

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA



*Valutazione economica ed energetica
dell'illuminazione
a LED*

Relatore

Prof. Arturo Lorenzoni

Laureando

Salmaso Gianluca

Anno Accademico 2009/10

A chi mi ha Sostenuto e Guidato..

Indice:

Sommario.....	VII
Introduzione.....	IX
1. Introduzione dei LED.....	1
1.1 Breve presentazione dei LED.....	1
1.2 Parametri caratteristici.....	2
1.3 Alimentazione.....	3
2. Analisi delle sorgenti luminose nell'uso domestico.....	5
2.1 Lampade ad incandescenza.....	5
2.2 Lampade alogene.....	5
2.3 Lampade fluorescenti.....	5
2.4 LED.....	6
2.5 Vantaggi e svantaggi.....	6
3. Approfondimenti sull'illuminazione a LED nell'uso domestico.....	7
3.1 Singoli LED.....	7
3.2 Lampade a più LED.....	9
3.2.1 Lampade a bulbo.....	9
3.2.2 Lampade "spot".....	11
4. Confronto energetico ed economico tra le varie tecnologie.....	13
4.1 Confronto energetico.....	13
4.2 Confronto economico.....	13
5. Norme per la progettazione di impianti di illuminazione stradale.....	19
5.1 UNI EN 13201.....	19
5.1.1 UNI EN 13201-1 "selezione delle classi di illuminazione".....	19
5.1.2 UNI EN 13201-2 "Requisiti prestazionali".....	22
6. Analisi delle sorgenti luminose nell'uso pubblico.....	25
6.1 Introduzione.....	25
6.2 Analisi delle varie sorgenti luminose.....	26
6.2.1 Lampade a vapori di mercurio.....	26
6.2.2 Lampade a vapori di sodio.....	26
6.2.3 Lampade a ioduri metallici.....	27
6.2.4 LED.....	28

6.2.5 Vantaggi e svantaggi.....	28
7. Approfondimento dell'illuminazione a LED nell'uso pubblico.....	29
8. Applicazione pratica della tecnologia a LED.....	33
9. Confronto energetico ed economico tra le varie tecnologie.....	39
9.1 Confronto energetico.....	39
9.2 Confronto economico.....	41
9.2.1 Confronto economico per un impianto nuovo.....	41
9.2.2 Confronto economico per un impianto esistente.....	45
10. Conclusioni.....	49
10.1 Illuminazione privata.....	49
10.2 Illuminazione pubblica.....	50
Appendice A	
Definizioni.....	51
Appendice B	
Programmi per il calcolo dei costi.....	53
Analisi dei costi per un impianto di illuminazione privata	
Uso commerciale.....	55
Uso domestico.....	59
Analisi dei costi per un impianto di illuminazione pubblica	
Nuovo.....	63
Esistente.....	69
Bibliografia.....	73

Sommario

In tale elaborato si è cercato di confrontare la tecnologia a LED con le tradizionali tecnologie che costituiscono le lampade siano esse per uso domestico che pubblico. La ricerca é fatta elencando le caratteristiche delle lampade di ultima generazione prodotte da alcune tra le più famose case costruttrici, per confrontarle successivamente con i dati delle lampade tradizionali, approfondendo poi l'argomento analizzando i costi di acquisto e quelli di utilizzo per un periodo pari alla durata di vita delle varie tecnologie.

L'analisi dei costi è fatta sulla base di una serie di ipotesi riportate in seguito.

Introduzione

Da molti anni a questa parte, il problema del consumo, dell'abbattimento dei costi, dell'adattamento al territorio e della produzione di CO₂ sono i temi più trattati in seminari o articoli, e gli accorgimenti per ovviare a tali problemi hanno investito tutto il settore industriale, passando, nell'ambito dell'energia, dalla produzione di energia pulita, fino alla recentissima esclusione dal commercio e dalla produzione delle ormai obsolete lampade ad incandescenza.

Il Protocollo di Kyoto è entrato in vigore il 16 febbraio del 2005 e, a partire dal 2008, ha obbligato i paesi industrializzati, maggiori responsabili delle emissioni di gas serra, a diminuirle, combinando politiche, misure e meccanismi finalizzati a rendere più efficiente, pulito e consapevole il nostro consumo di energia.

Si pensi che il consumo di energia per l'illuminazione globale equivale al 19% del consumo di energia del mondo, in particolare, nel 2005 in Italia, il consumo energetico per l'illuminazione è stato di 411 TW/h, producendo circa 4,2 tonnellate di CO₂.

Le tecnologie illuminotecniche sono sempre in fase di sviluppo e, dato che le attuali tecnologie risultano sempre avere un problema, chi per efficienza luminosa, come le lampade ad incandescenza, chi per il problema dello smaltimento, vedi le lampade fluorescenti o a vapori di mercurio, la nuova frontiera risulta essere quella dei LED.

Da essi infatti si cercano risposte sia per il risparmio energetico sia per la salvaguardia dell'ambiente, consapevoli che con essi si possono ridurre i consumi e le emissioni di CO₂

La tecnologia a LED non è affatto nuova e, nel **primo capitolo**, viene esposta brevemente la loro nascita e la loro evoluzione, ponendo particolare attenzione alle caratteristiche fisiche, tecniche e illuminotecniche di tale prodotto. Vengono inoltre esposti e spiegati i parametri caratteristici non solo dei tale tecnologia, ma di molte sorgenti luminose, questo perché sono termini che all'interno dell'elaborato vengono utilizzati per effettuare paragoni tra le varie tecnologie. Infine viene trattata con particolare attenzione anche l'alimentazione dei LED, in quanto risulta completamente diversa delle altre, dato che essi risultano alimentati da grandezze continue ed in particolare controllati in corrente.

Per effettuare un confronto bisogna conoscere anche i dati delle "rivali", ed è così che, nel **secondo capitolo**, vengono esposte le caratteristiche delle varie tecnologie utilizzate nell'illuminazione ad uso civile, passando dalle ormai obsolete lampade ad incandescenza fino ad arrivare alla più recente, i LED. Come ultimo paragrafo, viene effettuato un primo paragone. Vengono infatti esposti vantaggi e svantaggi di tale sorgente luminosa rispetto alle altre.

Dato che i prodotti che utilizzano questo tipo di tecnologia sono dei più svariati e ricoprono ormai qualsiasi tipologia di necessità, nel **terzo capitolo** vengono esposti vari modelli e tipologie di lampade attualmente in commercio. Vi sono prodotti che ricoprono tutti i campi che precedentemente erano affidati ad altre tipologie di lampade, svariando da quelle utili solo per l'utilizzo decorativo a vere e proprie lampade per l'illuminazione, che a loro volta si possono suddividere in lampade a bulbo e lampade spot, a seconda dell'angolo di emissione del flusso luminoso.

Interessante è il fatto che in questo capitolo si nota come queste lampade di ultima generazione presentano prestazioni veramente molto elevate rispetto alle dirette rivali presentando efficienza luminosa e durata di vita impareggiabili.

Dato i risultati riscontrati nel capitolo precedente, vi era il bisogno di riassumere quanto prima lasciato solo intendere. Nel **quarto capitolo** infatti vengono effettuati direttamente tali confronti, riguardanti prima solo le caratteristiche elettriche per poi approfondire l'analisi dei costi di acquisto e di utilizzo.

Le conclusioni ottenute da queste analisi risultano molto interessanti anche perché, l'analisi dei costi viene effettuata anche confrontata con i lumen generati dalla sorgente luminosa per tutta la sua durata di vita, ottenendo così una più completa valutazione anche nel lungo periodo, primaria caratteristica dei LED.

Dal **quinto capitolo** in poi, l'attenzione del lettore viene diretta verso l'illuminazione pubblica campo ben più interessante dato l'importanza che essa possiede sia a livello di consumi che di impatto ambientale.

In questo capitolo vengono innanzitutto elencate le norme che governano l'impianti di illuminazione stradale, in quanto, tutte le sorgenti luminose ed i progetti illuminotecnici pubblici devono rispondere a tali norme Europee ed italiane. Vengono riportate le tabelle e le metodologie di progettazione e determinazione dei requisiti minimi dei corpi illuminanti.

Dal **capitolo sei** ci si addentra nella vera e propria illuminazione pubblica. In tale capitolo infatti viene fatta una breve presentazione delle motivazioni per le quali l'illuminazione a LED risulta o meglio, risulterebbe, di maggior efficacia rispetto alle tradizionali tecnologie applicate fino ad ora. Proprio per tale motivo, è importante conoscere quali sono queste tecnologie tradizionali, infatti nel proseguo del capitolo, vengono elencate e brevemente analizzate le varie sorgenti luminose, concludendolo sempre con una breve analisi dei vantaggi e svantaggi ottenuti confrontandole tra loro.

Proseguendo l'elaborato, vengono presentate varie tipologie di lampade per l'illuminazione pubblica attualmente in commercio riportando per ognuna di esse le caratteristiche costruttive per permetterci di confrontarle con le altre tipologie di lampade in commercio.

Nel **capitolo sette** infatti vengono riportati vari esempi di lampade, prodotte da case costruttrici italiane, che attualmente sono utilizzate in impianti già in funzione in Italia e all'estero.

Viene inoltre riportata l'importante possibilità dei LED di essere alimentati a bassa tensione e quindi direttamente mediante la collocazione di piccoli pannelli solari direttamente sopra la lampada, riducendo così ulteriormente i costi di utilizzo.

L'**ottavo capitolo** pubblicizza proprio le applicazioni pratiche di questa tecnologia nel terreno Italiano. Vengono infatti riportati i primi tre esempi di utilizzo dei LED nell'illuminazione pubblica, primo su tutti il comune di Torraca che nel 2007 è stata soprannominata la prima "LED-city" al mondo. A rafforzare le tante parole, sono riportati foto, documenti pubblici, e dichiarazioni riguardanti proprio i luoghi di interesse riportati nel capitolo.

Risulta molto interessante e di immediato risalto la continua e rapida evoluzione di questa tecnologia che in soli due anni ha migliorato nettamente i risultati ottenuti dagli impianti di illuminazione installati.

Come effettuato per le lampade per uso domestico, anche per l'illuminazione pubblica viene effettuato un diretto confronto tra le lampade a LED e le altre tipologie, **capitolo nove**. Come nel capitolo quarto, anche qui viene prima effettuato un confronto basato solo sulle caratteristiche elettriche delle varie tecnologie per poi passare ad una più approfondita analisi dei costi, anche questa volta sia quelli di acquisto che quelli di utilizzo.

Vengono poi riportate le conclusioni, sia per impianti privati che pubblici e, nelle appendici, sono riportate le definizioni delle terminologie utilizzate all'interno dell'elaborato ed i risultati ottenuti dai programmi in Excel per l'analisi dei costi, sia nel caso dell'utilizzo in applicazioni domestiche che in quello pubblico.

G.S.

