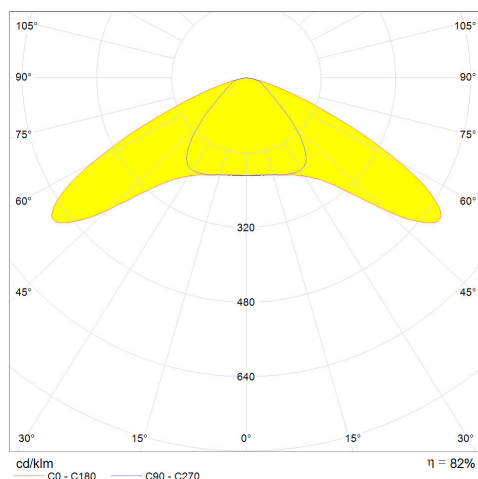


Figura 3.16: Curva fotometrica Monza LED

Anche in questo caso gli apparecchi nelle torri sono stati disposti a raggiera su tre livelli e corretti in un secondo momento per adattarli meglio ad ogni singolo caso; per la disposizione dei pali lungo la strada si è scelta, data la fotometria dell'apparecchio e il compito visivo richiesto, un'altezza del palo di 6m e una interdistanza di 24m.

Le curve isolux di un singolo apparecchio da palo posto a 6m sono riportate in fig.3.17

Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza installata su ogni torre faro sono riportate in tab.3.7; la potenza di ogni apparecchio è 51,2W.

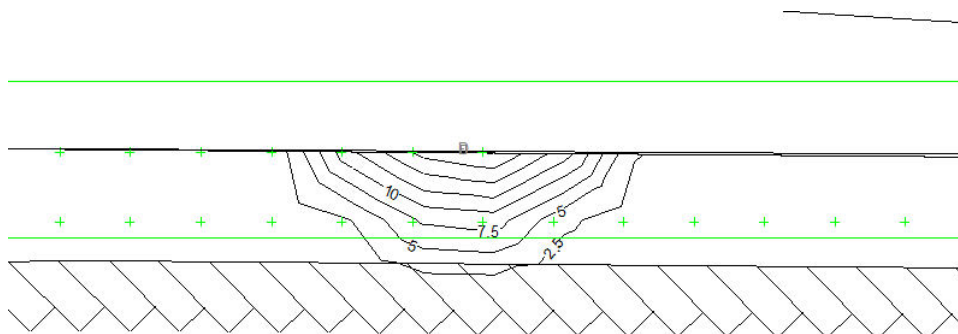


Figura 3.17: Curva isoluz a 25m della 1756 Monza - POWERLED

	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5	Totale
Nr. apparecchi	18	21	21	25	33	118
Potenza (W)	921,6	1075,2	1075,2	1280	1689,6	6041,6

Tabella 3.7: Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sulle torri

Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza installata sulle strade sono riportate in tab.3.8; la potenza di ogni apparecchio è 50W.

Il risultato delle simulazioni è rappresentato in fig.3.18, riferito alle curve isolux, e in fig.3.19, riferito al reticolo di punti. I risultati in termini di illuminamento e uniformità sono riportati in tab.3.9.

Le considerazioni fatte nel caso precedente a LED valgono anche per questo caso, con il vantaggio però di una maggiore facilità e controllo dei livelli di illuminamento delle varie aree che risultano ora distinte. Il beneficio del maggior controllo ha portato però ad un forte aumento della potenza installata, rispetto alle soluzioni al sodio ad alta pressione, che risulta ora di 7,4kW; è da considerarsi comunque migliore rispetto alla soluzione sempre a LED con il solo utilizzo delle torri, sia per la potenza installata che per la differenziazione di regolazione.

3.7 Soluzione sodio-LED integrata

Considerando i vantaggi e svantaggi delle soluzioni viste finora, si è pensato di utilizzare entrambe le sorgenti nell'applicazione a loro più favorevole:

- sorgenti al sodio ad alta pressione nelle torri faro dei parcheggi: data la vastità dell'area da coprire le sorgenti al sodio risultano più performanti, inoltre nel parcheggio non sono richieste regolazioni di flusso molto spinte da richiedere necessariamente l'utilizzo del LED, data la potenza

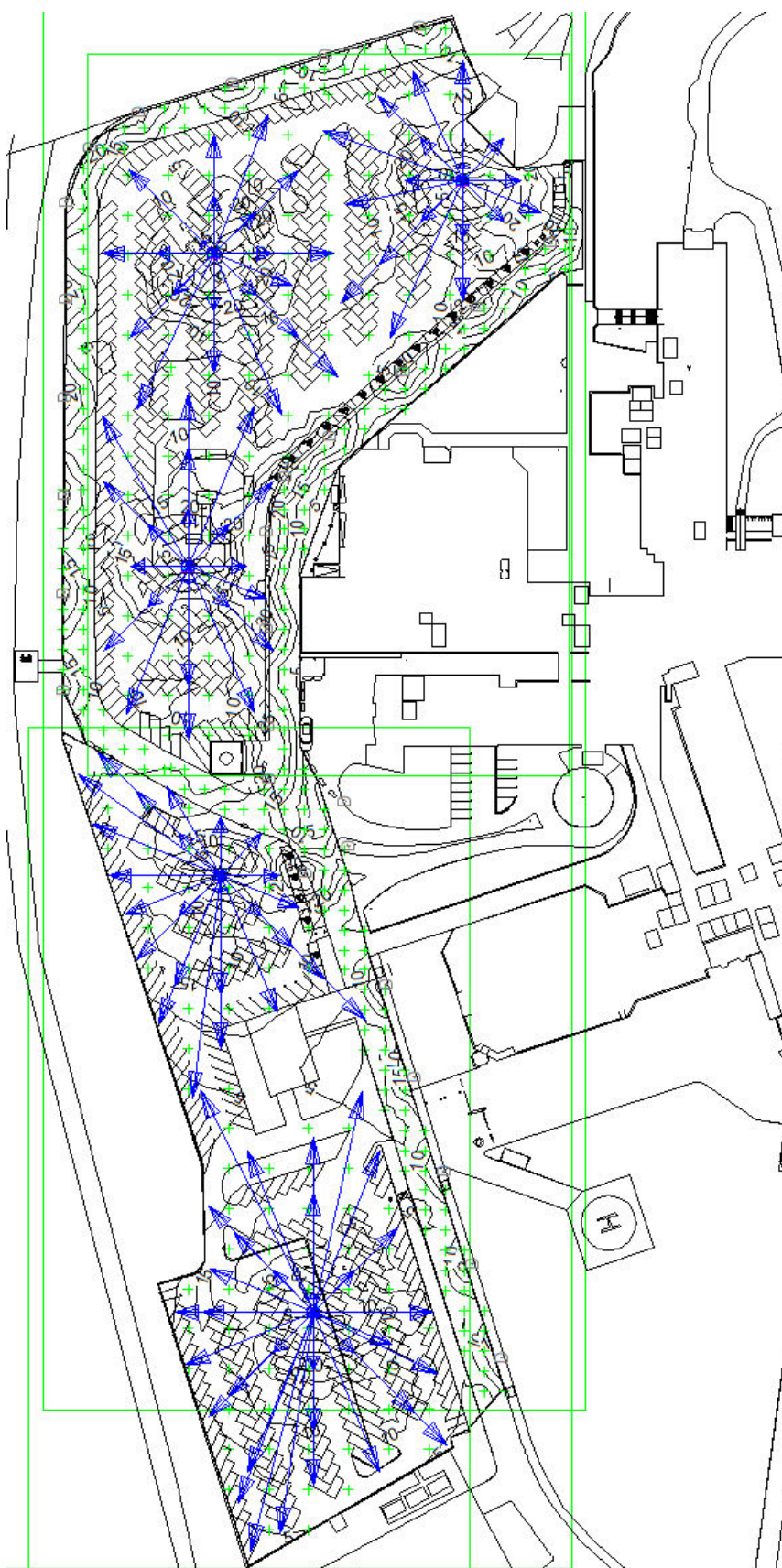


Figura 3.18: Curve isolux LED integrati

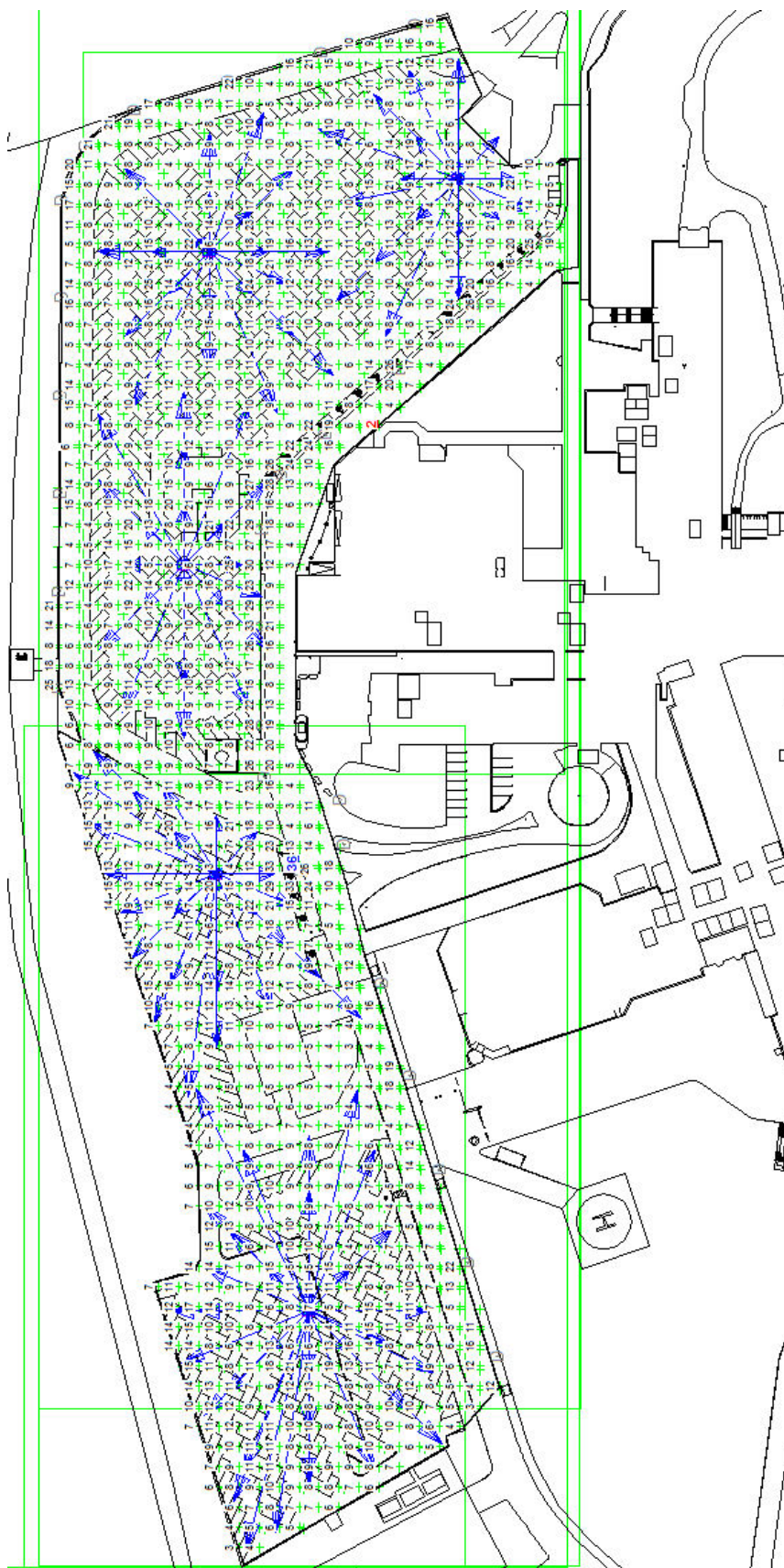


Figura 3.19: Reticolo punti illuminazione LED integrato

	Strada ingresso	Strada uscita	Strada laterale	Rinforzo incrocio	Totale
Nr. apparecchi	11	8	5	4	28
Potenza (W)	550	400	250	200	1400

Tabella 3.8: Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sui pali

	E_{medio}	E_{minimo}	$E_{massimo}$	E_{minimo}/E_{medio}
Parcheggio 1	11,2	4,7	28	0,42
Parcheggio 2	10,1	2,6	25,1	0,26
Strada	11,4	2,8	26,6	0,25

Tabella 3.9: Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti a LED integrati

dei singoli corpi illuminanti si possono inoltre ridurre il numero di installazioni a favore dei costi di manutenzione

- sorgenti a LED a palo lungo le strade: attraverso la regolazione offerta dai LED possiamo controllare la radiazione luminosa in funzione dell'utilizzo della strada; come vedremo si possono definire dei livelli di illuminamento fissi per fasce orarie, con una soglia di sicurezza per l'accesso all'autoambulanza del pronto soccorso, ma anche dotare la strada di sensori di passaggio e alzare istantaneamente il livello nel momento di transito di un qualsiasi veicolo

In questo caso lo stesso apparecchi al sodio da 150W gi visto precedentemente con la sigla:

MVP506 1xSON-TPP150W A/60

e in aggiunta l'apparecchio a LED della Disano, gi visto, con la sigla:

1756 Monza - POWERLED 1x1x36

le curve fotometriche sono le medesime.