1. INTRODUZIONE DEI LED

1.1 Breve presentazione dei LED:

I LED, acronimo di Light Emitting Diode (diodo ad emissione luminosa), hanno le caratteristiche di un diodo, ovvero è costituito essenzialmente da una giunzione P-N che, se polarizzata direttamente, emette una radiazione luminosa dovuta all'effetto di elettroluminescenza della giunzione, ovvero quel fenomeno, scoperto nel 1923 da Lossev, per cui, a seguito di una ricombinazione tra una lacuna ed un elettrone si ha la formazione di una radiazione elettromagnetica, dovuta all'energia liberata durante tale fenomeno.

Tale fenomeno venne poi perfezionato ed applicato alla tecnologia LED nel 1962, mediante l'utilizzo di particolari semiconduttori, come l'arseniuro di Gallio (GaAs), da Nick Holonyak Jr.

I materiali principalmente usati per la costruzione di questi particolari diodi sono:

GaAs (Arseniuro di Gallio),

GaP (Fosfuro di Gallio),

GaAsP (Fosfuro Arseniuro di Gallio),

SiC (Carburo di Silicio),

GaInN (Nitruro di Gallio e Indio);

La frequenza della radiazione emessa dipende dal materiale utilizzato nella giunzione P-N, e di conseguenza si ha una variazione del colore del LED.

A seconda del drogante utilizzato, i LED producono i seguenti colori:

- AlGaAs (Arseniuro di Alluminio - Gallio)- rosso ed infrarosso
- GaAlP (Fosforuro di Gallio e Alluminio)- verde
- GaAsP (Arseniuro di Gallio - Fosforo) - rosso, rosso-arancione, arancione, e giallo
- GaN (Nitruro di Gallio) - verde e blu
- GaP (Fosfuro di Gallio) - rosso, giallo e verde
- ZnSe (Selenio di Zinco)- blu
- InGaN (Nitruro di Gallio e Indio)- blu-verde, blu
- InGaAlP (Fosforuro di Alluminio, Gallio e Indio)- rosso-arancione, arancione, giallo e verde
- SiC come substrato - blu

I primi LED erano disponibili solo nel colore rosso. Venivano utilizzati come indicatori nei circuiti elettronici e nei display a sette segmenti, Successivamente vennero sviluppati LED che emettevano luce gialla e verde e vennero realizzati dispositivi che integravano due LED, generalmente uno rosso e uno verde, nello stesso contenitore permettendo di visualizzare quattro stati (spento, verde, rosso, verde+rosso=giallo) con lo stesso dispositivo.

Negli anni novanta vennero realizzati LED con efficienza sempre più alta e in una gamma di colori sempre maggiore fino a quando con la realizzazione di LED a luce blu fu possibile realizzare dispositivi che, integrando tre LED (uno rosso, uno verde e uno blu), potevano generare qualsiasi colore.

I principali vantaggi di questa tecnologia attualmente sono:

- Elevata affidabilità ed efficienza
- lunga durata di vita
- basso consumo.

1.2 Parametri caratteristici

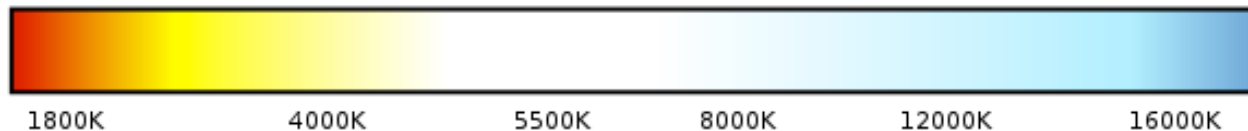
I parametri che caratterizzano i LED sono:

- **corrente diretta:** I_f , è il valore di corrente necessaria al LED per ottenere l'intensità luminosa voluta, in mA;
- **tensione diretta:** V_f , è la tensione presente fra i due terminali quando il LED è percorso dalla corrente diretta: nella maggior parte dei LED è compresa tra 1,5 e 3V per LED normali e da 3 a 5V per LED ad alta luminosità (HL).

Da ricordare che la tensione diretta dei LED varia anche in base al colore:

Colore	V_f
Infrarosso	1,3
Rosso	1,8
Giallo	1,9
Verde	2
Arancio	2
Blu- Bianco (HL)	3

- **temperatura di colore:** temperatura alla quale il corpo nero dovrebbe essere portato affinché emetta una luce il più possibile simile a quella della sorgente presa in esame. (Dire che una lampada ha una temperatura di colore di 3000 K significa che la luce prodotta da essa ha la stessa tonalità di quella generata dal corpo nero portato alla temperatura di riferimento di 3000 K.)



- **flusso luminoso:** è la quantità di energia che la luce emette in un secondo in tutte le direzioni, rappresenta quindi la sensazione luminosa legandola alla potenza dello stimolo. Il flusso luminoso di un LED viene generalmente indicato in relazione alla potenza dello stesso (**efficienza luminosa**) ed in condizioni “standard” di esercizio. Generalmente un Power LED, con temperatura di colore a 6000°K, corrente diretta 350 mA e temperatura ambiente di 25°C, ad inizio vita presenta circa 80-100 lm/W.
- **efficienza:** è la relazione tra intensità luminosa^[1] emessa misurata in millicandele (mcd), e la corrente elettrica in milliAmpere (mA) ; i valori possono essere fra 0,5 - 2 mcd a 20 mA, ed arrivano, ad alta efficienza, fino a 20 mcd a 10 mA;
- **vita media del LED:** ore passate le quali la sorgente a LED presenta un decadimento del flusso luminoso iniziale pari al 30%. Generalmente si attesta attorno alle 50000h – 60000h.

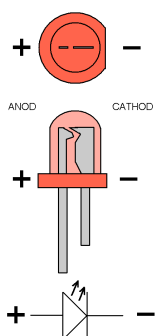
Molti di questi parametri verranno utilizzati come termini di confronto tra le varie tecnologie illuminotecniche.

[1] intensità luminosa = Significato riportato nell'appendice A al punto 3

1.3 Alimentazione

Particolare attenzione deve essere posta sulla alimentazione dei LED.

Data la loro costruzione, presentano una propria polarità che deve essere rispettata al momento dell'inserzione in un circuito elettrico.



Per costruzione nel componente viene individuato un anodo (+) ed un catodo (-) che individuano proprio la sua polarità. Per individuarli fisicamente, solitamente nei LED di nuova costruzione, il terminale dell'anodo risulta essere più lungo rispetto a quello del catodo.

Di notevole interesse è il fatto che sono dispositivi che necessitano di pilotaggio in corrente e non in tensione, al contrario delle altre tecnologie.

Ciò può essere fatto utilizzando un generatore di corrente o, più semplicemente, ponendovi in serie una resistenza per limitare la corrente per una data tensione di alimentazione V_a .

Il valore della corrente diretta I_f può variare da 5-6 mA a circa 20 mA nei LED ad alta luminosità.

Per il calcolo della resistenza R_s da porre in serie si utilizza la formula :

$$R_s = (V_a - V_f) / I_f$$

Poiché i LED sopportano una bassa tensione inversa (solo pochi volt), se vengono alimentati a corrente alternata occorre proteggerli ponendovi in parallelo un diodo con polarità invertita rispetto al LED stesso, in modo da vincolarne la tensione.

Attualmente l'alimentazione viene comunque controllata da un piccolo circuito elettronico (alimentatore) che controlla intensità ed andamento della corrente.

Dato che il passaggio di corrente all'interno di componenti passivi è sede di perdite per effetto joule, l'alimentatore risulta essere un limite per le prestazioni del LED stesso in quanto l'intensità della corrente, e quindi la quantità di luce emessa, è vincolata al surriscaldamento dei componenti.

I recenti dispositivi progettati per impieghi professionali hanno una forma adatta ad accogliere un dissipatore termico, assolutamente necessario per smaltire il calore prodotto: sono ormai in commercio LED a luce bianca con potenza di 10 watt e corrente assorbita di 1 ampere.

Gli alimentatori attualmente in commercio sono dimensionati per alimentare più LED e per proteggere il circuito da sovracorrenti e sovratensioni. Hanno dimensioni abbastanza ridotte ed un costo variabile in base alla potenza d'uscita che possono alimentare.

Dal sito Spazialis.com si trovano prezzi indicativi:

Serie SPA-LPC-20 da 16 a 21W costo 28,00€
Watt range 16-21W. Da 350 a 700mA

Serie SPA-LPC-35 da 31 a 34W costo 35,00€
Watt range 31-34W. Da 700-1050-1400mA

Serie SPA-LPC-60 da 50 a 60W costo 39,00€
Watt range 50-60W. Da 1050-1400-1750mA

2. ANALISI DELLE SORGENTI LUMINOSE NELL'USO DOMESTICO

2.1 Lampade ad incandescenza

La lampada ad incandescenza è una sorgente luminosa in cui la luce viene prodotta dal riscaldamento (fino a circa 2700 K) di un filamento di tungsteno attraverso cui passa la corrente elettrica. La luce è quindi generata sfruttando l'effetto Joule. Con tale tecnologia, ormai obsoleta, si ha che solo il 5% dell'energia viene convertita in luce, mentre il resto viene perso in calore.

Esse presentano quindi una bassa efficienza luminosa (8-15 lm/W) e una vita limitata, se confrontata con altri tipi di lampade. Durante il funzionamento infatti il tungsteno evapora, e il filamento diventa sempre più sottile, fino a spezzarsi dopo circa 1000-1500 ore di funzionamento.

Come vantaggi presentano la facilità di utilizzo visto l'immediata accensione e al fatto che non sono richieste apparecchiature ausiliare per l'accensione.

Inoltre la resa dei colori è ottima ($CRI^{[1]}=100$).

2.2 Lampade alogene

La lampadina alogena è una particolare lampada ad incandescenza, ma ci sono alcune fondamentali caratteristiche che differenziano i due dispositivi.

Al gas contenuto nel bulbo viene aggiunto iodio, kripton, e a volte, xeno per permettere il riscaldamento del filamento fino a oltre 3000 K, in modo da aumentare l'efficienza luminosa e spostare verso l'alto la temperatura di colore.

Nelle alogene il tungsteno che evapora a causa della temperatura elevata reagisce con il gas formando un alogenuro di tungsteno. Successivamente il composto, entrando in contatto con il filamento incandescente si decompone e rideposita il tungsteno sul filamento stesso realizzando un ciclo, il ciclo alogeno. In questo modo la durata di vita di una lampada alogena può risultare doppia di quella di una lampadina ad incandescenza normale, sebbene il filamento sia molto più caldo.

Oltre alla doppia durata di vita, tale tipo di lampade hanno una efficienza luminosa maggiore alle normali lampade ad incandescenza (16/25 lm/W), ma hanno un costo decisamente più elevato, una maggiore temperatura di funzionamento e sono molto più delicate.

2.3 Lampade fluorescenti

È costituita da un tubo di vetro, che può essere lineare, circolare o variamente sagomato, al cui interno è dapprima praticato il vuoto, poi introdotto un gas nobile (argon, xeno, neon, o kripton) a bassa pressione ed una piccola quantità di mercurio liquido, che in parte evapora mescolandosi al gas nobile.