Sono valide le considerazioni fatte nelle altre soluzioni per quel che riguarda la disposizione sia sulle torri faro che sui pali lungo la strada.

Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza installata su ogni torre faro sono riportate in tab.3.10; la potenza di ogni apparecchio è di 150W.

Il numero degli apparecchi utilizzati e la potenza installata sulle strade sono riportate in tab.3.11; la potenza di ogni apparecchio è 50W.

Il risultato delle simulazioni è rappresentato in fig.3.20, riferito alle curve isolux, e in fig.3.21, riferito al reticolo di punti. I risultati in termini di illuminamento e uniformità sono riportati in tab.3.12.

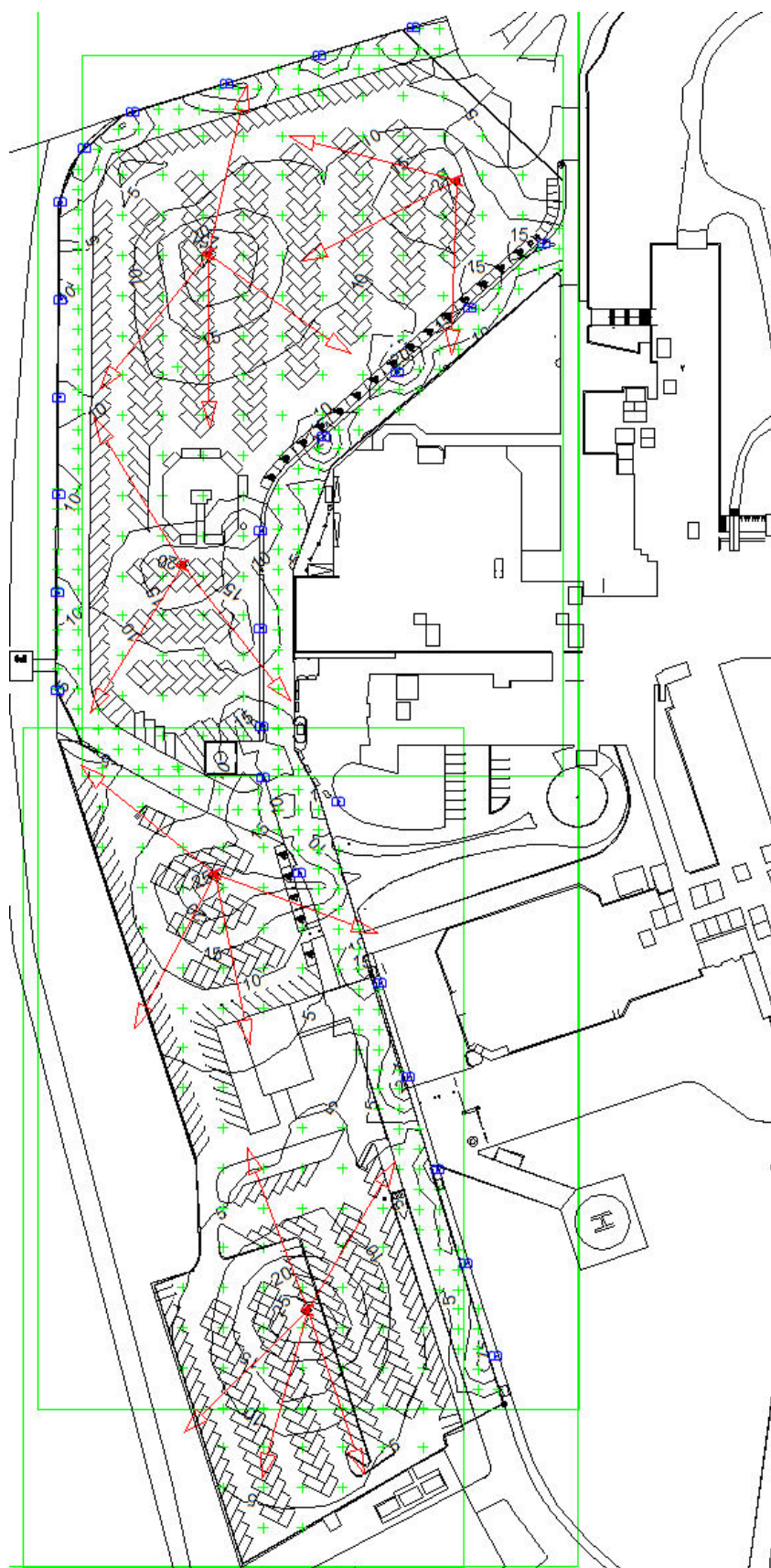


Figura 3.20: Curve isolux integrazione sodio-LED

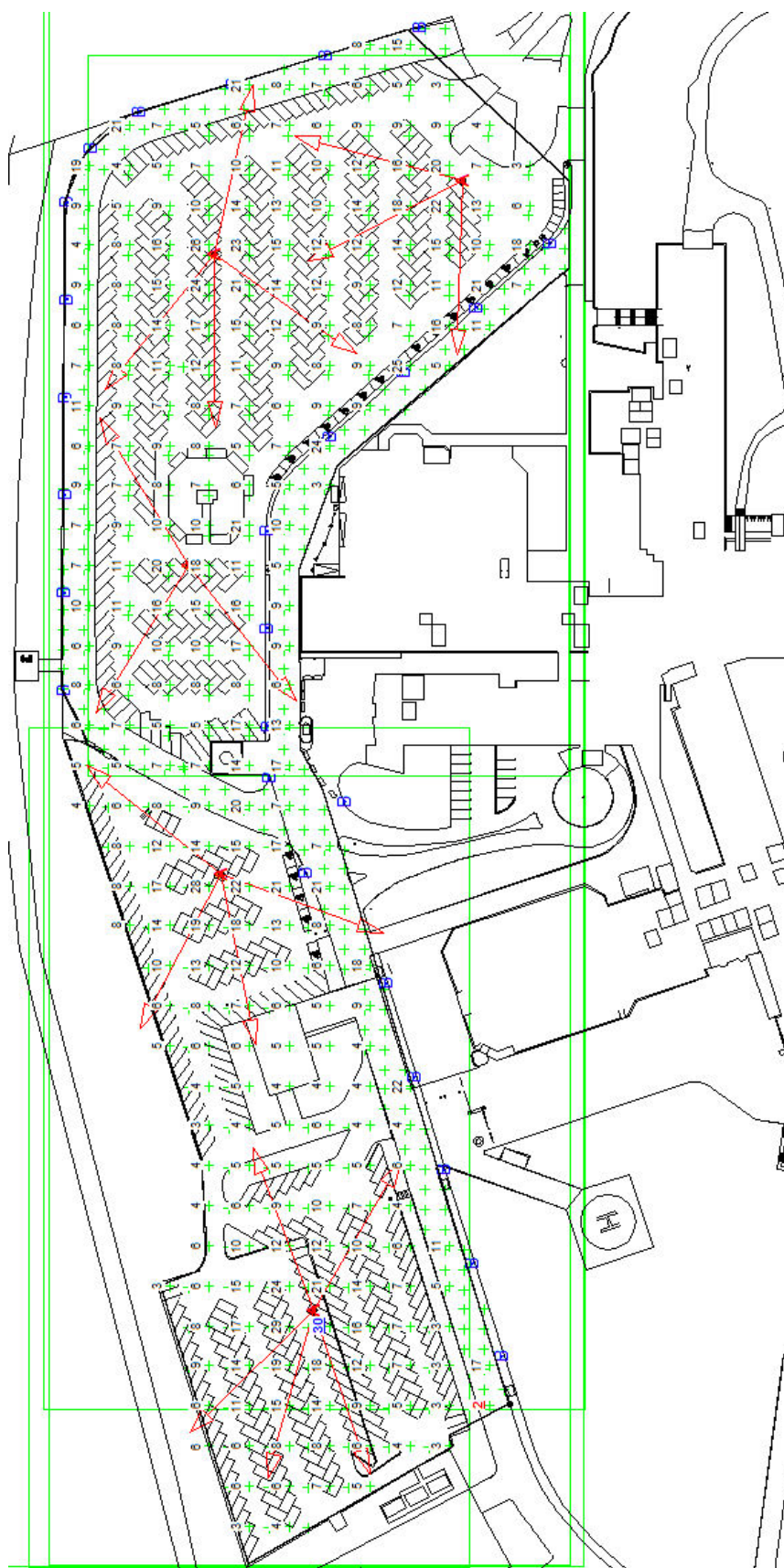


Figura 3.21: Reticolo punti illuminamento integrazione sodio-LED

	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Torre 5	Totale
Nr. apparecchi	3	4	3	4	5	19
Potenza (W)	450	600	450	600	750	2850

Tabella 3.10: Disposizione e potenza apparecchi al sodio integrato sulle torri

	Strada ingresso	Strada uscita	Strada laterale	Rinforzo incrocio	Totale
Nr. apparecchi	11	7	5	3	26
Potenza (W)	550	350	250	150	1300

Tabella 3.11: Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sui pali

Questa risulta essere la soluzione migliore sia in termini di potenza istallata (ora 4,15kW) che funzionalità; questo come vedremo avrà dei benefici in termini di consumi ed d'efficienza energetica, infatti oltre ad avere una minore potenza istallata, mantenendo sempre livelli di illuminamento e uniformità adeguati, si può regolare il flusso luminoso a seconda delle necessità, con risparmio energetico nei momenti in cui non è necessario avere la massima radiazione luminosa delle sorgenti.

	E_{medio}	E_{minimo}	$E_{massimo}$	E_{minimo}/E_{medio}
Parcheggio 1	11,0	3,8	27,7	0,34
Parcheggio 2	10,3	3,6	31,4	0,35
Strada	11,0	2,8	27,7	0,25

Tabella 3.12: Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio-LED integrati

Capitolo 4

Analisi energetica

4.1 Miglioramento efficienza energetica

I provvedimenti base per un efficace miglioramento delle prestazioni sotto il profilo energetico complessivo si possono ritenere i seguenti:

- sorgenti più efficienti
- installare apparecchi e alimentatori più performanti
- ricorrere alla regolazione del flusso luminoso emesso dagli apparecchi
- uso dei sensori di presenza o sensori di luminosità

Per quel che riguarda la caratteristica delle sorgenti e la loro efficienza se né già parlato nei precedenti capitoli; diamo ora maggior attenzione ai restanti provvedimenti.

4.1.1 Alimentatori elettronici

Le lampade a scarica possono funzionare sia con alimentatori tradizionali ferro-magnetici che con alimentari elettronici, quest'ultimi offrono molteplici vantaggi:

- stabilizzano la tensione e offrono una riduzione delle potenza assorbita dalla rete
- contribuiscono ad aumentare la durata delle lampade rispetto alle tradizionali soluzioni di alimentazione con dispositivi elettromeccanici
- garantiscono una elevata resa cromatica delle lampade unita ad una temperatura di colore estremamente uniforme tra le varie lampade, grazie a sofisticati algoritmi di controllo delle lampade stesse
- riducono il tempo di andata a regime della lampada

- garantiscono un funzionamento della lampada senza fastidiosi sfarfallii della luce
- hanno dimensioni ridotte e peso contenuto e minor ingombro rispetto ai reattori tradizionali
- sono in grado di escludere automaticamente lampade difettose, a fine vita, in modo da evitare l'emissione di radiodisturbi ed inutili stress elettrici ai componenti dell'impianto

4.1.2 Regolatori di flusso luminoso

Allo scopo di realizzare un consistente risparmio di energia, risulta conveniente assicurare un livello di illuminamento più elevato nelle ore in cui il traffico risulta maggiore ed un livello meno elevato nelle restanti ore nelle quali la funzionalità dell'impianto si riduce. Per ottenere la parzializzazione del flusso (e variazione del livello di illuminamento) esistono varie soluzioni, in sintesi:

1. regolatore di flusso (metodo centralizzato a livello di quadro di comando): apparecchiatura installata a livello di quadro elettrico di comando, che da una certa ora in poi, quando si stima che il traffico stradale si sia opportunamente ridotto, diminuisce il flusso luminoso emesso da ciascun apparecchio illuminante alimentato da tale quadro, riducendo nel contempo l'energia assorbita. PREGI: si mantiene l'uniformità prescritta dalla normativa, si stabilizza la tensione anche durante il funzionamento normale, aumentando la vita media delle lampade e riducendo i consumi dovuti ad aumenti di tensione tipici della rete elettrica nelle ore serali. DIFETTI: tempi di pay-back elevati se il numero di punti luce afferenti al quadro è basso, necessità di avere a disposizione linee di alimentazione ben dimensionate e a regola d'arte per permettere il funzionamento ottimale dell'apparecchiatura, non compatibile con lampade al mercurio, per problemi di accensione, e poco adatto a regolare le lampade agli ioduri metallici, per problemi di accensione sotto un certo valore di potenza e viraggio del colore
2. alimentatore bi-regime elettromagnetico o elettronico (metodo puntuale, punto a punto): Dispositivo, che può essere elettromagnetico o elettronico che viene inserito su ciascun apparecchio, il quale riduce la potenza assorbita, secondo una percentuale prefissata, automaticamente dopo un certo numero di ore di funzionamento. PREGI: non necessità di interventi sulle linee, si mantiene l'uniformità prescritta dalla normativa, solo nella versione elettronica si stabilizza la tensione anche durante il funzionamento normale, aumentando la vita media delle lampade e riducendo i consumi dovuti ad aumenti di tensione

tipici della rete elettrica nelle ore serali. DIFETTI: tempi di pay-back elevati, specialmente nella versione elettronica

3. alimentatore elettronico regolabile (metodo puntuale, punto a punto): Dispositivo elettronico che viene inserito su ciascun apparecchio, il quale può ridurre a piacere la potenza assorbita in maniera indipendente ed entro un ampio intervallo di valori, mediante segnale proveniente da cavo pilota, protocollo di trasmissione, onde convogliate o radio-frequenza. PREGI: non necessita di interventi sulle linee, si mantiene l'uniformità prescritta dalla normativa, si stabilizza la tensione anche durante il funzionamento normale, aumentando la vita media delle lampade e riducendo i consumi dovuti ad aumenti di tensione tipici della rete elettrica nelle ore serali, possibilità di personalizzare il singolo punto luce, con una regolazione indipendente rispetto al resto degli impianti, per favorire ad esempio punti critici e pericolosi. DIFETTI: tempi di pay-back elevati; se funziona ad onde convogliate o radiofrequenza, necessita di intervento sul quadro di comando per installare apparecchiature a corredo che ne consentono il funzionamento, e inoltre necessita di interventi sulle linee per la posa di cavo pilota o apparecchi per la trasmissione del segnale

Per ulteriori caratteristiche tecniche su tali dispositivi si rimanda all'appendice D.

4.1.3 Sensori di luminosità

Un'altra possibilità di risparmiare energia, che si affianca alla regolazione di potenza, è l'ottimizzazione degli orari di accensione e spegnimento. Riuscire infatti ad accendere gli impianti esattamente quando serve, evitando di anticipare rispetto alle necessità di visione, permette di risparmiare preziosa energia ogni giorno, cercando però di evitare di accendere troppo tardi quando ormai il compito visivo è reso gravoso a causa del calare delle tenebre. Stesso ragionamento vale per gli spegnimenti a fine nottata.

Ciò si può ottenere mediante fotocellule per l'accensione che presentano però problemi di taratura, e richiedono l'uso di orologi installati sul quadro. Una proposta comprovata migliorativa è invece l'installazione di un orologio astronomico nel quadro, questo contiene al suo interno un software che, sulla base dell'inserimento delle coordinate geografiche in cui si trova l'impianto, determina in maniera molto precisa, con le eventuali correzioni ambientali del caso, l'esatta ora in cui il sole tramonta e sorge ogni giorno dell'anno. Ciò riesce, rispetto ad un normale sistema con fotocellula o ancor più rispetto all'orologio tradizionale, ad abbattere il consumo di energia di circa il 10%.

Tutti questi vantaggi garantiscono al contempo un'accensione ottimizzata quando effettivamente serve, visto che di solito è prevista la presen-

za anche di una fotocellula per garantire l'accensione anticipata in caso di condizioni meteorologiche sfavorevoli.

4.2 Scenari di accensione

In favore del risparmio energetico è opportuno già in fase di progetto definire degli scenari di accensione, cioè fissare i livelli di flusso per fasce orarie in modo da ottimizzare il consumo nel momento in cui realmente serve, per realizzare questo dal lato pratico si utilizzano i regolatori di flusso visti nei precedenti paragrafi, ora soffermeremo l'attenzione sulla scelta degli intervalli orari corrispondenti ai diversi scenari.

L'impianto viene acceso e spento da un crepuscolare, cerchiamo ora di valutare quale potrà essere una giornata media di funzionamento. Data la diversità nell'ora di alba e di tramonto tra estate ed inverno proponiamo inizialmente due suddivisioni orarie:

- durante in periodo invernale si prevede di accendere l'impianto alle 17:00 e spegnerlo alle 8:00, fissando tre scenari: uno con funzionamento massimo dalle 17:00 alle 23:00 e dalle 6:00 alle 8:00; uno con funzionamento medio dalle 23:00 alle 1:00 e dalle 4:00 alle 6:00; uno con funzionamento minimo dalle 1:00 alle 4:00
- durante il periodo estivo si prevede di accendere di accendere l'impianto alle 21:00 e spegnerlo alle 5:00, fissando tre scenari: uno con funzionamento massimo dalle 21:00 alle 23:00; uno con funzionamento medio dalle 23:00 alle 1:00 e dalle 4:00 alle 5:00; uno con funzionamento minimo dalle 1:00 alle 4:00

da tali suddivisioni definiamo una giornata tipo media che avrà così tre scenari suddivisi:

- funzionamento massimo dalle 18:00 alle 23:00 e dalle 6:00 alle 7:00
- funzionamento medio dalle 23:00 alle 1:00 e dalle 4:00 alle 6:00
- funzionamento minimo dalle 1:00 alle 4:00

Nel prossimo paragrafo valuteremo tali scenari nelle varie soluzioni proposte, facendo un confronto energetico dei consumi.

4.3 Analisi energetica tra le soluzioni

Vengono ora riportate di seguito le tabelle riassuntive dei consumi di ogni singola soluzione valutata utilizzando gli scenari precedentemente descritti (Fig.4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6). Pei i primi tre, riguardanti le soluzioni con il solo utilizzo delle torri faro, sono stati fissati i livelli di illuminamento degli

scenari massimo, medio e minimo rispettivamente al 100%, al 70% e al 50%; sia le sorgenti al sodio che quelle a LED permettono tali livelli di regolazione. Per le soluzioni integrate tra parcheggi e strade sono state differenziate le regolazioni, mantenendo un livello più alto sulle strade nello scenario minimo posto allo stesso livello di quello medio (70%), questo per garantire maggiore sicurezza al passaggio dell'autoambulanza del pronto soccorso, anche nella notte più profonda. Si propone alla fine un'ipotetica soluzione che prevede l'utilizzo di un sensore di passaggio sulle strade, sfruttando l'integrazione tra le sorgenti al sodio e quelle a LED: per tale scopo sono stati mantenuti i primi tre scenari per le torri faro (già presenti nelle precedenti proposte), e l'aggiunta di altri due specifici scenari per la regolazione delle strade, prevedendo un livello minimo garantito del 50%, quando non vengono rilevati veicoli, e un'ora al giorno al 100% corrispondente al tempo complessivo di transito dei veicoli stimato durante tutta la nottata.

4.4 Soluzioni ottimali e risparmio energetico

Confrontiamo ora le tabelle energetiche con quella della situazione esistente, riportata in fig.4.7, per la quale abbiamo previsto un unico scenario di 13 ore di funzionamento a piena potenza: gli attuali apparecchi al mercurio infatti non hanno alcuna regolazione se non per l'accensione e lo spegnimento.

Si riporta quindi in tab.4.8 un riassunto dei consumi di tutte le proposte fatte con la percentuale di risparmio energetico rapportato all'attuale situazione.

Come si può notare i risparmi teorici sono molto elevati, causa della pessima situazione energetica dell'attuale impianto; il solo utilizzo dei LED non costituisce la soluzione ottimale (seppur molto migliore dell'esistente), le sorgenti al sodio confermano il loro efficace utilizzo nell'illuminazione pubblica posizionandosi nella fascia intermedia di convenienza, infine si hanno le soluzioni integrate che offrono un risparmio elevato grazie soprattutto alla loro funzionalità confermando l'idea che non bisogna puntare solamente ad illuminare meno ma pensare come illuminare meglio.

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi SODIO alta pressione a 250W										
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N-Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - Q.TA' MODULI	3=1*2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA	
					4" - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5"-N"(3"4") - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4" - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5"-N"(3"4") - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4" - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5"-N"(3"4") - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 SODIO	4	250.00	1	250.00	50.0%	500.00	70.0%	700.00	100.0%	1.000.00
Torre faro 2 SODIO	4	250.00	1	250.00	50.0%	500.00	70.0%	700.00	100.0%	1.000.00
Torre faro 3 SODIO	4	250.00	1	250.00	50.0%	500.00	70.0%	700.00	100.0%	1.000.00
Torre faro 4 SODIO	5	250.00	1	250.00	50.0%	625.00	70.0%	875.00	100.0%	1.250.00
Torre faro 5 SODIO	5	250.00	1	250.00	50.0%	625.00	70.0%	875.00	100.0%	1.250.00
TOTALE	22					2.750.00		3.850.00		5.500.00

Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi SODIO alta pressione a 250W						
SCENARIO LUMINOSO	1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5"-5")	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE [h]	3=(1*2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3*4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE
Scenario 1	2.750.00	1.095	3.011,25	0,17	511,91	3 ore al giorno
Scenario 2	3.850.00	1.460	5.621.00	0,17	955,57	4 ore al giorno
Scenario 3	5.500.00	2.190	12.045.00	0,17	2.047,65	6 ore al giorno
TOTALE		4.745,00	20.677,25		3.515,13	

Figura 4.1: Consumi energetici soluzione sodio 250W

Valutazione potenze assorbite con apparecchi SODIO alta pressione a 150W										
					SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA	
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - Q.TA' MODULI	3=1*2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	4' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5"-N'(3*4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4''' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5"-N'(3*4)" - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4''' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5'''-N'(3*4''') - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 SODIO	5	150.00	1	150.00	50.0%	375.00	70.0%	525.00	100.0%	750.00
Torre faro 2 SODIO	6	150.00	1	150.00	50.0%	450.00	70.0%	630.00	100.0%	900.00
Torre faro 3 SODIO	7	150.00	1	150.00	50.0%	525.00	70.0%	735.00	100.0%	1.050.00
Torre faro 4 SODIO	7	150.00	1	150.00	50.0%	525.00	70.0%	735.00	100.0%	1.050.00
Torre faro 5 SODIO	9	150.00	1	150.00	50.0%	675.00	70.0%	945.00	100.0%	1.350.00
TOTALE	34					2.550,00		3.570,00		5.100,00
Valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi SODIO alta pressione a 150W										
SCENARIO LUMINOSO		1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5÷5'')	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAME NTO STIMATE [h]	3=(1*2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3*4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE			
	Scenario 1	2.550.00	1.095	2.792.25	0.17	474.68	3 ore al giorno			
	Scenario 2	3.570.00	1.460	5.212.20	0.17	886.07	4 ore al giorno			
	Scenario 3	5.100.00	2.190	11.169.00	0.17	1.898.73	6 ore al giorno			
TOTALE			4.745,00	19.173,45		3.259,49				

Figura 4.2: Consumi energetici soluzione 150W

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi a LED										
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - QTA' MODULI	3=1'2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA	
					4' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4'' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5''=N'(3'4'') - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4''' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5'''=N'(3'4''') - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 LED	27	51,20	1	51,20	50,0%	691,20	70,0%	967,68	100,0%	1.382,40
Torre faro 2 LED	33	51,20	1	51,20	50,0%	844,80	70,0%	1.182,72	100,0%	1.689,60
Torre faro 3 LED	30	51,20	1	51,20	50,0%	768,00	70,0%	1.075,20	100,0%	1.536,00
Torre faro 4 LED	33	51,20	1	51,20	50,0%	844,80	70,0%	1.182,72	100,0%	1.689,60
Torre faro 5 LED	40	51,20	1	51,20	50,0%	1.024,00	70,0%	1.433,60	100,0%	2.048,00
TOTALE	163					4.172,80		5.841,92		8.345,60

Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi a LED						
SCENARIO LUMINOSO	1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5'+5''')	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE [h]	3=(1'2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3'4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE
Scenario 1	4.172,80	1.095	4.569,22	0,17	776,77	3 ore al giorno
Scenario 2	5.841,92	1.460	8.529,20	0,17	1.449,96	4 ore al giorno
Scenario 3	8.345,60	2.190	18.276,86	0,17	3.107,07	6 ore al giorno
TOTALE		4.745,00	31.375,28		5.333,80	

Figura 4.3: Consumi energetici soluzione LED su torri

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi a LED										
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - QTA' MODULI	3=1*2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA	
					4° - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5°=N°(3°*4°) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4° - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5°=N°(3°*4°) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4° - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5°=N°(3°*4°) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 LED	18	51,20	1	51,20	50,0%	460,80	70,0%	645,12	100,0%	921,60
Torre faro 2 LED	21	51,20	1	51,20	50,0%	537,60	70,0%	752,64	100,0%	1.075,20
Torre faro 3 LED	21	51,20	1	51,20	50,0%	537,60	70,0%	752,64	100,0%	1.075,20
Torre faro 4 LED	25	51,20	1	51,20	50,0%	640,00	70,0%	896,00	100,0%	1.280,00
Torre faro 5 LED	33	51,20	1	51,20	50,0%	844,80	70,0%	1.182,72	100,0%	1.689,60
Pali strada di ingresso	11	50,00	1	50,00	70,0%	385,00	70,0%	385,00	100,0%	550,00
Pali strada di uscita LED	8	50,00	1	50,00	70,0%	280,00	70,0%	280,00	100,0%	400,00
Pali strada laterale LED	5	50,00	1	50,00	70,0%	175,00	70,0%	175,00	100,0%	250,00
Pali di rinforzo incrocio	4	50,00	1	50,00	70,0%	140,00	70,0%	140,00	100,0%	200,00
TOTALE	146					4.000,80		5.209,12		7.441,60

Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi a LED						
SCENARIO LUMINOSO	1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5°*5°)	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE [h]	3=(1°*2°)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3°*4° - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE
Scenario 1	4.000,80	1.095	4.380,88	0,17	744,75	3 ore al giorno
Scenario 2	5.209,12	1.460	7.605,32	0,17	1.292,90	4 ore al giorno
Scenario 3	7.441,60	2.190	16.297,10	0,17	2.770,51	6 ore al giorno
TOTALE		4.745,00	28.283,30		4.808,16	

Figura 4.4: Consumi energetici soluzione LED integrato

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi a LED e SODIO AP 150W										
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - Q.TA' MODULI	3=1*2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA	
					4' - PERCENTUAL E DI REGOLAZIONE	5"-N"(3'4") - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4" - PERCENTUAL E DI REGOLAZIONE	5"-N"(3'4") - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4''' - PERCENTUAL E DI REGOLAZIONE	5'''-N"(3'4''') - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 SODIO	3	150,00	1	150,00	50,0%	225,00	70,0%	315,00	100,0%	450,00
Torre faro 2 SODIO	4	150,00	1	150,00	50,0%	300,00	70,0%	420,00	100,0%	600,00
Torre faro 3 SODIO	3	150,00	1	150,00	50,0%	225,00	70,0%	315,00	100,0%	450,00
Torre faro 4 SODIO	4	150,00	1	150,00	50,0%	300,00	70,0%	420,00	100,0%	600,00
Torre faro 5 SODIO	5	150,00	1	150,00	50,0%	375,00	70,0%	525,00	100,0%	750,00
Pali strada di ingresso	11	50,00	1	50,00	70,0%	385,00	70,0%	385,00	100,0%	550,00
Pali strada di uscita LED	7	50,00	1	50,00	70,0%	245,00	70,0%	245,00	100,0%	350,00
Pali strada laterale LED	5	50,00	1	50,00	70,0%	175,00	70,0%	175,00	100,0%	250,00
Pali di rinforzo incrocio	3	50,00	1	50,00	70,0%	105,00	70,0%	105,00	100,0%	150,00
TOTALE	45					2.335,00		2.905,00		4.150,00

Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi a LED e SODIO AP 150W							
SCENARIO LUMINOSO	1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5÷5''')	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE [h]	3=(1*2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]		5=3*4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE
Scenario 1	2.335,00	1.095	2.556,83	0,17		434,66	3 ore al giorno
Scenario 2	2.905,00	1.460	4.241,30	0,17		721,02	4 ore al giorno
Scenario 3	4.150,00	2.190	9.088,50	0,17		1.545,05	6 ore al giorno
TOTALE		4.745,00	15.886,63			2.700,73	

Figura 4.5: Consumi energetici soluzione integrazione sodio-LED senza sensore

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi a LED e SODIO AP 150W

TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - Q.TA' MODULI	3=1'2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MINIMA		SCENARIO 2: ILLUMINAZIONE MEDIA		SCENARIO 3: ILLUMINAZIONE MASSIMA		SCENARIO 4: PASSAGGIO VEICOLI		SCENARIO 5: SENZA PASSAGGIO VEICOLI	
					4 - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4 - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4 - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4 - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]	4 - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5=N'(3'4) - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]
Torre faro 1 SODIO	3	150,00	1	150,00	50,0%	225,00	70,0%	315,00	100,0%	450,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Torre faro 2 SODIO	4	150,00	1	150,00	50,0%	300,00	70,0%	420,00	100,0%	600,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Torre faro 3 SODIO	3	150,00	1	150,00	50,0%	225,00	70,0%	315,00	100,0%	450,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Torre faro 4 SODIO	4	150,00	1	150,00	50,0%	300,00	70,0%	420,00	100,0%	600,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Torre faro 5 SODIO	5	150,00	1	150,00	50,0%	375,00	70,0%	525,00	100,0%	750,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pali strada di ingresso	11	50,00	1	50,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	100,0%	550,00	50,0%	275,00
Pali strada di uscita LED	7	50,00	1	50,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	100,0%	350,00	50,0%	175,00
Pali strada laterale LED	5	50,00	1	50,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	100,0%	250,00	50,0%	125,00
Pali di rinforzo incrocio	3	50,00	1	50,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	100,0%	150,00	50,0%	75,00
TOTALE	45					1.425,00		1.995,00		2.850,00		1.300,00		650,00

Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi a LED e SODIO AP 150W

SCENARIO LUMINOSO	1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 1-5)	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE	3=(1'2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3'4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]	NOTE
Scenario 1	1.425,00	1.095	1.560,38	0,17	265,26	3 ore al giorno
Scenario 2	1.995,00	1.460	2.912,70	0,17	495,16	4 ore al giorno
Scenario 3	2.850,00	2.190	6.241,50	0,17	1.061,06	6 ore al giorno
Scenario 4	1.300,00	365	474,50	0,17	80,67	1 ora al giorno
Scenario 5	650,00	4.380	2.847,00	0,17	483,99	12 ore al giorno
TOTALE		4.745,00	10.714,58		2.386,13	

Figura 4.6: Consumi energetici soluzione integrazione sodio-LED con sensore

Tabella 1: valutazione potenze assorbite con apparecchi al MERCURIO 400W									
TIPOLOGIA SISTEMA DI ILLUMINAZIONE	N - Q.TA'	1 - POTENZA UNITARIA MODULO [W]	2 - Q.TA' MODULI	3=1'2 - POTENZA UNITARIA SISTEMA [W]	SCENARIO 1: ILLUMINAZIONE MASSIMA				
					4'' - PERCENTUALE DI REGOLAZIONE	5''=N'(3*4'') - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W]			
Torre faro 1 SODIO	6	400.00	2	800.00	100.0%	4.800.00			
Torre faro 2 SODIO	6	400.00	2	800.00	100.0%	4.800.00			
Torre faro 3 SODIO	6	400.00	2	800.00	100.0%	4.800.00			
Torre faro 4 SODIO	6	400.00	2	800.00	100.0%	4.800.00			
Torre faro 5 SODIO	6	400.00	2	800.00	100.0%	4.800.00			
TOTALE	30					24.000.00			
Tabella 2: valutazione energia elettrica annua assorbita con apparecchi al MERCURIO 400W									
SCENARIO LUMINOSO		1 - POTENZA TOTALE ASSORBITA [W] (rif. tab.1 - colonne 5'-5'')	2 - ORE ANNUE DI FUNZIONAMENTO STIMATE [h]	3=(1'2)/1000 - ENERGIA TOTALE ASSORBITA [kWh/anno]	4 - PREZZO MEDIO ENERGIA IN MT [€/kWh]	5=3*4 - COSTO ANNUO ENERGIA [€/anno]			NOTE
Scenario 1		24.000.00	4.745	113.880.00	0.17	19.359.60			13 ore al giorno
TOTALE			4.745.00	113.880.00		19.359.60			

Figura 4.7: Consumi energetici soluzione attuale

TABELLE RISPARMIO ENERGETICO			
SOLUZIONE		1 - ENERGIA ANNUALE ASSORBITA [kWh/anno]	2 - RISPARMIO ENERGETICO
Scenario attuale		113.880,00	
Scenario SODIO 250W		20.677,25	81,8%
Scenario SODIO 150W		19.173,45	83,2%
Scenario LED su torri		31.375,28	72,4%
Scenario LED torri e pali		28.283,30	75,2%
Scenario SODIO-LED senza sensore		15.886,63	86,0%
Scenario SODIO-LED con sensore		10.714,58	90,6%

Figura 4.8: Risparmio energetico delle soluzioni

Capitolo 5

Analisi economica

Dopo un'opportuna analisi energetica necessario confrontare anche dal punto di vista economico le soluzioni per scegliere effettivamente quella migliore dal punto di vista tecnico-economico che sar poi la proposta definitiva. Per fare questa valutazione utilizziamo un metodo di analisi economica chiamato LCC (Life Cycle Cost): uno strumento che permette di valutare tutti i costi relativi ad un determinato progetto, dalla sua nascita alla sua "morte". Prende infatti in considerazione:

- i costi iniziali (investimenti, acquisizioni, installazioni)
- i costi futuri (manutenzione, sostituzioni, spese energetiche, oneri finanziari)
- fino ad arrivare ai costi di smaltimento o di recupero

Permette di scegliere tra più alternative o di ottimizzare economicamente un processo-prodotto. E' di fondamentale importanza scegliere il periodo di studio, che pu comprende anche le fasi di progettazione e costruzione e l'intera vita utile dell'alternativa più longeva. Il periodo di studio deve essere lo stesso per tutte le alternative, anche se hanno vita diversa; in tal caso si dovr considerare il valore residuo e/o il costo di sostituzione. I flussi di cassa non saranno necessariamente tutti all'inizio dell'opera (es. costi di manutenzione annuali), necessario quindi riportare le voci di costo al loro valore presente, utilizzando il "tasso di sconto". Ad esempio per riportare un costo fisso A sostenuto anno per anno ad un tasso " i " si ottiene un valore attualizzato P pari a:

$$P = \sum_{k=1}^N A (1+i)^{-k} = \frac{A (1+i)^k - 1}{i (1+i)^k}$$

Nel caso in analisi si scelto di prendere in considerazione un periodo di 10 anni corrispondente alla durata di vita della sorgente più duratura (LED); il tasso di sconto utilizzato del 4%

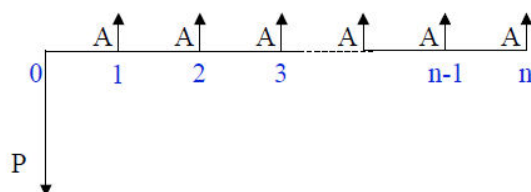


Figura 5.1: Attualizzazione costi

5.1 Costi installazione nuovo impianto

I costi di installazione saranno principalmente legati al costo dei nuovi apparecchi ed al loro costo di installazione; in particolare per tutte le soluzioni integrate verranno considerati anche i costi relativi all'installazione delle nuove palificazioni lungo le strade. Tali costi associati ad ogni singola proposta sono riportati nelle tab. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5

Denominazione	Quantit	Costo singola unit [euro]	Costo totale[euro]
Apparecchio sodio alta pressione 150W	34	613,00	20.842,00
Regolatore di flusso	1	7.100,00	7.100,00
Noleggio autogru e costi installazione	1	1.240,00	1.240,00
Totale			29.182,00

Tabella 5.1: Costi iniziali soluzione sodio 250W

Denominazione	Quantit	Costo singola unit [euro]	Costo totale[euro]
Apparecchio sodio alta pressione 150W	34	613,00	20.842,00
Regolatore di flusso	1	7.100,00	7.100,00
Noleggio autogru e costi installazione	1	1.240,00	1.240,00
Totale			29.182,00