Per accendersi hanno bisogno di una tensione di innesco elevata che si crea grazie allo starter e di un dispositivo che limiti la corrente di funzionamento ovvero del reattore.

La loro efficienza luminosa è più alta delle lampade viste prima (40/90 lm/W), e lo stesso vale per la loro vita media, molto maggiore rispetto a quelle a incandescenza, ma la loro durata può essere fortemente influenzata dal numero di accensioni e spegnimenti.

Il valore che viene fornito dalle aziende produttrici è generalmente calcolato con cicli di accensione di 8 ore, e va dalle 12-15000 ore delle lampade tubolari alle 5-6000 ore delle lampade compatte.

La resa cromatica ha valori che variano, a seconda dei modelli, da 65 a 85.

Bisogna inoltre considerare che tale lampade soffrono di un forte decadimento luminoso con il passare delle ore di funzionamento e quindi l'efficienza luminosa cambia con il passare del tempo.

[1] CRI = Fattore di resa cromatica: definisce la capacità di una sorgente luminosa di restituire fedelmente i colori rispetto ad una sorgente luminosa di riferimento. La scala varia da 100 (accordo perfetto fra luce campione e luce di riferimento) a 0 (nessun accordo)

2.4 LED

I LED stanno gradualmente entrando a far parte dei componenti per l'illuminazione e, come visto prima, sono ottenuti sfruttando le caratteristiche dei semiconduttori come visto prima.

Abbiamo detto che essi hanno la possibilità di generare luce di vari colori in base alla loro costruzione ed ai valori di tensione e corrente di alimentazione.

Il colore del LED per illuminazione è classificato in Warm White, Natural White e Cold White.

I LED "Cold White" emettono una luce con temperatura di colore tipica di 5600 K molto indicata per applicazioni esterne.

I LED "Warm White" emettono una luce molto più calda, con una temperatura di colore media di 3250 K con un CRI 80. Tale valore li porta ad essere molto indicati per applicazioni d'interno e dovunque ci sia la necessità di evidenziare i colori in maniera viva e brillante.

I LED "Natural White", compromesso tra luminosità, temperatura di colore e fattore di resa cromatica, rappresentano la nuova frontiera ed sono la scelta più indicata per abbinamenti a sorgenti luminose già presenti nel paesaggio.

Dalla miscelazione di tali tecnologie nasce il Dynamic White, che permette di ottenere range di bianchi da una temperatura di colore di 3100 K fino ad una di 6500 K, tale strumento è l'ideale per ambienti commerciali che ricercano la valorizzazione della merce esposta.

L'efficienza luminosa di tale tecnologia è molto elevata e si aggira tra i 50/100 lm/W con una durata di vita che si aggira attorno alle 50000 ore.

2.5 Vantaggi e Svantaggi

Da quanto scritto qui sopra si può dedurre che i LED rappresentano un'ottima sorgente luminosa e da qui nasce l'idea di utilizzare tale tecnologia per l'illuminazione privata e pubblica.

Dato il ridotto consumo (spiegato meglio in seguito), si ha, durante l'utilizzo, un risparmio di energia rispetto alle altre sorgenti luminose, inoltre, vista l'elevata durata la vita, necessitano di una minor manutenzione, riducendo così ancora i costi.

Altro vantaggio, oltre alle ridotte dimensioni che permettono di indirizzare il flusso luminoso direttamente dove desiderato senza l'utilizzo di particolari parabole o ottiche, è il fatto che risultano essere una tecnologia con ridotte emissioni di calore e possono quindi essere utilizzati anche in luoghi che con altre tecnologie potrebbero risultare problematici.

Il piccolo angolo di illuminazione può risultare un vantaggio ma al tempo stesso anche uno svantaggio in quanto vi è bisogno di più corpi illuminanti per ottenere una illuminazione efficace ed inoltre la luce emessa non risulta distribuita in modo uniforme ma concentrata in una determinata zona.

Tali lampade risultano avere un costo di acquisto superiore rispetto a quelle ad incandescenza o fluorescenti e, dato che la maggior parte di esse funzionano a bassa tensione, accorgimento ottimale per un abbinamento con impianti di produzione di energia fotovoltaici, presentano la necessità di essere alimentati mediante l'utilizzo di alimentatori che ne alzano ulteriormente il costo e l'ingombro.

Altro vantaggio dell'illuminazione a LED sono le infinite variazioni cromatiche che permettono le lampade RGB, ottimali per creazione di particolari atmosfere utili per l'illuminazione decorativa in determinati luoghi pubblici.

Valutati quindi vantaggi e svantaggi di tale tecnologia, non possiamo dire con certezza se le lampade a LED risultano essere più convenienti rispetto a quelle tradizionalmente utilizzate fino ad ora, ma ogni determinato caso deve essere preso in considerazione facendo una attenta analisi delle condizioni e di installazione e di funzionamento dell'impianto interessato.

3. APPROFONDIMENTI SULL'ILLUMINAZIONE A LED NELL'USO DOMESTICO

3.1 Singoli LED

I LED utilizzati per l'illuminazione prendono il nome di "LED di potenza" e differiscono dai normali "LED di segnalazione" proprio per la loro funzione di sorgente luminosa. Essi infatti emettono luce sufficiente per molte applicazioni luminose.

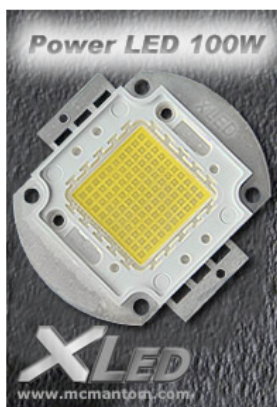
I singoli corpi illuminanti hanno solitamente potenze di:

- 1 Watt
- 2 Watt
- 5 Watt

vi sono però prodotti, detti High Power che possono raggiungere potenze di:

- 10 Watt
- 12 Watt
- 20 Watt
- 50 Watt
- 100 Watt
- 300 Watt (ancora in fase di studio)

Queste grandi potenze però sono ottenute raggruppando LED di minor potenza in un piccolo circuito stampato. Ad esempio, il LED da 100W è ottenuto riunendo 100 LED da 1W in una finestra di soli 4cm². Logicamente tale tecnologia comporta ottime caratteristiche di illuminazione:



- Angolo di emissione 120°/140°
- Intensità luminosa: 5000/6000 lm
- Temperatura di colore: 6500K

ma allo stesso tempo degli svantaggi:

- Difficoltà di smaltimento del calore vista la piccola superficie del prodotto
- Corrente di alimentazione relativamente elevata: 3500mA
- Possibilità di danneggiamento agli occhi se guardati da distanze troppo ravvicinate.

Nelle lampade comunemente vendute vengono di norma utilizzati LED di potenza da 1W o 2W le cui principali caratteristiche sono:

• LED 1W:

- Tensione di alimentazione nominale: 1,5 - 3,5 V
(La tensione di alimentazione dipende dal colore del LED)
- Corrente di Alimentazione nominale: 350mA cc
- Angolo di emissione: 20° - 50° - 90°
(Con particolari riflettori a parabola si possono arrivare ad angoli di 110° - 120°)
- Intensità luminosa: 50 - 80 lm
(l'intensità luminosa dipende dal colore stesso del LED:
 - Bianco 60 - 80 lm
 - Bianco Warm 55 - 75 lm
 - Blu 18 - 22 lm
 - Giallo 35 - 40 lm
 - Verde 55 - 65 lm
 - Rosso 35 - 40 lm

• LED 2 W:

Tensione di alimentazione nominale:	1,5 - 3,5 V
Corrente di alimentazione nominale	700mA cc
Angolo di emissione:	20° - 50° - 90°
(Con particolari riflettori a parabola si possono arrivare ad angoli di 110° - 120°)	
Intensità luminosa:	100 - 130 lm

(l'intensità luminosa dipende dal colore stesso del LED:

Bianco	130 150 lm
Bianco Warm	120 lm
Blu	26 - 30 lm
Giallo	70 - 80 lm
Verde	100 - 120 lm
Rosso	65 - 75 lm

Anche se con scarsi risultati a livello di illuminazione, vi sono prodotti che utilizzano singolarmente tale tecnologia, ad esempio la "NOVALLURE 2W" prodotta dalla Philips.

A loro favore, oltre ad essere progettate per essere utilizzate direttamente nell'uso domestico, la particolare forma "a goccia" che le rendono ideali per l'utilizzo in lampadari di particolare design (lampadari a bracci o apparecchi moderni)

Caratteristiche del prodotto:



Tensione di alimentazione:	230 - 240V
Potenza	2W
Attacco	E14
Durata di vita media	15000 hr
Colore	Bianco Warm
Temperatura di colore	3000K
Indice di resa cromatica	80
Flusso luminoso	50 lm
Efficienza luminosa	25 lm/W

Dalle curve fotometriche riferite a tale tipo di lampada si può notare che la distribuzione del flusso luminoso è diretta principalmente lateralmente alla lampada con un valore di intensità/Klm prossimo al 100.

Dato le caratteristiche della lampada e i dati letti nelle curve possiamo concludere che tale lampada non ha una capacità di illuminazione molto spinta:

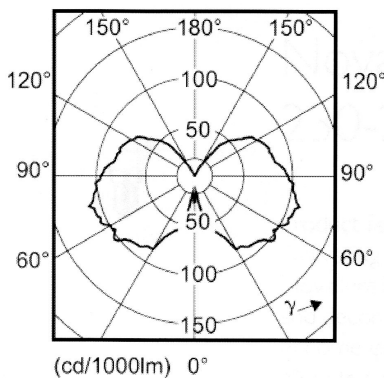
$$\text{Intensità Luminosa} = 100 \times 50 / 1000 = 5 \text{ cd}$$

(considerando che per una normale lampada ad incandescenza si ha circa una uguaglianza tra i W assorbiti e le candele rese).

E' quindi una lampada da utilizzare accoppiata ad altre, in concordanza con quanto detto prima.

Il prezzo di tale lampada si aggira intorno ai 18,00 euro.

Vi sono altri modelli di lampade da 1W, prodotte sempre dalla Philips, che presentano una forma più arrotondata ed una emissione di luce più uniforme rispetto a quelle appena analizzate, ma che presentano comunque scarsi valori di efficienza luminosa e che quindi vengono impiegate principalmente come lampade ad uso decorativo in quanto progettate anche per cambiare colore



Novallu. 2W E14/WH 230-240V

mediante l'utilizzo di LED RGB attraverso i quali si possono ottenere tutte le tonalità cromatiche desiderate.

Lampade "DecoLED Philips"

Caratteristiche del prodotto:



Tensione di alimentazione:	230 - 240V
Potenza	1W
Attacco	E14 / E27
Durata di vita media	20000 hr
Colore	Bianco, verde, blu, rosso, giallo, cambia colore
Indice di resa cromatica	84 (valido solo per il colore cool white)
Flusso luminoso	variabile a seconda del colore: rosso 4 lm verde 15 lm blu 4 lm bianco 6 lm
Efficienza luminosa	Pari al flusso luminoso visto la potenza di 1 W

Come detto sopra, le caratteristiche confermano che tale tipo di lampada, pur avendo un emissione di luce più distribuita rispetto alla "NOVALLURE 2W", presenta comunque delle caratteristiche di illuminazione molto ridotte.