Tabella 5.2: Costi iniziali soluzione sodio 150W

Denominazione	Quantit	Costo sin- gola unit [euro]	Costo totale[euro]
Torre faro LED Platea	163	1.150,00	187.450,00
Regolatore di flusso	1	7.100,00	7.100,00
Noleggio autogru e costi istal- lazione	1	1.240,00	1.240,00
Totale			195.790,00

Tabella 5.3: Costi iniziali soluzione LED su torri faro

Denominazione	Quantit	Costo sin- gola unit [euro]	Costo totale[euro]
Torre faro LED Platea	118	1.150,00	135.700,00
Regolatore di flusso	1	7.100,00	7.100,00
Proiettore LED a palo	28	700,00	19.600,00
Palo rastremato dritto 6m	28	126,95	3.554,60
Morsettiera su palo	28	88,50	2.478,00
Tubo in polietilene per posa interrata d.est. 110	634	4,67	2.960,78
Pozzetto di dim.60x60x60 sp5	28	50,19	1.405,32
Coperchio in calcestruzzo chiuso pozzetto 60x60	28	25,69	719,32
Noleggio autogru e costi istal- lazione	1	2.024,00	2.024,00
Totale			175.542,02

Tabella 5.4: Costi iniziali soluzione LED integrato

5.2 Costi di manutenzione

I costi di manutenzione, a differenza di quelli iniziali, ricoprono tutto il periodo di analisi dovranno quindi essere attualizzati anno per anno al tasso prefissato. Per ogni apparecchio stata fissata la durata di vita economica in ore di funzionamento, prevedendo una sostituzione programmata dell'intero lotto di lampade (data la necessit di noleggiare una gru per la sostituzione, stata scartata l'ipotesi di sostituire ogni singola lampada alla sua morte, questo infatti aumenterebbe notevolmente i costi di manutenzione), questo permette di calcolare, in funzione delle ore annue di funzionamento viste nei precedenti scenari, il singolo costo annuale di manutenzione. In tab.5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 sono riportati i costi annuali ed il loro valore attualizzato nell'arco dei 10 anni.

Nel caso di utilizzo dei LED si prevede solo un costo relativo alla pulitura

Denominazione	Quantit	Costo gola unit [euro]	Costo totale[euro]
Apparecchio sodio alta pressione 150W	19	613,00	11.647,00
Regolatore di flusso	1	7.100,00	7.100,00
Proiettore LED a palo	26	700,00	18.200,00
Palo rastremato dritto 6m	26	126,95	3.300,70
Morsettiera su palo	26	88,50	2.301,00
Tubo in polietilene per posa interrata d.est. 110	634	4,67	2.960,78
Pozzetto di dim.60x60x60 sp5	26	50,19	1.304,94
Coperchio in calcestruzzo chiuso pozzetto 60x60	26	25,69	667,94
Noleggio autogru e costi installazione	1	2.024,00	2.024,00
Totale			49.506,36

Tabella 5.5: Costi iniziali soluzione integrata sodio-LED

Apparecchio	sodio AP 250W
Numero lampade	22
Ore annue di funzionamento [h/anno]	4.745
Durata di vita media economica [h]	14.000
Numero di cambi lampada annui [n/anno]	0,339
Costo unitario lampada [euro]	52,00
Costo manodopera sostituz. lampada [euro/cad.]	18,90
Costo annuo sostituzione lampada [euro/anno]	24,04
Costo annuo complessivo sostituzione lampade [euro/anno]	528,77

Tabella 5.6: Costi manutenzione soluzione sodio 250W

programmata.

5.3 Costi consumi energetici

I consumi energetici potrebbero sembrare ininfluenti nella scelta tra le alternative proposte, ma in realtà essi ricoprono una buona percentuale dell'intero costo del ciclo di vita dell'impianto; vanno quindi inseriti e attualizzati come tutti gli altri costi. Questo il punto chiave dell'efficienza energetica: possiamo pensare di sostenere un costo di investimento anche elevato o superiore

Apparecchio	sodio AP 150W
Numero lampade	34
Ore annue di funzionamento [h/anno]	4.745
Durata di vita media economica [h]	14.000
Numero di cambi lampada annui [n/anno]	0,339
Costo unitario lampada [euro]	49,00
Costo manodopera sostituz. lampada [euro/cad.]	18,90
Costo annuo sostituzione lampada [euro/anno]	23,02
Costo annuo complessivo sostituzione lampade [euro/anno]	782,62

Tabella 5.7: Costi manutenzione soluzione sodio 150W

Pulitura	LED Platea
Numero lampade	163
Numero di pulizie annue [n/anno]	0,339
Costo manodopera sostituz. lampada [euro/cad.]	4,20
Costo annuo sostituzione lampada [euro/anno]	1,42
Costo annuo complessivo sostituzione lampade [euro/anno]	232,08

Tabella 5.8: Costi manutenzione soluzione LED su torri

Pulitura	LED Platea	LED Monza
Numero lampade	118	28
Numero di pulizie annue [n/anno]	0,339	0,339
Costo manodopera sostituz. lampada [euro/cad.]	4,00	6,00
Costo annuo sostituzione lampada [euro/anno]	1,36	2,03
Costo annuo complessivo sostituzione lampade [euro/anno]	160,01	56,95

Tabella 5.9: Costi manutenzione soluzione LED integrato

alle altre alternative, con il vantaggio di avere in futuro un maggior risparmio nell'utilizzo dell'impianto ed avere cos sia un ritorno che compensa il maggiore impegno economico iniziale, sia un minore spreco di risorse. In tab. 5.11 é riassunto il consumo energetico e il relativo costo annuo dell'energia nelle varie soluzioni, ipotizzando un costo energia di 0,17euro/kWh

Apparecchio	Sodio 150W	LED Monza
Numero lampade	19	26
Ore annue di funzionamento [h/anno]	4.745	4.745
Durata di vita media economica [h]	14.000	50.000
Numero di cambi lampada annui [n/anno]	0,339	-
Numero di pulizie annue [n/anno]	0,339	0,339
Costo unitario lampada [euro]	49,00	-
Costo manodopera sostituz. lampada [euro/cad.]	18,90	5,57
Costo annuo sostituzione lampada [euro/anno]	23,02	1,89
Costo annuo complessivo sostituzione lampade [euro/anno]	437,34	49,09

Tabella 5.10: Costi manutenzione soluzione integrata sodio-LED

Soluzione	Consumo energetico [kW/h]	Costo annuo energia [euro/anno]
SODIO 250W	20.677,25	3.515,13
SODIO 150W	19.173,45	3.259,49
LED su torri	31.375,28	5.333,80
LED torri e pali	28.283,30	4.808,16
SODIO-LED senza sensore	15.886,63	2.700,73
SODIO-LED con sensore	10.714,58	1.821,48

Tabella 5.11: Riepilogo consumi energetici soluzioni

5.4 Confronto economico delle soluzioni

Si riportano di seguito in tab.5.12 i costi visti nei paragrafi precedenti attualizzati con un tasso di sconto del 4% ed il relativo costo totale del ciclo di vita dell'impianto utilizzato per il confronto finale.

In definitiva possiamo vedere che entrambe le soluzioni con l'utilizzo delle sorgenti al sodio sulle torri, avendo un LCC inferiore, rappresentano la soluzione tecnico-economica migliore; con costi leggermente superiori si hanno le soluzioni integrate tra sodio e LED che però rispetto alle precedenti hanno il pregio di avere una maggiore flessibilità in termini funzionali (la differenza risiede prevalentemente nel costo della messa in opera di una nuova porzione di impianto che nel caso del solo utilizzo delle torri non prevista).

Risultano sconvenienti, con costi addirittura triplicati, le proposte con il solo utilizzo dei LED; questo a causa dell'alto costo iniziale che domina sul LCC finale, le altre soluzioni infatti hanno un bilanciamento tra costi energia e costi di investimento molto più equilibrati.

(Tutti i costi sono in euro)	Sodio 250W	Sodio 150W	LED su torri faro	LED integrato	Integrato LED-Sodio senza sensore	Integrato LED-Sodio con sensore
Costi iniziali	22.134,00	29.182,00	195.790,00	175.542,02	49.506,36	49.506,36
Costi manutenzione totali attualizzati	4.288,82	6.347,71	1.882,37	1.759,74	3.945,45	3.945,45
Costi consumi energia totali attualizzati	28.510,87	26.437,36	43.261,88	38.998,49	21.905,31	19.353,67
Totale	54.933,69	61.967,07	240.934,25	216.300,25	75.357,12	72.805,48

Tabella 5.12: Confronto tra le soluzioni con i costi attualizzati (con tasso di sconto del 4%)

Conclusioni

A conclusione di tale studio è emerso che ci sono molti modi per poter avere efficienza energetica negli impianti di illuminazione, anche di notevole superficie.

Alcuni impianti esistenti utilizzano tecnologie ormai obsolete, sia dal punto di vista del consumo energetico che ambientale, come ad esempio le sorgenti al mercurio.

In questi ultimi anni sono stati sviluppati dei prodotti in grado di garantire un miglioramento sia per il compito visivo, con attenzione particolare alla resa cromatica, alla temperatura di colore e allo spettro di emissione, sia dal punto di vista energetico, riguardante l'efficienza luminosa, sia per la funzionalità, legata ai componenti ausiliari come ad esempio gli alimentatori e i regolatori di flusso elettronici che permettono una maggiore durata di vita e una regolazione dei livelli di illuminamento in funzione dei reali bisogni durante il utilizzo dell'impianto.

Sono state provate diverse soluzioni utilizzando le sorgenti al sodio poste sulle torri faro, sorgenti a LED sulle torri faro o integrate con palificazioni specifiche lungo le vie di accesso all'ospedale. Dalla valutazione dei consumi energetici delle diverse proposte, calcolati in funzione degli scenari di funzionamento (per ridurre il flusso durante le ore della notte più profonda dove il traffico risulta notevolmente ridotto) è emerso che il maggior risparmio energetico lo si ha nelle soluzioni integrate, dove le torri faro, con apparecchi al sodio, coprono in specifico l'area di parcheggio, mentre le sorgenti a LED illuminano le strade di accesso (godendo così di una maggiore regolazione). L'utilizzo di corpi illuminanti al sodio, installati sulle torri, risulta comunque una buona proposta dal punto di vista del risparmio energetico.

Valutando invece il costo del ciclo di vita dell'impianto, la soluzione preferibile dal punto di vista tecnico-economico, risulta quella con le lampade al sodio; questo aspetto è legato prevalentemente all'alto costo iniziale degli apparecchi a LED. Va notato però che le soluzioni integrate sodio-led sono comunque molto valide, con costi complessivi tra investimento, manutenzione e consumo energetico leggermente superiori, permettendo in più una maggiore flessibilità nell'utilizzo dell'impianto.

In definitiva l'utilizzo dei soli LED, attualmente non garantisce la maggior efficienza energetica tra le alternative presenti oggi, tuttavia questa tec-

nologia si pu considerare ancora giovane, ha ancora ampi margini di miglioramento, se si diffonde una generale convinzione sulla validità di questo prodotto, legata soprattutto alla lunga durata di vita, all'altissima capacità di regolazione e direzionalità del flusso, acquisendo di conseguenza il mercato, potrà diventare concretamente una valida proposta anche economica entrando in forte concorrenza con le lampade al sodio che ad oggi sono le protagoniste nelle applicazioni di illuminazione pubblica.

Appendice A

Tabelle normativa UNI 11248

Tipo	Descrizione	Limiti di velocità km/h	Categoria illuminotecnica di riferimento
A1	Autostrade extraurbane	130-150	ME1
A1	Autostrade urbane	130	ME1
A2	Strade di servizio alle autostrade	70-90	ME3a
A2	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	ME3a
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a
B	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	ME4a
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	70-90	ME3a
C	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b
C	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	ME3a
D	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a
D	Strade urbane di scorrimento veloce	50	ME3a
E	Strade urbane interquartiere	50	ME3c
E	Strade urbane di quartiere	50	ME3c
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70-90	ME3a
F	Strade locali extraurbane	50	ME3b
F	Strade locali extraurbane	30	S3
F	Strade locali urbane (tipi F1 e F2)	50	ME4b
F	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE4
F	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3
F	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE5/S3
F	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE5/S3
F	Strade locali internazionali	50	CE5/S3
F	Strade locali internazionali	30	CE5/S3
-	Piste ciclabili		S3
-	Strade a destinazione particolare	30	S3

Tabella A.1: CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E INDIVIDUAZIONE DELLA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI RIFERIMENTO

Tipo di strada	Flusso di traffico	Complessità del campo visivo	Zona di conflitto	Dispositivi rallentatori	Indice di rischio di aggrissione	Pendenza media	Indice livello luminoso ambiente	Pedoni
A1	Massimo	Elevata	-	-	-	-	-	-
A2	Massimo	Normale	-	-	-	-	-	-
B	Massimo	Assente	-	-	-	-	-	-
C	Massimo	-	Assente	-	-	-	-	-
D	Massimo	-	Assente	-	-	-	-	-
E	Massimo	-	Assente	-	-	-	-	-
F	Massimo	Normale	Assente	Assente	Normale	-	-	-
Piste ciclabili	Massimo	-	-	-	-	$\leq 2\%$	Amb. urbano	Non ammessi

Tabella A.2: PARAMETRI DI INFLUENZA (SE RILEVANTI) CONSIDERATI PER LE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE DI RIFERIMENTO DI CUI ALLA TABELLA A PER DEFINIRE LA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO

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

Tabella A.3: COMPARAZIONE DI CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE

Parametro di influenza	Variazione della categoria illuminotecnica
Complessità compito visivo normale (per le strade tipo A1)	-1
Complessità compito visivo elevata (per le altre strade)	+1
Flusso di traffico < 50% rispetto al massimo	-1
Flusso di traffico < 25% rispetto al massimo	-2
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	-1
Indice di resa dei colori ≥ 60	-1
Indice di resa dei colori < 30	+1
Pericolo di aggressione superiore al "normale"	+1
Presenza di intersezioni e/o svincoli a raso	+1
Prossimità di passaggi pedonali	+1
Prossimità di dispositivi rallentatori	+1

Tabella A.4: INDICAZIONE SULLE VARIAZIONI DELLA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA IN RELAZIONE AI PARAMETRI DI INFLUENZA

Appendice B

Definizioni illuminotecnica e fotometria

Si richiamano ora alcuni concetti riguardanti le grandezze fotometriche utilizzate.

Sensibilità dell'occhio umano: L'occhio umano non ha la stessa sensibilità per tutte le lunghezze d'onda della radiazione luminosa, infatti se consideriamo una quantità di energia uguale per tutte le lunghezze d'onda, l'impressione luminosa che l'occhio percepisce ha un massimo in corrispondenza della radiazione giallo-verde (555nm) e valori inferiori per radiazioni rosse e violette; in fig.B.1 è riportata la sensibilità dell'occhio a tutte le lunghezze d'onda nel campo del visibile

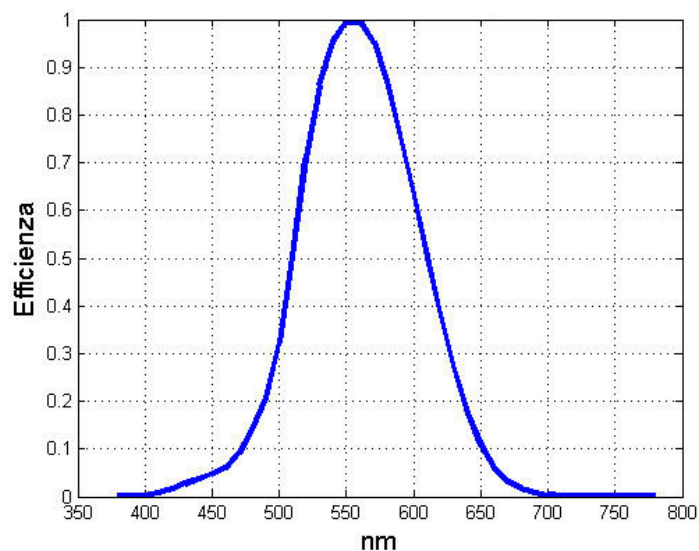


Figura B.1: Curva efficienza fotopica

Flusso luminoso: Rappresenta l'energia irradiata nell'unità di tempo, da una sorgente puntiforme, pesata con la sensibilità spettrale relativa dell'occhio umano. Il flusso luminoso viene misurato in lumen. Come riferimento si prende il flusso luminoso di una sorgente che emette un watt di potenza, alla lunghezza d'onda di 555nm, che è pari a 683 lumen.

Intensità luminosa: L'intensità luminosa è il flusso irradiato da una sorgente in una certa direzione per unità di angolo solido. Viene misurata in candele (cd). A differenza del flusso luminoso assume il concetto di direzione e concentrazione.

Illuminamento: L'illuminamento è definito come il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una certa superficie e la sua area. Viene misurato in lux. Si può considerare un lux come l'illuminamento prodotto da il flusso di un lumen distribuito uniformemente su una superficie di un metro quadro. Se volessimo calcolare l'illuminamento associato ad una superficie infinitesima che risiede a terra ad un'altezza h dalla sorgente come in fig.B.2, avremmo:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \approx \frac{\Delta\Phi}{\Delta A} = \frac{\Delta\Phi \cos\vartheta}{\Delta\Omega r^2} = I \frac{\cos\vartheta}{r^2} = I \frac{\cos^3\vartheta}{h^2}$$

dove:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta A'}{r^2} = \frac{\Delta A \cos\vartheta}{r^2}; \Delta A' = \Delta A \cos\vartheta; I \approx \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}; h = r \cos\vartheta$$

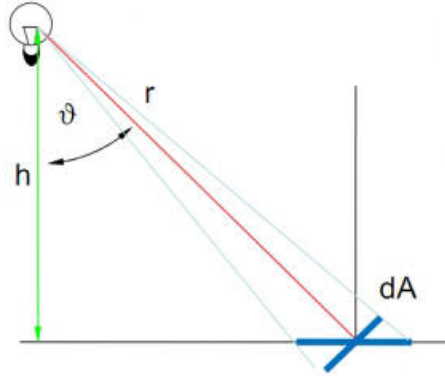


Figura B.2: Illuminamento ad un'altezza h

Dalla formula ricavata possiamo notare che la luce si affievolisce allontanandosi dalla normale rispetto la posizione della sorgente, questo aspetto sarà molto importante in fase di progetto quando si cercherà di avere una distribuzione della luce il pi possibile costante sul piano di analisi; per ottenere questo sarà necessario avere una sorgente con intensità luminosa crescente man mano che ci si allontana dalla verticale.

Luminanza: La luminanza è definita dal rapporto tra l'intensità luminosa proveniente da una superficie luminosa (fonte di luce o superficie secondaria illuminata) in una data direzione (intensità luminosa) e l'area apparente di tale superficie (superficie proiettata perpendicolare alla direzione di osservazione). Viene misurata in cd/m².

Tonalità di luce: Viene definita come “temperatura di colore” la temperatura alla quale un corpo nero deve portarsi per emettere una radiazione che dal punto di vista cromatico sia più vicina possibile a quella della sorgente in esame. Un corpo nero infatti ha la caratteristica di assorbire tutte le radiazioni ed avere un picco di emissione che è funzione solamente della temperatura alla quale si trova, proprio per questo rappresenta una sorgente ideale di riferimento. Vengono definiti tre livelli di tonalità:

- calda: quando la temperatura di colore è inferiore a 3300K
- neutra: quando la temperatura di colore è compresa tra i 3300 e 5300K
- fredda: quando la temperatura di colore è superiore ai 5300K

Resa dei colori: Il fatto di vedere l'oggetto di un determinato colore dipende dal fatto che esso riflette le radiazioni luminose associate a tale colore e assorbe le altre. La sorgente deve ovviamente produrre le radiazioni di tale colore altrimenti l'oggetto non le riflette e quindi non appare com'è realmente. Una buona resa dei colori prevede quindi che la sorgente artificiale emetta tutti i colori dello spettro; in realtà questo avviene solo parzialmente, per tenere conto di questa proprietà è stato definito un “indice di resa cromatica” (Ra) che viene calcolato confrontando la sorgente di prova con una sorgente campione sulla base di otto colori ben definiti, la massima resa cromatica (coincidente con quella campione) ha indice pari a 100.

Uniformità dell'illuminamento: Per evitare l'affaticamento si devono adottare dei valori di illuminamento non troppo differenti; per questo viene definito il fattore di uniformità che è il rapporto tra il valore di illuminamento minimo e quello medio, a seconda del compito visivo tale fattore non deve essere inferiore ad un certo valore definito dalla norma.

Efficienza luminosa: L'efficienza luminosa è pari al rapporto fra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa e la potenza elettrica assorbita (W)

Rendimento luminoso: Il rendimento luminoso è dato dal rapporto fra il flusso luminoso emesso dalla lampada verso l'esterno ed il flusso luminoso emesso dalla sorgente (esempio filamento della lampada ad incandescenza):

$$h = \frac{F}{F_s}$$

dove F è il flusso emesso verso l'esterno e F_s il flusso luminoso emesso dalla sorgente.

Durata di vita delle sorgenti: Ci sono molti modi per definire la vita di una lampada:

- vita tecnica individuale: numero di ore di accensione dopo le quali una lampada va fuori servizio o è considerata tale
- vita minima: garantita dal fabbricante, è il numero minimo di ore di vita delle lampade
- vita media: definito come il numero di ore dopo il quale il 50% di un lotto significativo di lampade va fuori servizio

Appendice C

Sorgenti al sodio

Apparecchi al sodio in alta pressione

Le lampade al sodio in alta pressione sono state derivate da quelle a bassa pressione (0,3-0,5 Pa) che hanno il vantaggio di avere una trasformazione ottimale dell'energia in radiazione luminosa con efficienze fino a 200 lm/W, superiori a qualsiasi altra sorgente. Lo svantaggio di questo tipo di sorgenti risiede nella loro bassa resa cromatica, che si può considerare pari a zero e quindi praticamente monocromatica. Questo limita il loro utilizzo solamente in alcune applicazioni particolari, dove la distinzione dei colori non è importante, come nel caso dell'illuminazione stradale dove invece ha maggior rilievo l'efficienza luminosa e l'acuità visiva. Per ovviare a questo problema sono state realizzate delle soluzioni aumentando la pressione all'interno del tubo di scarica, sono però nate alcune problematiche costruttive: il sodio è un elemento chimico molto aggressivo soprattutto ad alte temperature, questo non permette l'utilizzo di vetro o quarzo per la costruzione del tubo, si è optato per l'utilizzo dell'ossido di alluminio sinterizzato che è un materiale di tipo ceramico con punto di rammollimento superiore ai 2000C, poco intaccato dal sodio e con coefficiente di trasparenza intorno al 90%.

Costruttivamente le lampade al sodio ad alta pressione sono composte da:

- un tubo di scarica in ossido di alluminio sinterizzato nel quale viene posto l'amalgama di sodio unitamente ad un gas raro (xenon o neon e argon)
- un bulbo o tubo coassiale in vetro duro all'interno del quale è posizionato il tubo si scarica

Tra il bulbo e il tubo viene realizzato il vuoto per ridurre al minimo la dispersione di calore verso l'esterno ed avere così massima efficienza. La scarica generata inizialmente attraverso il gas raro produce il calore necessario per vaporizzare l'amalgama e mantenere quindi la scarica attraverso il sodio che

ha un potenziale di eccitazione minore rispetto al gas raro (che assicura quindi l'accensione quindi alle basse temperature).

Esistono tre tipi di lampade al sodio ad alta pressione che si differenziano per il valore della pressione all'interno del tubo:

- a “luce standard” con una pressione di 10 kPa
- a “luce confort” con una pressione di 40 kPa
- a “luce bianca” con una pressione di 95 kPa

si può osservare che all'aumento della pressione aumenta lo spettro di emissione della luce ottenendo quindi una migliore resa cromatica, questo però porta ad una riduzione dell'efficienza luminosa che aumentando la pressione.

Nel caso di “luce standard” si ha una efficienza elevata intorno ai 130 lm/W con una tonalità di luce giallo-oro, nel caso di “luce confort” l'efficienza cala intorno ai 95 lm/W con una colorazione più bianca, fino al caso di “luce bianca” dove l'efficienza è molto più bassa (50 lm/W) e una colorazione bianco dorata.

Proprio per la loro elevata efficienza luminosa, le sorgenti al sodio ad alta pressione vengono oggi usate spesso per l'illuminazione stradale ed industriale, con una vasta gamma di tipologie e di potenze disponibili che variano dai 50W ai 1000W, in forma polverata ovoidale o tubolare per ottiche più moderne. Recentemente questo tipo di lampada è stata sviluppata molto, creando nuove famiglie di prodotti compatibili tra loro, con migliorie per quel che riguarda l'efficienza energetica, durata di vita e temperatura di colore.