Per migliorare le caratteristiche bisogna utilizzare più LED per la costruzione delle lampade stesse in modo da aumentarne la potenza.

3.2 Lampade a più LED

Ecco che nascono quindi lampade di potenza leggermente superiore che vanno dai 3 W ai 8W per quelle di uso più comune nelle applicazioni civili.

Data la particolare caratteristica dei LED di avere un angolo di emissione molto stretto vengono studiati diversi tipi di lampada in base alle applicazioni. Si fa una distinzione tra lampade "Spot" e lampade a bulbo, le prime con un angolo di emissione molto stretto ma con valori di efficienza luminosa elevati, le seconde con una luce più distribuita ma con efficienza luminosa leggermente inferiore.

3.2.1 Lampade a bulbo

Le lampade a bulbo consentono l'irradiazione della luce in tutte le direzioni, offrendo dunque una valida alternativa alle lampade di uso comune. Molte di esse sono anche regolabili in intensità. Avendo un attacco di tipo E27 o E14 ed alimentabili direttamente con la tensione di rete, sono direttamente sostituibili a lampade ad incandescenza da 25 e 40W offrendo quindi un notevole risparmio di energia e riducendo, vista la durata di vita molto più elevata, i costi di manutenzione.

In commercio sono già presenti diversi modelli di lampade prodotti da varie case. Si riportano degli esempi:

(segue)

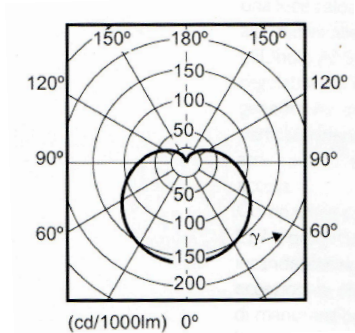
Philips MASTER LEDbulb A60

Lampada da 7W di colore bianco caldo (Warm white) che offre la possibilità di una regolazione dell'intensità fino al 10%.



Attacco	E27
Durata di Vita	25000 hr
Potenza	7W
Tensione di alimentazione	230V
Colorazione	Warm White 2700K
Flusso Luminoso	400 Lm
CRI	80
Efficienza luminosa	57 Lm/W

La curva fotometrica di tale lampada permette le seguenti considerazioni:



- La distribuzione del flusso luminoso è in tutte le direzioni;
 - Non vi è emissione di luce verso l'alto quindi l'inquinamento luminoso è ridotto a zero;
 - Intensità luminosa pari a 60 cd
 $400/1000 \times 150 = 60 \text{ cd}$
- Valore relativamente buono se paragonato alle circa 40 cd di una lampada da 40W ad incandescenza.

Altri modelli di lampade simili a questo sono in commercio:

Osram PARATHOM CLASSIC A40



Potenza:	8 W
Attacco:	E27
Durata media:	fino a 25.000 ore
Tonalità di luce:	warm white
Non adatta all'utilizzo con dimmer	

Xled Lampadina a LED 5W



Consumo e sorgente luminosa:	5W - 41 LED
Angolo di emissione:	360° orizzontale - 240° verticale
Intensità luminosa:	450 lm Cold white 420 lm Warm White
CRI:	75
Attacco:	E27 / E14
Durata di vita:	25000 hr
Costo:	35,00 €

Le prestazioni di tutte queste lampade risultano più o meno simili tra loro e sono tutte paragonabili a lampade ad incandescenza da 40W, a quelle fluorescenti compatte da 10W (550 lm, 20000 hr, CRI 85) oppure a quelle alogene da 28W (340 lm, 2000 hr, CRI 100).

3.2.2 Lampade Spot

Vista la peculiarità dei LED ad avere un angolo di emissione ridotto vengono progettate lampade che generano un fascio di luce stretto ma molto intenso.

Avendo tutte le caratteristiche dei LED, si ha che esse generano una luce priva di raggi UV e infrarossi e quindi ottime per l'illuminazione di oggetti sensibili al calore (alimenti, dipinti, materiali organici..)

Lampade di questo tipo sono più reperibili in commercio rispetto a quelle a bulbo, ad esempio:

Osram DECOSPOT LED PAR16



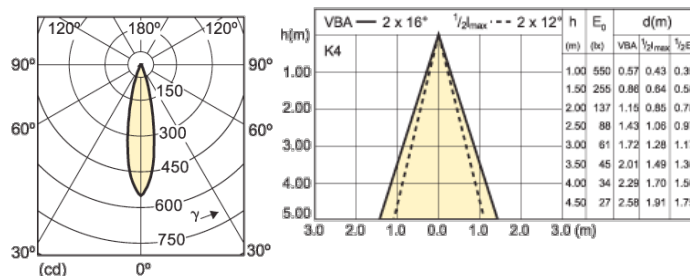
Potenza:	1W
Attacco:	E14
Tensione di alimentazione:	230V
Durata di vita:	25000 hr
Colore:	White 5500K
Angolo di emissione:	20°
Intensità luminosa:	100 cd

oppure:

Philips MASTER LEDspotLV 4-20W 3000K MR16 24D



Potenza:	4W
Attacco:	GU5.3
Tensione di alimentazione:	12V
Durata di vita:	45000 hr
Colore:	White 3000K
Angolo di emissione:	24°
Flusso luminoso:	105 lm



Dalle curve fotometriche fornite da Philips si può confermare ancora che l'angolo di emissione di tali lampade è molto stretto ma hanno elevate capacità di illuminazione, arrivando a circa 500 cd.

XLED MR16 5W 60°



Potenza:	5W
Attacco:	GU5.3
Tensione di alimentazione:	12V
Durata di vita:	50000 hr
Colore:	Cold White 6000K Warm White 3000K
Angolo di emissione:	60°
Flusso luminoso:	220 lm - Cold white 170 lm - Warm White

Le lampade appena analizzate risultano quindi paragonabili a lampade a incandescenza da 20 - 35 W oppure lampade alogene da 30-50W logicamente di tipo spot anch'esse.

4. CONFRONTO ENERGETICO ED ECONOMICO TRA LE VARIE TECNOLOGIE

4.1 Confronto Energetico

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva di tutte le caratteristiche elettriche ed illuminotecniche delle lampade solitamente utilizzate nell'uso domestico (lampade a bulbo).

Le lampade prese in considerazione sono tali da essere messe in paragone, ovvero presentano più o meno lo stesso stesso flusso luminoso.

Tipo	Potenza [W]	Tensione [V]	Flusso Luminoso [lm]	Durata di Vita [hr]	CRI	Temperatura di colore [K]	Efficienza Luminosa [lm/W]
Incandescenza	40	230	420	1500	100		10
Alogena	28	230	325	2000	100	2800	12
Fluorescente Compatta	10	230	550	15000	85	2500	55
LED	7	12 - 230	400 - 450	30000	75-80	Cold White 6000 Warm White 3000	64

Tutti i dati sono presi dal catalogo Osram.

Bisogna fare delle particolari considerazioni sulle lampade fluorescenti:

- la durata di vita è calcolata fino alla rottura, ma il flusso luminoso si riduce notevolmente con il passare delle ore:
- vita media al 50% del flusso luminoso: 12000 h
- flusso luminoso dopo 2000 h: 85%
- flusso luminoso dopo 5000 h: 80%

Dalla tabella si possono fare le seguenti considerazioni:

1. Le lampade a LED risultano avere una minor potenza nominale e quindi un risparmio in termini di assorbimento di energia;
2. La durata di vita delle lampade presentano un grande salto di durata se si paragona incandescenza ed alogene a quelle fluorescenti e LED;
3. Nonostante il flusso luminoso maggiore risulti essere quello delle lampade fluorescenti compatte, le lampade a LED risultano avere la maggior efficienza luminosa.
4. L'accensione dei LED è immediata come quella delle lampade ad incandescenza ed alogene, mentre per le lampade fluorescenti bisogna attendere qualche minuto per avere il 100% del flusso luminoso.

4.2 Confronto economico

Il confronto economico tra le varie tipologie di lampade viene effettuato tenendo conto della durata di vita delle lampade stesse, di un tasso di interesse pari al 5% annuo ed ad un costo dell'energia costante in tutte le fasce orarie.

Partendo inoltre dalle ipotesi di utilizzare una lampada in un ambiente commerciale, ipotizziamo un utilizzo di 8 ore giornaliere.

Il confronto viene fatto riferendo i costi ad un anno "tipo" e quindi il costo di acquisto delle varie lampade viene attualizzato ad "oggi" mediante l'utilizzo del fattore di attualizzazione, che tiene conto del tasso di interesse annuo e della durata di vita della lampada, riferita alle ore di utilizzo annue.

Di seguito viene riportata una tabella che riassume i valori dei fattori di attualizzazione:

$$f.a. = i / (1 - (1+i)^{-n})$$

dove: i = tasso di interesse annuo

Tipo di Lampada	Anni di funzionamento n	Fattore di attualizzazione f.a.
Incandescenza	0,51	2,02
Alogena	0,68	1,521
Fluorescente compatta	5,14	0,226
LED	10,27	0,127

Grazie ai fattori appena calcolati, si possono riportare i costi di acquisto ad “oggi”, considerando per ogni tecnologia la durata di vita che risulta nettamente variabile, ottenendo così dei costi annui riferiti alle varie lampade.

Tipo di lampada	Costo di acquisto [€]	Costo annuo [€/anno]
Incandescenza	1	2,02
Alogena	4	6,09
Fluorescente	3	0,68
LED	35	4,44

Successivamente sono stati calcolati i consumi dei vari modelli di lampade in base alla potenza nominale della stessa ed al costo dell'energia, logicamente attualizzando anche questi calcoli per avere un riscontro veritiero.

Tutti i calcoli sono riportati nel primo programma riportato nella appendice B.

Ad i costi orari si sommano i costi di acquisto ottenendo così i costi totali della lampada riferiti per l'anno “tipo” permettendoci quindi di confrontare le varie tecnologie sulla base dei costi annui.

Il risultato è:

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
1	23,04	20,80	5,93	8,12

Si ha quindi che, nonostante una prima impressione secondo cui la tecnologia a LED sembra essere la più costosa, come si può facilmente dedurre dal grafico dei costi per Watt, si ha che ad una più attenta analisi dei costi essa risulta essere tra le più economiche, posizionandosi subito dopo le lampade fluorescenti.

I costi relativi all'anno “tipo” si possono facilmente confrontare grazie al secondo grafico, dove sono riportati proprio i costi totali delle varie tecnologie.