Sorgenti ad alto contenuto di xeno

Questo tipo di lampade sono ottenute modificando la composizione del gas all'interno del tubo di scarica, aggiungendo dello xeno in alta pressione. In questo modo riusciamo ad aumentare l'efficienza luminosa del 15% rispetto le normali lampade, senza però particolari vantaggi per la temperatura di colore. Questa soluzione risulta favorevole anche per la durata di vita che può aumentare del 20%, a causa della minore sensibilità alle variazioni di tensione. La perdita di efficienza energetica, legata all'alta pressione, per avere una maggiore resa cromatica, è parzialmente ridotta grazie sia alla composizione sodio-xeno sia all'alimentatore elettronico, creando così un sistema ad elevata economicità, che presenta in sintesi le seguenti caratteristiche:

- luce bianca
- possibilità di commutare tra due temperature di colore dai 2600K ai 3000K utilizzando l'alimentatore elettronico
- ottima resa dei colori sia nel campo del rosso che nel blu

- grazie alla regolazione attraverso un microprocessore si riesce ad avere costanza nella temperatura di colore e resa cromatica indipendentemente dall'invecchiamento della lampada, dalla tensione di rete e dalla differenza costruttiva tra le diverse lampade
- elevata efficienza luminosa e durata di vita
- emissione di UV trascurabile
- tempo di accensione ridotto
- totale assenza di mercurio (apparecchio non considerato tra i rifiuti speciali)
- alimentazione con apposita unità elettronica

Tali caratteristiche vengono ottenute principalmente grazie all'alimentatore elettronico che fornisce un'alimentazione discreta nel tempo tramite brevi ed intensi impulsi di corrente. Questi opportunamente regolati in durata e ampiezza permettono, in concomitanza ad una corretta composizione del plasma, di ottenere le prestazioni di colore volute variando la temperatura di colore dai 2600K ai 3000K. Questo sistema ad impulsi permette di mantenere costante il punto di lavoro ed i parametri illuminotecnici per tutta la durata di vita della lampada. Eventuali scostamenti rispetto le condizioni nominali della lampada (temperatura e pressione del sodio all'interno del tubo di scarica) vengono rilevati e livellati dal microprocessore. Questo controllo avviene per confronto digitale tra la tensione di lampada ed il valore nominale: se la tensione di lampada risulta superiore viene aumentata la distanza tra gli impulsi di potenza, se inferiore viene invece ridotta. Per la regolazione della temperatura di colore invece viene variata l'ampiezza della corrente impulsiva. In definitiva possiamo ridurre notevolmente le problematiche riguardanti:

- oscillazioni della tensione di rete
- differenze costruttive da lampada a lampada
- invecchiamento della lampada
- influssi termici dell'apparecchio sulla lampada

La perdita di sodio, legata principalmente alla diffusione attraverso il tubo di scarica, porta generalmente ad un incremento della tensione di lampada, indice della durata presumibile della lampada. La regolazione della tensione viene gestita dal microprocessore che stabilizza in modo continuo la tensione per valori prossimi al nominale. Si ritiene la lampada a fine di vita quando la potenza esce dai limiti di regolazione dell'alimentatore elettronico.

Appendice D

Regolazione del flusso luminoso

Regolatori di flusso

Per le lampade a scarica utilizzate in illuminazione pubblica, per le quali occorre disporre una tensione di alimentazione superiore al picco di riaccensione della lampada, al fine di evitare lo spegnimento della scarica nel momento in cui tensione e corrente passano per lo zero, vi sono due tecnologie applicabili:

- regolatori ad onda sinusoidale: sono costituiti da trasformatori (booster) alimentati da un autotrasformatore a spazzole (variac) e permettono variazioni continue di tensione (a contatti striscianti o rotolanti), ma sono penalizzati da notevoli ingombri e costi, anche di manutenzione, a causa dell'elevata usura delle parti meccaniche. Oggi si risolve il problema con l'utilizzo di autotrasformatori a prese commutate elettronicamente (a gradini di tensione), riducendo così i costi e gli ingombri, e offrendo una regolazione morbida anche se discontinua

Si prestano a questa regolazione le lampade a scarica, ma il risultato conseguibile non è lo stesso per le varie tipologie dato che è strettamente dipendente dai valori minimi di tensione ai quali la lampada può continuare a funzionare: le lampade più adatte ad essere regolate sono quelle al sodio alta pressione e quelle ad ioduri metallici la cui tensione minima di funzionamento a regime ridotto si aggira sui 170-175 V (risparmio massimo ottenibile 50%). Per le lampade a ioduri metallici occorre però precisare che l'abbassamento della tensione fino al limite ammesso può produrre dei viraggi di colore che causano una brusca diminuzione della resa cromatica (risparmio massimo ottenibile 30%). Un discorso a parte va fatto per le lampade a vapori di mercurio che ad una tensione inferiore a 190 V (risparmio massimo ottenibile 30%) non possono avere un funzionamento regolare; esiste in ogni caso sul mercato una apparecchiatura, applicabile all'interno di ogni

apparecchio, per ovviare agli inconvenienti descritti, ma si tratta pur sempre di un intervento oneroso, per altro su apparecchi che montando lampade al mercurio sono evidentemente obsoleti, e oggetto di smantellamento in tempi brevi.

- regolatori a taglio di fase: provvedono al taglio simmetrico dei valori di picco, sia positivo, che negativo, della tensione di alimentazione, lasciandola inalterata in prossimità del passaggio per lo zero. Per quanto riguarda la corrente essa viene pilotata nell'intorno dello zero di tensione in maniera da non essere nulla. Sono caratterizzati di dimensioni molto limitate. Possono essere utilizzati anche con lampade al mercurio, anche se riducono di molto l'efficienza, mentre con le lampade al sodio alta pressione è necessario utilizzare accenditori elettronici, dato che gli accenditori muniti di starter potrebbero essere attivati dalle armoniche introdotte dal controllo di fase che andrebbero ad interagire con il condensatore ad alta frequenza posto all'ingresso dell'accenditore stesso. Non sono utilizzabili con lampade al sodio bassa pressione e a luce miscelata

Sono evidenti i vantaggi ottenibili, con entrambe le tecnologie:

- regolazione del flusso evitando pericolose disuniformità nel tempo
- attuazione di consistenti risparmi di energia, che possono andare dal 30 al 50%
- aumento della durata delle lampade, anche in funzione del fatto che tramite i regolatori è possibile assicurare in maniera automatica la stabilizzazione della tensione di alimentazione, sottraendo in tal modo le lampade alle deleterie oscillazioni della tensione della rete di distribuzione
- sempre allo scopo di aumentare la vita delle lampade all'atto dell'accensione e della regolazione, il valore della tensione non viene fatto aumentare in maniera brusca, ma in maniera graduale in un tempo lungo in modo da sollecitare meno i catodi delle sorgenti luminose

Alimentatore bi-regime elettromagnetico o elettronico

Per le lampade al sodio alta pressione sono ormai presenti da anni reattori biregime tradizionali, mentre quelli elettronici sono più recenti ma anche tra essi comincia ad esserci una certa scelta. Diverso è invece il discorso per le lampade a ioduri metallici, che con la versione elettromagnetica hanno un serio problema di viraggio del colore, specialmente se si vogliono ottenere risparmi energetici che rendano conveniente l'adozione di tali dispositivi; in questo caso solo l'adozione di apparecchiature elettroniche può offrire una soddisfacente soluzione al problema.

Alimentatore elettronico regolabile

Gli alimentatori elettronici regolabili associano ai vantaggi dei reattori elettronici la possibilità di modulare puntualmente il flusso luminoso mediante protocolli proprietari, sistema DALI, onde convogliate o cavo pilota, a seconda delle singole case costruttrici.

Appendice E

LEGGE REGIONALE 7

agosto 2009, n. 17

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.

Art. 1 Finalità: 1. La Regione del Veneto promuove, con la presente legge:

- a) la riduzione dell'inquinamento luminoso e ottico, nonché la riduzione dei consumi energetici da esso derivanti;
- b) l'uniformità dei criteri di progettazione per il miglioramento della qualità luminosa degli impianti per la sicurezza della circolazione stradale;
- c) la protezione dall'inquinamento luminoso dell'attività di ricerca scientifica e divulgativa svolta dagli osservatori astronomici;
- d) la protezione dall'inquinamento luminoso dell'ambiente naturale, inteso anche come territorio, dei ritmi naturali delle specie animali e vegetali, nonché degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette;
- e) la protezione dall'inquinamento luminoso dei beni paesistici, così come definiti dall'articolo 134 del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137" e successive modificazioni;
- f) la salvaguardia della visione del cielo stellato, nell'interesse della popolazione regionale;
- g) la diffusione tra il pubblico delle tematiche relative all'inquinamento luminoso e la formazione di tecnici con competenze nell'illuminazione.

2. Ai fini della presente legge il cielo stellato è patrimonio naturale da conservare e valorizzare.

Art. 2 Definizioni: 1 Ai fini della presente legge si intende per:

- a) inquinamento luminoso: ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte;
- b) inquinamento ottico o luce intrusiva: ogni forma di irradiazione artificiale diretta su superfici o cose cui non è funzionalmente dedicata o per le quali non è richiesta alcuna illuminazione;
- c) abbagliamento: disturbo legato al rapporto tra l'intensità della luce che arriva direttamente al soggetto dalla sorgente e quella che gli arriva dalla superficie illuminata dall'impianto;
- d) Piano dell'illuminazione per il contenimento dell'inquinamento luminoso (PICIL): il piano di cui all'articolo 5, comma 1, lettera a), redatto dai comuni, per la programmazione delle nuove installazioni d'illuminazione, nonché degli interventi da eseguire sulle installazioni esistenti alla data di entrata in vigore della presente legge;
- e) osservatorio astronomico: la costruzione adibita in maniera specifica all'osservazione astronomica a fini scientifici e divulgativi, con strumentazione dedicata all'osservazione notturna;
- f) fascia di rispetto: l'area circoscritta agli osservatori astronomici, ai siti di osservazione, nonché le intere aree naturali protette, la cui estensione di raggio è determinata dall'articolo 8, comma 7, lettere a), b), c).

Art. 9 Regolamentazione delle sorgenti di luce e dell'utilizzazione di energia elettrica da illuminazione esterna 1. Ai fini di cui all'articolo 1, dalla data di entrata in vigore della presente legge la progettazione e l'esecuzione successiva degli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata devono conformarsi alle disposizioni di cui al presente articolo. Per gli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata, per i quali, alla data di entrata in vigore della presente legge, il progetto sia stato approvato o che siano in fase di realizzazione, è prevista la sola predisposizione di sistemi che garantiscano la non dispersione della luce verso l'alto.

2. Si considerano conformi ai principi di contenimento dell'inquinamento luminoso e del consumo energetico gli impianti che rispondono ai seguenti requisiti:

- a) sono costituiti di apparecchi illuminanti aventi un'intensità luminosa massima compresa fra 0 e 0.49 candele (cd) per 1.000 lumen di flusso luminoso totale emesso a novanta gradi ed oltre;

- b) sono equipaggiati di lampade ad avanzata tecnologia ed elevata efficienza luminosa, come quelle al sodio ad alta o bassa pressione, in luogo di quelle ad efficienza luminosa inferiore. è consentito l'impiego di lampade con indice di resa cromatica superiore a $Ra=65$, ed efficienza comunque non inferiore ai 90 lm/w esclusivamente per l'illuminazione di monumenti, edifici, aree di aggregazione e zone pedonalizzate dei centri storici. I nuovi apparecchi d'illuminazione a led possono essere impiegati anche in ambito stradale, a condizione siano conformi alle disposizioni di cui al comma 2 lettere a) e c) e l'efficienza delle sorgenti sia maggiore di 90lm/W;
- c) sono realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta o di illuminamento medio mantenuto previsto dalle norme di sicurezza specifiche; in assenza di norme di sicurezza specifiche la luminanza media sulle superfici non deve superare 1 cd/mq;
- d) sono provvisti di appositi dispositivi che abbassano i costi energetici e manutentivi, agiscono puntualmente su ciascuna lampada o in generale sull'intero impianto e riducono il flusso luminoso in misura superiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività, entro le ore ventiquattro. La riduzione di luminanza, in funzione dei livelli di traffico, è obbligatoria per i nuovi impianti d'illuminazione stradale.

3. Si considerano conformi ai principi di contenimento dell'inquinamento luminoso e del consumo energetico i lampioni fotovoltaici autoalimentati che utilizzano pannelli aventi rendimento pari o superiore al dieci per cento e comunque corrispondenti alle caratteristiche indicate al comma 2, lettere a), b), c).

4. è concessa deroga ai requisiti di cui al comma 2:

- a) per le sorgenti di luce internalizzate e quindi non inquinanti, quali gli impianti di illuminazione sotto tettoie, portici, sottopassi, gallerie e strutture similari, con effetto totalmente schermante verso l'alto;
- b) per le sorgenti di luce facenti parte di installazione temporanea, che vengano rimosse entro un mese dalla messa in opera, o che vengano spente entro le ore ventuno nel periodo di ora solare ed entro le ore ventidue nel periodo di ora legale;
- c) per gli impianti che vengono accesi per meno di dieci minuti da un sensore di presenza o movimento, dotati di proiettori ad alogeni o lampadine a fluorescenza compatte o altre sorgenti di immediata accensione;
- d) per i porti, gli aeroporti e le altre strutture non di competenza statale, limitatamente agli impianti e ai dispositivi di segnalazione stretta-

mente necessari a garantire la sicurezza della navigazione marittima e aerea;

- e) per le installazioni e per gli impianti di strutture, la cui progettazione, realizzazione e gestione sia regolata da specifica normativa statale;
- f) per impianti dotati di piccole sorgenti tipo fluorescenza, gruppi di led o di sorgenti simili, caratterizzati dai seguenti requisiti:
 1. in ciascun apparecchio, il flusso totale emesso dalle sorgenti non sia superiore a 1800 lumen;
 2. ogni apparecchio emetta meno di 150 lumen verso l'alto;
 3. gli apparecchi dell'impianto d'illuminazione non emettano, complessivamente, più di 2.250 lumen verso l'alto;
- g) per gli impianti installati per le manifestazioni all'aperto e itineranti con carattere di temporaneità regolarmente autorizzate dai comuni;
- h) per le insegne ad illuminazione propria, anche se costituite da tubi di neon nudi.

5. L'illuminazione delle insegne non dotate di illuminazione propria deve essere realizzata utilizzando apparecchi che illuminino dall'alto verso il basso. Le insegne dotate di luce propria non devono superare i 4.500 lumen di flusso totale, emesso in ogni direzione per ogni singolo esercizio. In ogni caso tutte le insegne luminose non preposte alla sicurezza e ai servizi di pubblica utilità devono essere spente alla chiusura dell'esercizio e comunque entro le ore ventiquattro.

6. Fari, torri-faro e riflettori illuminanti parcheggi, piazzali, cantieri, svincoli ferroviari e stradali, complessi industriali e grandi aree di ogni tipo devono avere, rispetto al terreno, un'inclinazione tale, in relazione alle caratteristiche dell'impianto, da non irradiare oltre 0 cd per 1.000 lumen a 90 e oltre. Si privilegiano gli apparecchi d'illuminazione con proiettori di tipo asimmetrico. In particolare, l'installazione di torri-faro deve prevedere una potenza installata inferiore, a parità di luminanza delle superfici illuminate, a quella di un impianto con apparecchi tradizionali; qualora il fattore di utilizzazione di torri-faro, riferito alla sola superficie di utilizzo, superi il valore di 0,5, gli impianti devono essere dotati di appositi sistemi di spegnimento o di riduzione della luminanza, nei periodi di non utilizzazione o di traffico ridotto.

7. Nell'illuminazione degli impianti sportivi progettati per contenere oltre cinquemila spettatori, le disposizioni di cui al comma 2, lettera a) sono derogabili, salvo l'obbligo di contenere al minimo la dispersione di luce verso il cielo e al di fuori delle aree verso le quali l'illuminazione è orientata. Devono essere tecnicamente assicurate la parzializzazione dell'illuminazione,

funzionale alla natura del suo utilizzo, e l'accensione dell'impianto limitata al tempo necessario allo svolgimento della manifestazione sportiva. Negli impianti sportivi è ammesso l'utilizzo di sorgenti luminose diverse da quelle di cui al comma 2, lettera b). L'illuminazione delle piste da sci deve aver luogo, compatibilmente con le esigenze di sicurezza, contenendo la dispersione di luce al di fuori della pista medesima ed il calcolo della luminanza deve tener conto dell'elevata riflettività del manto nevoso.

8. è vietato, su tutto il territorio regionale, l'utilizzo anche temporaneo, di fasci di luce fissi o rotanti, di qualsiasi colore e potenza, come i fari, i fari laser, le giostre luminose e ogni tipo di richiamo luminoso, a scopo pubblicitario o voluttuario, come i palloni aerostatici luminosi e le immagini luminose che disperdono luce verso la volta celeste. è altresì vietata l'illuminazione di elementi del paesaggio e l'utilizzo delle superfici di edifici o di elementi architettonici o naturali, per la proiezione o l'emissione di immagini, messaggi o fasci luminosi, a scopo pubblicitario o voluttuario.

9. Le modalità di illuminazione degli edifici devono essere conformi ai requisiti di cui al comma 2, lettera a), con spegnimento o riduzione della potenza d'illuminazione pari ad almeno il trenta per cento, entro le ventiquattro ore. Qualora l'illuminazione di edifici di interesse storico, architettonico o monumentale non sia tecnicamente realizzabile secondo i requisiti di cui al comma 2, lettera a), è ammesso il ricorso a sistemi d'illuminazione dal basso verso l'alto, con una luminanza media mantenuta massima sulla superficie da illuminare pari a 1 cd/m² o ad un illuminamento medio fino a 15 lux. In tal caso i fasci di luce devono comunque essere contenuti all'interno della sagoma dell'edificio e, qualora la sagoma sia irregolare, il flusso diretto verso l'alto non intercettato dalla struttura non deve superare il dieci per cento del flusso nominale che fuoriesce dall'impianto di illuminazione.

10. Per gli impianti di illuminazione esistenti alla data d'entrata in vigore della presente legge e non rispondenti ai requisiti di cui al presente articolo, fatte salve le norme vigenti in materia di sicurezza, è disposta la modifica dell'inclinazione degli apparecchi secondo angoli prossimi all'orizzonte, con inserimento di schermi paraluce atti a limitare l'emissione luminosa oltre i novanta gradi.

11. Ai fini dell'alta efficienza degli impianti si osservano le seguenti prescrizioni:

- a) impiegare, a parità di luminanza, apparecchi che conseguano impegni ridotti di potenza elettrica, condizioni massime di interesse dei punti luce e che minimizzino costi e interventi di manutenzione nell'illuminazione pubblica e privata per esterni. In particolare per i nuovi impianti di illuminazione stradale è fatto obbligo di utilizzare apparecchi con rendimento superiore al sessanta per cento, intendendosi per rendimento il rapporto fra il flusso luminoso che fuoriesce dall'apparecchio e quello emesso dalla sorgente interna allo stesso. Gli impianti di

illuminazione stradale devono altresì garantire un rapporto fra inter-distanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3,7; sono consentite soluzioni alternative solo in presenza di ostacoli, fisici o arborei, o in quanto funzionali alla certificata e documentata migliore efficienza generale dell'impianto; soluzioni con apparecchi lungo entrambi i lati della strada sono consentite nei casi in cui le luminanze di progetto debbano essere superiori a 1.5cd/m² o per carreggiate con larghezza superiore ai 9 metri;

- b)** massimizzazione della frazione del flusso luminoso emesso dall'impianto, in ragione dell'effettiva incidenza sulla superficie da illuminare (utilanza). La progettazione degli impianti di illuminazione esterna notturna dev'essere tale da contenere al massimo la luce intrusiva all'interno delle abitazioni e di ogni ambiente adiacente l'impianto.

Elenco delle tabelle

2.1	Livelli illuminotecnici categorie CE	14
2.2	Livelli illuminamento aree di parcheggio	15
3.1	Caratteristiche delle sorgenti	20
3.2	Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio AP da 250W	25
3.3	Disposizione e potenza apparecchi 150W sulle torri	27
3.4	Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio AP da 150W	27
3.5	Disposizione e potenza apparecchi LED sulle torri	30
3.6	Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti a LED	33
3.7	Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sulle torri	35
3.8	Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sui pali	38
3.9	Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti a LED in- tegrati	38
3.10	Disposizione e potenza apparecchi al sodio integrato sulle torri	41
3.11	Disposizione e potenza apparecchi LED integrati sui pali	41
3.12	Risultati dei livelli di illuminamento con sorgenti al sodio- LED integrati	42
5.1	Costi iniziali soluzione sodio 250W	57
5.2	Costi iniziali soluzione sodio 150W	57
5.3	Costi iniziali soluzione LED su torri faro	58
5.4	Costi iniziali soluzione LED integrato	58
5.5	Costi iniziali soluzione integrata sodio-LED	59
5.6	Costi manutenzione soluzione sodio 250W	59
5.7	Costi manutenzione soluzione sodio 150W	60
5.8	Costi manutenzione soluzione LED su torri	60
5.9	Costi manutenzione soluzione LED integrato	60
5.10	Costi manutenzione soluzione integrata sodio-LED	61
5.11	Riepilogo consumi energetici soluzioni	61
5.12	Confronto tra le soluzioni con i costi attualizzati (con tasso di sconto del 4%)	62

A.1	CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE E INDIVIDUAZIONE DELLA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI RIFERIMENTO	66
A.2	PARAMETRI DI INFLUENZA (SE RILEVANTI) CONSIDERATI PER LE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE DI RIFERIMENTO DI CUI ALLA TABELLA A PER DEFINIRE LA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	67
A.3	COMPARAZIONE DI CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE	68
A.4	INDICAZIONE SULLE VARIAZIONI DELLA CATEGORIA ILLUMINOTECNICA IN RELAZIONE AI PARAMETRI DI INFLUENZA	68

Elenco delle figure

1.1	Cartina ospedale	5
1.2	Grafico con la potenza attiva e reattiva totale	7
1.3	Grafico potenza apparente nelle tre fasi	8
1.4	Grafico potenza attiva delle 3 fasi	8
1.5	Grafico delle tensioni nelle tre fasi	9
1.6	Correnti delle tre fasi	9
1.7	Corrente di neutro	10
1.8	Correnti di 3a armonica	10
1.9	Correnti di 5a armonica	11
1.10	Correnti di 7a armonica	11
1.11	THD delle correnti di fase	12
3.1	Piani fotometrici	17
3.2	Curva fotometrica ristretta	17
3.3	Curva fotometrica aperta	18
3.4	Curva fotometrica MVP5061xSON250W	22
3.5	Curva isoluz a 25m della MVP506 1XSON-TPP250W A61 . .	22
3.6	Curve isolux sodio 250W	23
3.7	Reticolo punti illuminamento sodio 250W	24
3.8	Curva fotometrica MVP5061xSON150W	26
3.9	Curva isoluz a 25m della MVP506 1XSON-TPP150W A60 . .	26
3.10	Curve isolux sodio 150W	28
3.11	Reticolo punti illuminamento sodio 150W	29
3.12	Curva fotometrica Platea LED	30
3.13	Curve isolux LED sulle torri	31
3.14	Reticolo punti illuminamento LED su torri	32
3.15	Curva isoluz a 25m della Platea(LED): BA51-Floodlight 1xLED/44.1W	33
3.16	Curva fotometrica Monza LED	34
3.17	Curva isoluz a 25m della 1756 Monza - POWERLED	35
3.18	Curve isolux LED integrati	36
3.19	Reticolo punti illuminamento LED integrato	37
3.20	Curve isolux integrazione sodio-LED	39
3.21	Reticolo punti illuminamento integrazione sodio-LED	40

4.1	Consumi energetici soluzione sodio 250W	48
4.2	Consumi energetici soluzione 150W	49
4.3	Consumi energetici soluzione LED su torri	50
4.4	Consumi energetici soluzione LED integrato	51
4.5	Consumi energetici soluzione integrazione sodio-LED senza sensore	52
4.6	Consumi energetici soluzione integrazione sodio-LED con sen- sore	53
4.7	Consumi energetici soluzione attuale	54
4.8	Risparmio energetico delle soluzioni	55
5.1	Attualizzazione costi	57
B.1	Curva efficienza fotopica	69
B.2	Illuminamento ad un'altezza h	70

Bibliografia

- [1] UNI 11248. *“Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche”*, 2007
- [2] UNI EN 12464-2. *“Illuminazione dei posti di lavoro - parte 2: Posti di lavoro in esterno”*, 2008
- [3] UNI EN 13201-2. *“Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali”*, 2004
- [4] LEGGE REGIONALE 7 agosto 2009, n. 17. *“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.”*, 2009
- [5] Associazione Italiana Di Illuminazione. *“Corso base di illuminotecnica per esterni”*, 1996
- [6] Roberto Menga, CESI ricerca. *“Le migliori tecnologie disponibili per Illuminazione Pubblica”*, 2009
- [7] Siti internet. *“[www.http://www.ecat.lighting.philips.com/l/it/it/](http://www.ecat.lighting.philips.com/l/it/it/),
<http://www.philips.com>,
<http://www.schreder.com/8-1-20/default.aspx>,
<http://catalogo.disano.it/>,
<http://www.lanzini.it/>,
<http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/index.htm>,
<http://www.sitecoitalia.it/it/home.html>,
<http://catalogo.iguzzini.it/parametricsearch.aspx?lang=en>”*