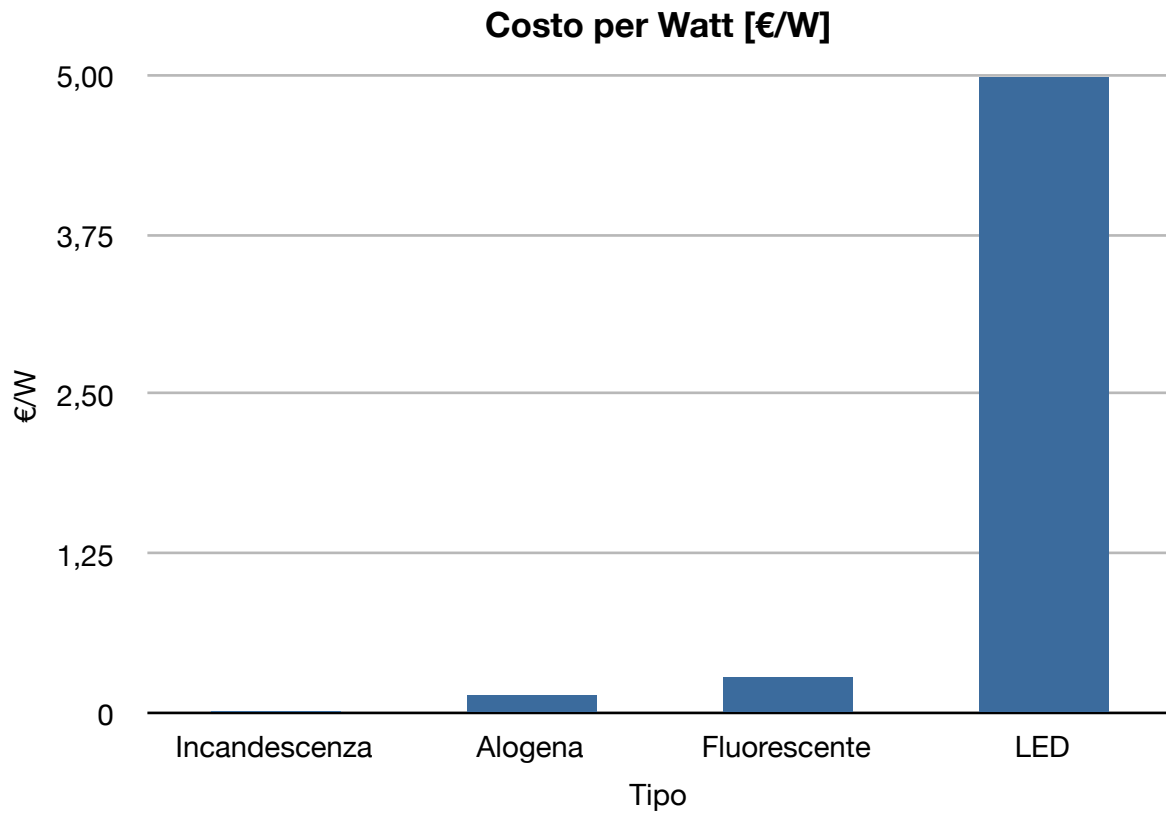


Grafico 1- Costo per Watt

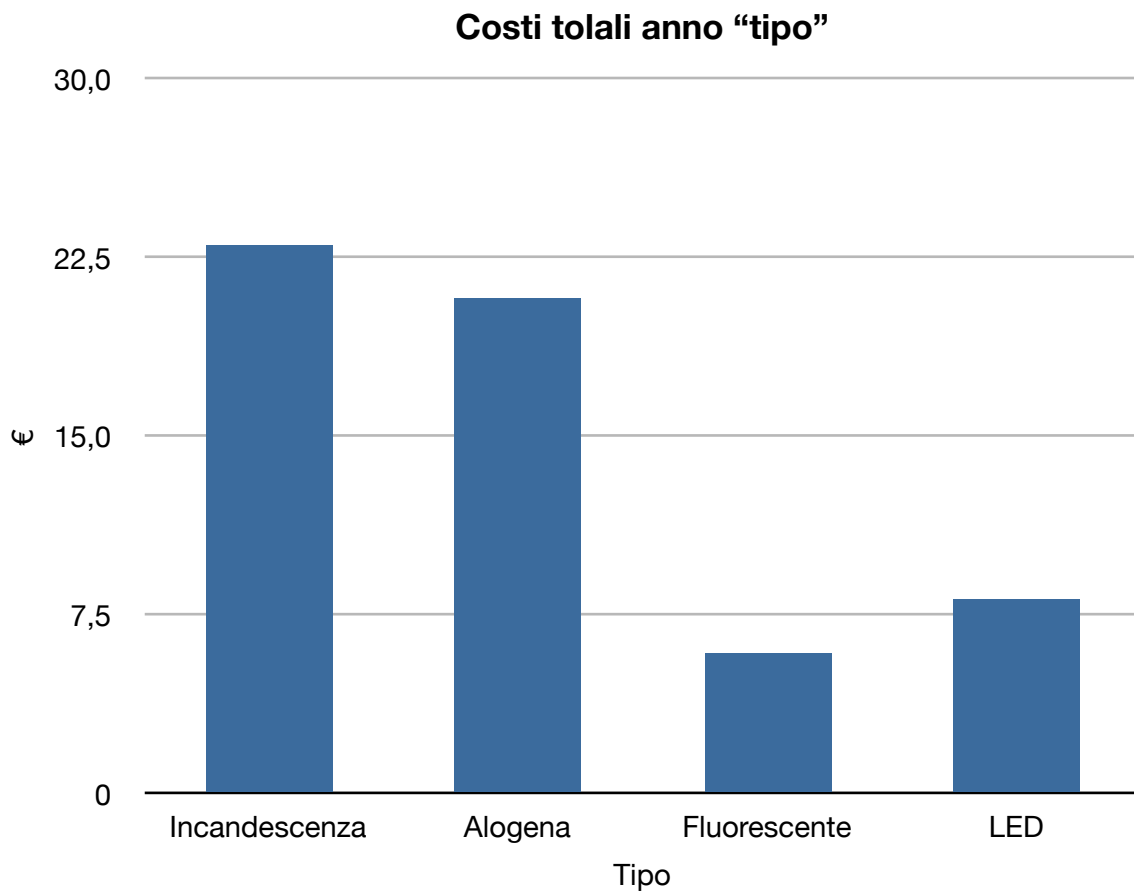


Grafico 2 - Analisi dei costi per le varie tecnologie, riferiti all'anno "tipo"

Dall'analisi dei costi e dei consumi orari, grafico sopra riportato, si può facilmente notare che le lampade ad incandescenza ed alogene, risultano essere molto più costose rispetto a lampade a LED o alle più comuni fluorescenti compatte.

Ad una prima analisi si può arrivare alla conclusione che le lampade fluorescenti risultano essere le più convenienti in termini di costi, ma bisogna ricordare che esse presentano un notevole decadimento del flusso luminoso con il passare delle ore di funzionamento.

Risulta dunque interessante inserire un terzo grafico dove viene riportato come varia il costo dei lumen forniti dalla lampada con l'avanzare delle ore di funzionamento:

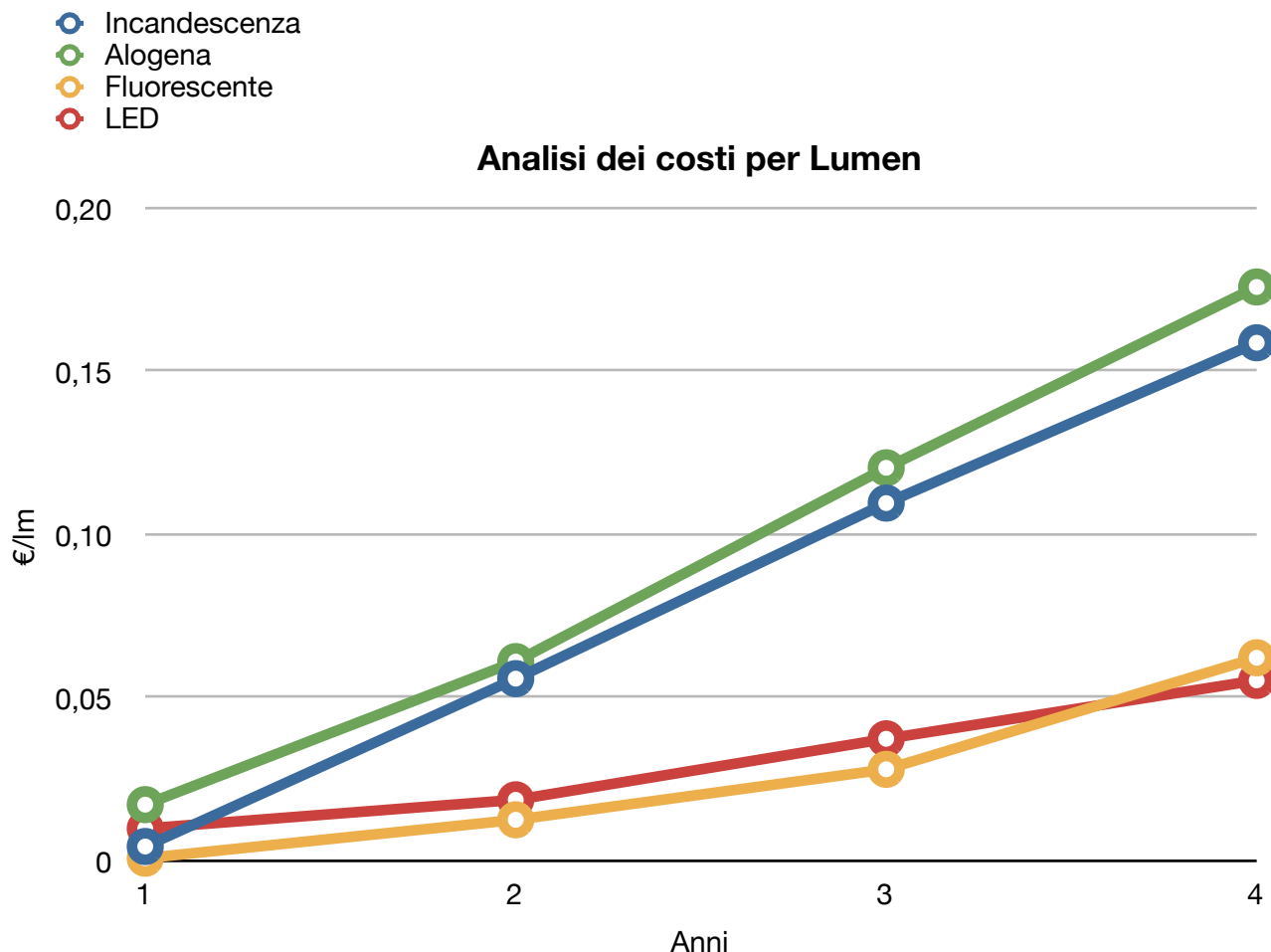


Grafico 3- Analisi dei costi in funzione del decadimento luminoso

Possiamo quindi concludere che le lampade ad incandescenza e le lampade alogene sono sicuramente le più costose a livello di consumi ed allo stesso tempo le meno convenienti anche in termini di illuminazione. Si ha infatti che i costi per lumen di queste due tecnologie sono di gran lunga superiori alle rimanenti due prese in considerazione.

E' interessante notare il fatto che, per le lampade fluorescenti compatte ad inizio vita, il rapporto costi/lumen è sicuramente il più conveniente, tenendo conto però della diminuzione dell'efficienza luminosa, si ha che con il passare delle ore, tale rapporto risulta essere superiore rispetto a quello dei LED.

Dal grafico si nota che il punto di incontro tra le due tecnologia si ha che dopo circa 3 anni e mezzo un tempo abbastanza lungo nelle applicazioni domestiche, ma paragonandolo alla durata di vita, i LED risulta essere i più convenienti per il mantenimento del flusso luminoso.

Resta comunque chiaro che attualmente le lampade fluorescenti risultano ancora le più convenienti, specialmente se ricalcoliamo i costi dell'impianto riferendolo ad un numero di ore di utilizzo minore, riferendoci quindi ad un utilizzo all'interno di abitazioni domestiche.

In questo caso, applicando il procedimento sopra elencato, si ha che i costi totali risultano essere:

Tipo	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
Costi totali [€]	8,66	7,86	2,28	3,75

Da qui si può notare che le lampade fluorescenti risultano essere ancora la miglior tecnologia per l'illuminazione domestica, e, in questo caso si ha che il rapporto €/lumen risulta favorevole ancora alle lampade fluorescenti. Sotto vengono riportati i due grafici di riferimento per tale esempio:

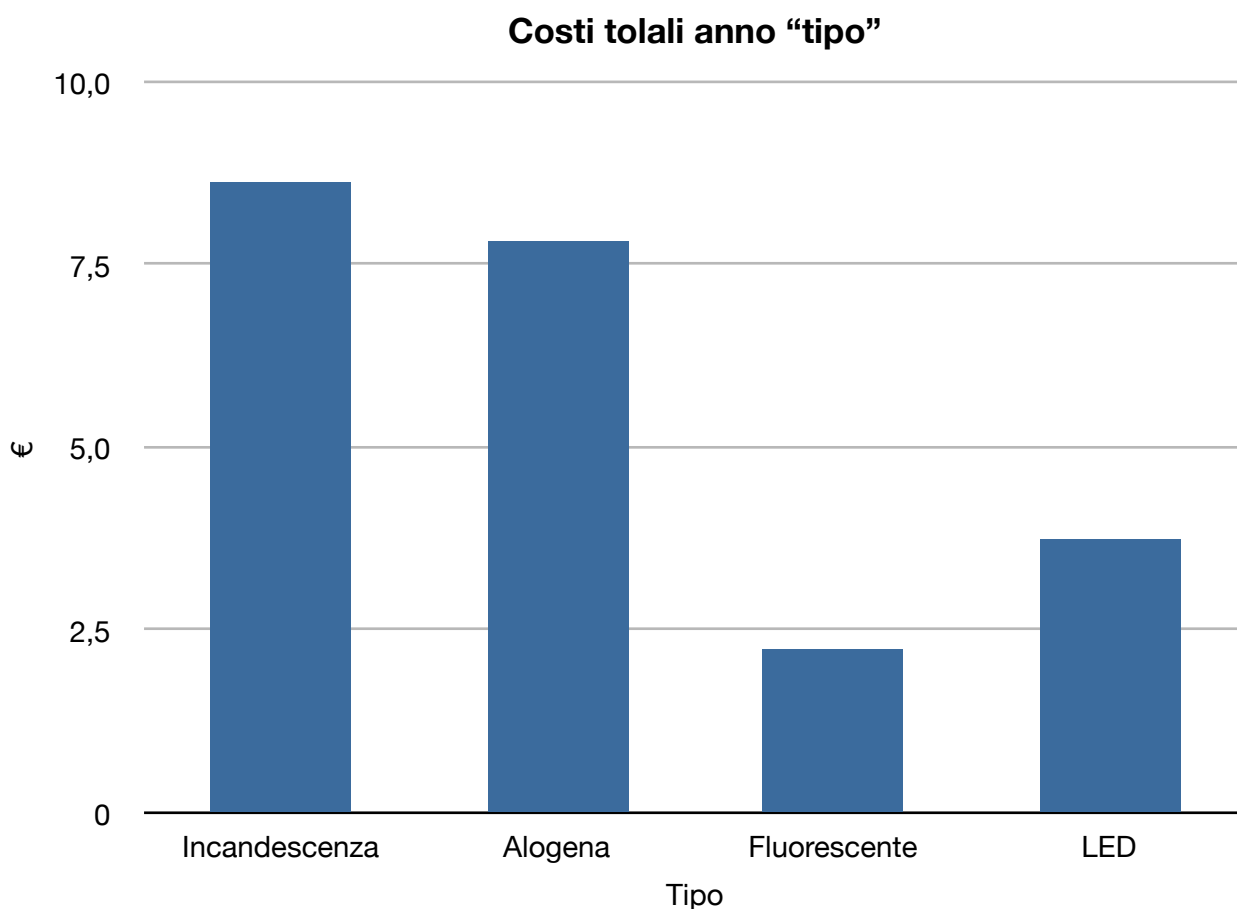


Grafico 4 - Analisi dei costi per le varie tecnologie, riferiti all'anno "tipo"

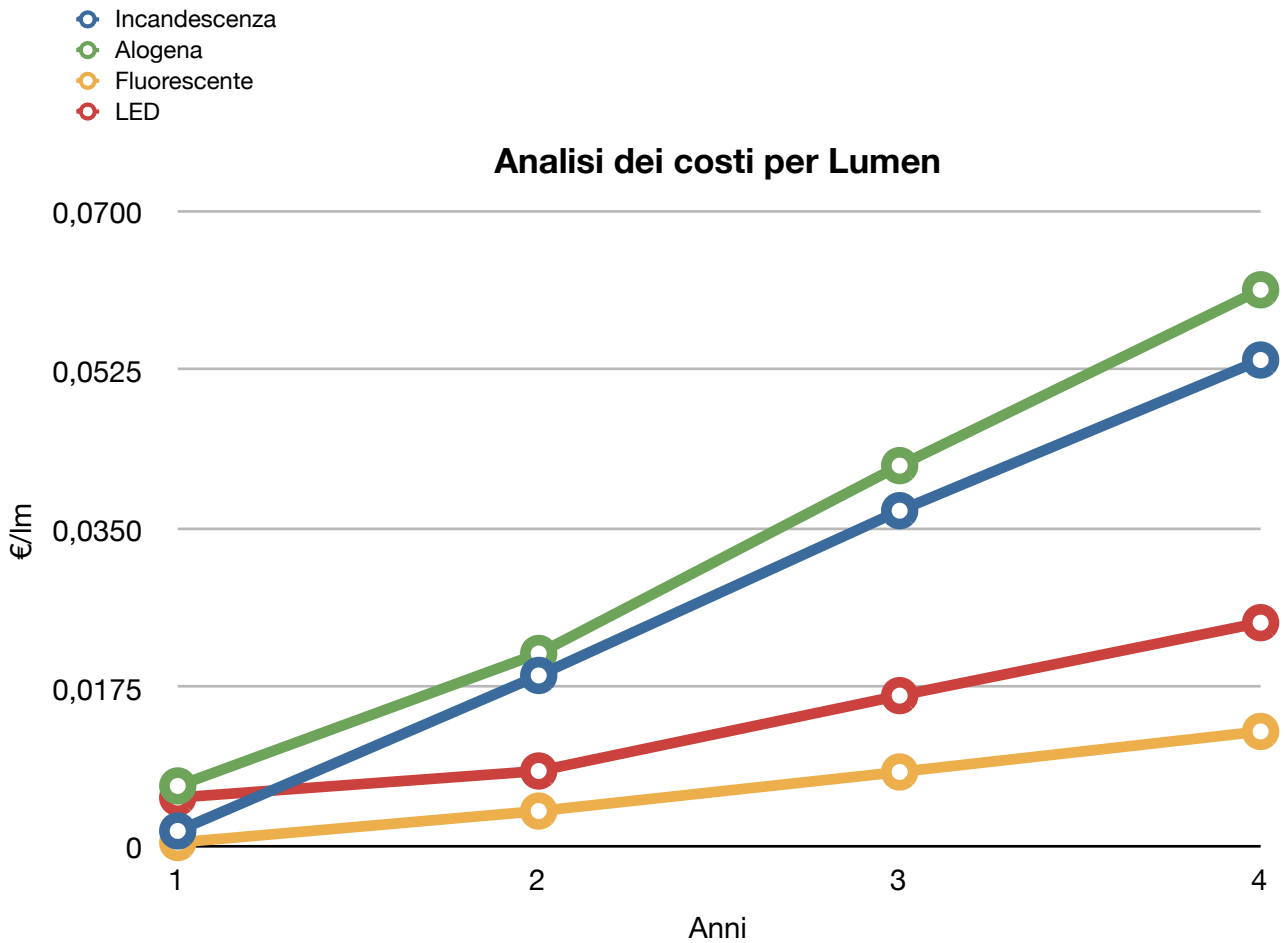


Grafico 5- Analisi dei costi in funzione del decadimento luminoso

Si nota ancora una volta che limitando le ore di utilizzo, le lampade a LED perdono tutta la loro convenienza di utilizzo in quanto il consumo limitato di energia non pareggia, in tempi brevi, l'elevato costo di acquisto iniziale ed in particolare, dall'analisi dei costi per lumen si nota che le lampade fluorescenti risultano essere le più convenienti, in quanto il decadimento del flusso luminoso risulta essere molto lento e quindi dilazionato in molti anni.

5. NORME PER LA PROGETTAZIONE DI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE STRADALE

Prima di addentrarci nello studio delle tecnologie per l'illuminazione pubblica è bene capire come e quanto bisogna illuminare.

L'obiettivo di tale tipo di illuminazione è quello di illuminare quanto effettivamente necessario per l'utente della strada, non di più per ovvi motivi energetici, e perché potrebbero insorgere problemi di sicurezza, e neppure meno per questioni legate appunto alla sicurezza.

Una corretta illuminazione deriva dalla determinazione di due punti, che sono:

- 1- Classificazione corretta del territorio;
- 2- Progettazione rispettando i valori minimi previsti dalle norme.

Per rispondere correttamente a questi due punti ci rifacciamo alle normative europee ed italiane che regolano proprio l'illuminazione stradale.

La classificazione del territorio in tale ambito ha come fine ultimo quello di definire i valori progettuali di luminanza che devono rispettare i progetti illuminotecnici. Per arrivare a tale scopo si fa riferimento alla norma italiana UNI 11248, pubblicata nell'ottobre del 2007, e la norma europea UNI EN 13201, mediante le quali si possono ricavare i requisiti minimi in quantità e qualità dell'illuminazione stradale sia motorizzata che ciclo-pedonale.

5.1 UNI EN 13201

Tale normativa si compone di 4 parti principali che sono:

- | | |
|------------|--|
| EN 13201-1 | Selezione delle classi di illuminazione |
| EN 13201-2 | Requisiti prestazionali |
| EN 13201-3 | Calcolo delle prestazioni |
| EN 13201-4 | Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche |

Analizziamo ora rapidamente i significati e le imposizioni di tale norma, tralasciando i punti 3-4 in quanto non prettamente rilevanti per i concetti esposti in questo elaborato.

5.1.1 UNI EN 13201-1 “Selezione delle classi di illuminazione”

Questa parte della normativa introduce un sistema di classificazione delle strade non più legato solo al codice della strada, ma da ricavare attraverso un reale studio delle caratteristiche funzionali ed ambientali della strada in oggetto.

L'identificazione della categoria di riferimento avviene attraverso una procedura guidata tramite delle tabelle sulle quali il progettista deve individuare i principali parametri quali:

- Velocità di percorrenza
- Tipo di utente principale
- Tipo di utenti esclusi
- Informazioni sulla geometria della strada (spartitraffico, intersezione....)
- Caratteristiche di utilizzazione del traffico (flusso di traffico, presenza di ciclisti...)
- Influenze esterne e legate all'ambiente circostante (complessità del campo visivo, livelli luminosi circostanti...)

In tale parte della norma sono anche spiegate le nomenclature delle “macrofamiglie” alle quali può appartenere una strada che sono:

- ME/MEW** Strade per traffico motorizzato, dove è possibile ricorrere al calcolo della luminanza
- CE** Strade o aree particolari a principale traffico veicolare dove non è applicabile il calcolo della luminanza

-S/A/ES/EV Strade a prevalente traffico non motorizzato, suddivisi in più tipologie in base a determinate esigenze di illuminazione e resa visiva

Riportiamo ora di seguito le tabelle sopracitate mediante le quali viene effettuata la determinazione delle tipologie delle strade e di conseguenza la progettazione illuminotecnica.

Tipo di strada	Portata di servizio per corsia (veicoli/ora)	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h-1]	Categoria illuminotecnica di riferimento
A1	1100	Autostrade extraurbane	130	ME1
A1		Autostrade urbane		
A2	1100	Strade di servizio alle autostrade	70 -90	ME3a
A2	1100	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	1100	Strade extraurbane principali	110	ME3a
B	1100	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	ME4a
D	950	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a
D	950	Strade urbane di scorrimento	50	ME4b
C	600	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C24)	70-90	ME3a
C	600	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b
C	600	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	ME3a
E	300	Strade urbane interquartiere	50	ME3c
E	300	Strade urbane di quartiere	50	ME3c
F	300	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	70 - 90	ME3a
F	450	Strade locali extraurbane	50	ME4b
F	300	Strade locali urbane (tipi F1 e F2)	50	ME4b

Tabella 1-a: Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di riferimento
F	Strade locali extraurbane	30	S3
F	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30km/h	30	CE4
F	Strade locali urbane: altre situazioni	>30	CE5/S3
F	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE5/S3
F	Strade locali urbane pedonali: centri storici (ammessi anche altri utenti)	5	CE5/S3
F	Strade locali interzonali	50/30	CE5/S3
F	Strade a destinazione particolare	30	S3

Tabella 1-b: Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento

A seguito di quanto riportato nelle tabelle, viene aggiunto un prospetto che permette al progettista di applicare una valutazione “personale” di tutte le caratteristiche specifiche dell’ambiente che possono portare ad una diversa categoria illuminotecnica di progetto (tale prospetto è anche riportato nella norma italiana UNI 11248 dalla quale è presa la successiva tabella)

Parametro d'influenza	Valori indicativi della UNI11248	Valori indicativi proposti
Estensione pari all'intero tratto stradale/pedonale/altro		
Compito visivo normale	-1 (declassamento) non sommabili e non applicabili alla categoria A1	-1 (declassamento) non sommabili e non applicabili alla categoria A1
Condizioni non conflittuali		
Flusso del traffico <50% del massimo previsto per quella categoria		-1 (declassamento) non applicabile alla categoria A1
Flusso del traffico <25% del massimo previsto per quella categoria	-2 (declassamento)	-2 (declassamento)
Quando la fruizione del traffico pedonale e misto decrescono considerevolmente	Non indicato	-1 (declassamento)
R _a >=60	-1 (declassamento)	-1 (declassamento)
R _a <30	1 (incremento)	-
Pericolo di aggressione	1 (incremento)	1 (incremento)
Estensione limitata a zone di progetto molto ristrette		
Segnaletica efficace nelle zone conflittuali	-1 (declassamento)	-1 (declassamento)
In corrispondenza di svicoli o intersezioni a raso	1 (incremento)	1 (incremento)
In prossimità di passaggi pedonali		
In prossimità di dispositivi rallentatori		

Tabella 2: Indicazioni sulle variazioni delle categorie illuminotecnica in relazione ai parametri di influenza

Terminata l'analisi della tipologia di strada, che deve essere documentata dal progettista, e ricavata la categoria illuminotecnica di progetto, si ricavano, mediante la seconda parte della norma, i requisiti fotometrici da rispettare per l'illuminazione di tale tipologia di strada.

5.1.2 UNI EN 13201-2 "Requisiti Prestazionali"

La seconda parte della normativa riporta i parametri qualitativi e quantitativi dell'illuminazione in base alla categoria stradale identificata.

Prima di riportare i valori imposti dalla norma, diamo una definizione dei parametri che vengono citati in tale norma.

- L_m = Luminanza media mantenuta: rappresenta il valore minimo che assume la luminanza media della carreggiata mantenuta durante la vita dell'impianto. Dipende dalle caratteristiche tecniche dell'installazione, dalle proprietà riflettenti della pavimentazione, dal tipo di manutenzione prevista e dalla posizione dell'osservatore.
- U_0 = Uniformità generale di luminanza: è definita come rapporto tra la luminanza minima e quella media di tutta la strada. Utile per la percezione degli ostacoli e per il confort visivo del conducente.
- U_1 = Uniformità longitudinale di luminanza: è definita come il rapporto tra la luminanza minima e quella massima calcolata lungo la mezzeria di ciascuna corsia che compone la carreggiata.
- T_i = Indice di abbagliamento debilitante: rappresenta la misura con cui gli apparecchi di illuminazione, presenti nel campo visivo del guidatore, provocano un disagio visivo con conseguente peggioramento istantaneo delle funzioni dell'apparato oculare, impedendo la sensibilità a cogliere i contrasti.
- S_r = Rapporto di contiguità: rappresenta l'illuminamento medio sulle fasce appena fuori dalla carreggiata, in rapporto all'illuminamento medio sulle fasce appena dentro i bordi.

(Per il significato di luminanza, illuminamento ed abbagliamento si rimanda alla appendice A)

Definiti i significati della terminologia utilizzata, riportiamo le tabelle prescritte dalla norma.

Requisiti illuminotecnici in ambito stradale:

Classe	Luminanze delle superfici stradali			Abbagliamento	SR_{min}^*
	L_m (minima mantenuta) cd/m ²	U_0_{min} (Uniformità generale)	U_1_{min} (Uniformità longitudinale)	T_i_{max} (%)	
ME1	2	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	Nessuna richiesta

Tabella 3: Parametri illuminotecnici di progetto in ambito stradale

Requisiti illuminotecnici in altri ambiti:

Illuminamento orizzontale				Illuminamento <u>semicir</u> ndrico	
Classe	E. Medio (minimo mantenuto) lx	U ₀ Emedio	Ti (Valore dell' incremento di soglia)	Classe	E _{sc} Minimo (mantenuto) lx
CE0	50	0,4	10	ES1	10
CE1	30	0,4	10	ES2	7,5
CE2	20	0,4	10	ES3	5
CE3	15	0,4	15	ES4	3
CE4	10	0,4	15	ES5	2
CE5	7,5	0,4	15	ES6	1,5
Classe	E. Medio (minimo mantenuto) lx	E. min (mantenuto)	Ti (Valore dell' incremento di soglia)	ES7	1
S1	15	5	15	ES8	0,75
S2	10	3	15	ES9	0,5
S3	7,5	1,5	15	Illuminamento verticale	
S4	5	1	20	Classe	E _y Minimo lx
S5	3	0,6	20	EV3	10
S6	2	0,6	20	EV4	7,5
S7	Non determinato			EV5	5

Tabella 4: Parametri illuminotecnici di progetto delle classi S-CE-EV-ES

Riportati tutti i parametri previsti dalle norme europee ed italiane, possiamo addentrarci nelle tipologie di lampade utilizzate per l'illuminazione stradale.

6. ANALISI DELLE SORGENTI LUMINOSE NELL'USO PUBBLICO

6.1 Introduzione

Fino a pochi anni fa, i LED venivano usati nell'impiego pubblico solo come sostitutivo alle lampade dei semafori, dato la scarsa necessità di manutenzione, oppure nell'utilizzo decorativo, data la versatilità di tale tecnologia.

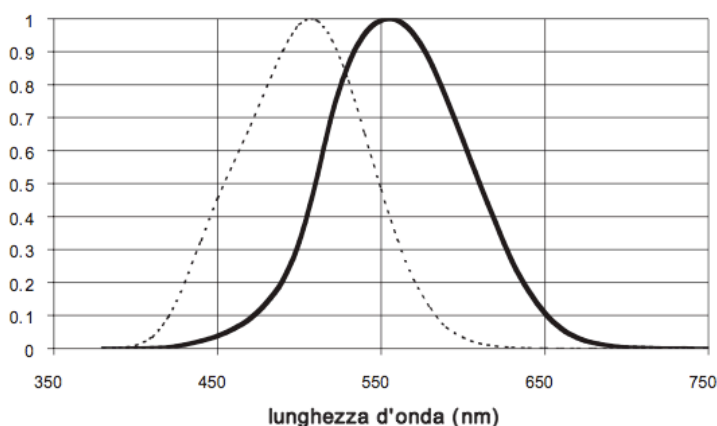
Con lo sviluppo degli studi si è ora arrivati a poter applicare tale tecnologia anche nell'utilizzo dell'illuminazione stradale, anche perché si è dimostrato che la tonalità della luce generata permette di utilizzare tutti gli apparati ricettivi di cui il nostro occhio è dotato.

Bisogna infatti fare una distinzione tra visione fotopica e visione scotopica.

La retina dell'occhio umano è costituita da coni e bastoncelli, i primi legati alla visione fotopica, che è vincolata alla luce diurna e permette la visione dei colori, i secondi a quella scotopica che risulta essere una visione non cromatica ma che assume particolare importanza nelle condizioni di scarsa luminosità.

L'occhio umano non è sensibile alla stessa maniera a tutte le radiazioni di luce visibile, infatti in condizioni di luce normale, esso risponde in maniera ottimale per colori verde-gialli mentre ha una sensibilità molto bassa per colori rossi e blu, mentre in condizioni di scarsa luminosità la sensibilità si sposta verso colori blu e bianco freddo.

La figura qui sotto riporta i fattori di visibilità relativa normalizzati CEI, dove la linea continua rappresenta la visione fotopica mentre quella tratteggiata quella scotopica.



Ecco perché l'illuminazione a LED, data la possibilità di ottenere tonalità di colore diverse risulta, secondo gli ultimi studi, di miglior efficacia.

Altri vantaggi di tale tecnologia risultano essere:

Ecologici: non contengono sostanze aggressive per l'ambiente né metalli pesanti.

Gestionali: il controllo totale del flusso luminoso garantisce un sistema molto efficiente senza sprechi;

Fisici: il flusso può essere direzionato solo dove serve senza dispersioni di luce, limitando quindi l'inquinamento luminoso ed inoltre la rottura di un componente non comporta lo spegnimento dell'impianto.

Bisogna però anche tener conto che la messa in funzione dell'impianto in termini di acquisto delle apparecchiature, posa, e progettazione risulta avere costi maggiori rispetto alle tradizionali lampade per l'illuminazione stradale.

6.2 Analisi delle varie sorgenti luminose

Diversi tipi di lampade vengono utilizzate nell'illuminazione stradale quali: lampade a vapori di mercurio ad alta pressione, lampade a vapori di sodio ad alta e bassa pressione e lampade a ioduri metallici. Ogni lampada si differenzia dalle altre, oltre che dalle caratteristiche costruttive anche da una differente efficienza luminosa che le rende più o meno adatte all'utilizzo in ambienti pubblici.

Le lampade ai vapori di sodio rappresentano oggi la più diffusa soluzione per l'illuminazione pubblica.

Analizziamo quindi le varie tecnologie.

6.2.1 Lampade ai vapori di mercurio

Tale tipologia di lampade era largamente utilizzata prima della messa in vigore della normativa riguardante il mercurio ed i suoi derivati, ora via via iniziano ad essere sostituite per ridurre l'impatto ambientale in quanto vengono considerate rifiuto speciale.

Nonostante tale problema ecologico, a loro favore resta il fatto che risultano avere un basso costo di acquisto, ed il fatto che generino una elevata quantità di raggi UV che, ad esempio nell'ambito medico, vengono utilizzati per la sterilizzazione.

Esistono due tipi di lampade:

Ordinaria: necessita di un reattore per l'accensione;

Miscelata: Non necessita di nessuna apparecchiatura per l'accensione.

In comune hanno il fatto che per l'accensione richiedono circa 5 minuti per arrivare alla massima efficienza luminosa e per la riaccensione dopo spegnimento necessitano di qualche minuto per il raffreddamento oltre al tempo di accensione.

Le principali caratteristiche di tale lampada risultano essere:

Lampada ordinaria:

Efficienza luminosa:	30-60 lm/W
Temperatura di colore:	2900-4200 K
Durata di vita:	10000 h

Lampada miscelata:

Efficienza luminosa:	11-25 lm/W
Temperatura colore:	3500 K
Durata di vita :	3000-4000 h

Si ha quindi che tale lampada genera una luce di colore giallastra, che, per quanto detto prima, non risulta essere ottimale per le caratteristiche dei nostri occhi nella visione notturna. Abbiamo inoltre che tale sorgente emette luce a 360° e quindi di difficile distribuzione nella zona che ci interessa se non con delle apposite parabole, riducendo però il rendimento totale. Si ha quindi un grande inquinamento luminoso che attualmente si cerca di ridurre il più possibile.

6.2.2 Lampade ai vapori di sodio

Si distinguono in:

Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione;

Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione.

Il loro impiego è nell'illuminazione stradale, industriale e di grandi spazi esterni.

La tecnologia ad alta pressione rappresenta ormai lo standard per l'illuminazione stradale mentre quella a bassa pressione viene utilizzata in tutti quei punti in cui il risparmio energetico rappresenta una priorità rispetto all'indice di resa cromatica.

Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione (HPS)

Vengono privilegiate nell'illuminazione stradale in quanto permettono un buon risparmio di energia, pur presentando un buon indice di resa cromatica.



La sostituzione di lampade al mercurio con questa tecnologia permette un risparmio di energia di circa il 40-50%

Per funzionare necessitano normalmente di

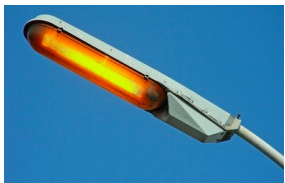
- un alimentatore, che serve a limitare e regolare la tensione
- un accenditore, che serve ad innescare la scarica iniziale e può essere esterno oppure incorporato alla lampada stessa

Le principali caratteristiche di tale tecnologia sono:

Efficienza luminosa:	70-150 lm/W
Indice di resa cromatica:	20-60
Vita media:	12.000-20.000 h
Temperatura di colore:	2.000-2.500 K

Anche queste presentano una luce di colore giallastro e necessitano di parabole per direzionare il flusso luminoso.

Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione



Queste lampade hanno dei valori imbattibili di efficienza luminosa (fino a 200 lm/W) ed emettono una caratteristica luce monocromatica, con tonalità molto calda, tendente al giallo-arancione. A causa della bassissima resa cromatica, sono adatte soltanto nei contesti in cui il risparmio energetico è di primaria importanza rispetto alla qualità nella percezione dei colori.

Anche queste per funzionare hanno bisogno di apparecchiature esterne per l'accensione ed il mantenimento in funzione. Si ha inoltre che l'accensione di tale lampada è molto lenta, si arriva al 100% del flusso luminoso dopo circa 10 minuti dall'accensione.

Le principali caratteristiche tecniche di tali lampade sono:

Efficienza luminosa:	125-200 lm/W
Indice di resa cromatica:	0
Vita media:	10.000-12.000 ore
Temperatura di colore:	1.800 K

6.2.3 Lampade ai ioduri metallici

Queste lampade sono conosciute anche come "lampade ad alogenuri metallici". Ma poiché lo iodio è, tra gli alogeni, l'elemento più comunemente utilizzato, si è consolidata la definizione di "lampade a ioduri metallici".



Hanno dimensioni ridotte, simili alle alogene, ma con un'efficienza e una durata di vita paragonabili a quelle delle lampade fluorescenti. Sono caratterizzate da un'alta temperatura di colore (luce bianchissima) e da un'elevata resa cromatica.

Le principali caratteristiche tecniche sono:

Efficienza luminosa: 40-100 lumen/watt

Vita media: 6.000-20.000 ore

Indice di resa cromatica: 65-90

Temperatura di colore: 4.000-6.000 K

Avendo un flusso luminoso molto concentrato, consentono di realizzare impianti di illuminazione con potenze installate più basse rispetto a quelle che comporterebbe l'adozione di altri tipi di lampade.

Il principale svantaggio è dato dalla lentezza in fase di accensione: impiegano infatti circa 7 minuti per arrivare a pieno regime. E in caso di spegnimento e di riaccensione a caldo, i tempi aumentano ulteriormente, fino a 10 minuti per recuperare interamente il flusso luminoso. Questi aspetti problematici sono dovuti ai complessi dispositivi che ne regolano l'accensione e l'innesco.

6.2.4 LED

Si faccia riferimento al paragrafo 2.4

6.2.5 Vantaggi e Svantaggi

Oltre a quelli elencati nel paragrafo 2.5 si può aggiungere per l'illuminazione pubblica il fatto che essi presentano un'accensione immediata e che non contengono sostanze chimiche pericolose, tipo il mercurio, e che quindi ne consentono lo smaltimento indifferenziato.

7. APPROFONDIMENTI DELL'ILLUMINAZIONE A LED NELL'USO PUBBLICO

Come già detto in precedenza la tecnologia ad oggi più utilizzata per l'illuminazione pubblica è quella ai vapori di sodio ma la tecnologia a LED sta ora diventando una valida sostituzione a queste.

Di seguito vengo analizzate delle lampade per l'illuminazione pubblica di ultima generazione che vengono prodotte da varie case produttrici.

CARECA Spa, casa produttrice italiana, ad esempio dichiara di produrre lampade capaci di sostituire lampade HPS da 400W con lampade LED con un consumo di 280-220W quindi con un risparmio energetico di circa il 50%.

Dal catalogo Osram ricaviamo i dati di una lampada ai vapori di sodio ad alta pressione in modo da poterli confrontare con i dati delle lampade a LED proposte dalla CARECA e da altre case.

Osram NAV-E 400 SUPER 4Y

Lampada ai vapori di sodio da 400W con le seguenti caratteristiche tecniche:

Potenza:	400W
Durata di vita:	24000 h
Flusso luminoso:	55500 lm
Efficienza luminosa:	139 lm/W
Temperatura di colore:	2000 K
CRI:	<25

A sfavore di tale lampada c'è da dire che necessità di un accenditore esterno per il funzionamento.

Dal catalogo CARECA possiamo trovare, come sostituzione di lampade di questo tipo i modelli:

-F1-220W

-G1-180W

CARECALED F1-220W

Dal catalogo:



Voltaggio/Frequenza:	200 ~ 240V(AC) / 50 ~ 60Hz
Consumo:	220W ± 10%
Flusso luminoso:	> 17.500 lm
Temperatura colore:	3.500 - 5.100 K
Efficienza luminosa:	> 80 lm/W
CRI:	> 70
Durata	> 50.000 h

A favore di tale tipologia di lampada la durata di vita circa doppia, ma di contro si hanno che tutte le caratteristiche illuminotniche sono nettamente inferiori. Si ha infatti che il flusso luminoso risulta essere più di 3 volte inferiore rispetto all'altra "concorrente" e, a fronte di una potenza di installazione di circa metà, si ha che anche l'efficienza luminosa risulta esserlo.

Si può però notare che la luce generata da tale lampada è più sulle tonalità bianche e che l'indice di resa cromatica è nettamente superiore, quasi 3 volte. Visto quanto detto sopra sulla visione scotopica, questo può favorire l'occhio umano nella visione e quindi sopperire alla elevata differenza di flusso luminoso generato.

Per il modello G1-180W viene dichiarato che può sostituire lampade al sodio HPS o al mercurio di potenze dai 250W ai 400W.

Le caratteristiche di tale lampade risultano:



Voltaggio/Frequenza:	200 ~ 240V(AC) / 50 ~ 60Hz
Consumo:	180W ± 10%
Flusso luminoso:	> 12.000 lm
Temperatura colore:	3.500 - 5.100 K
Efficienza luminosa:	> 80 lm/W
CRI:	> 70
Durata:	> 50.000 h

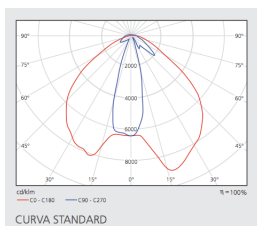
CARECA ha pubblicato una applicazione di tale tecnologia nel comune di Scandiano (RE) dove in un tratto di strada sono state sostituite otto lampade HPS tradizionali da 250W con sei lampade del tipo appena descritto.



La sostituzione delle sei lampade HPS precedentemente installate (foto a sinistra) con quattro lampade a tecnologia LED (foto a destra) ha prodotto un risparmio energetico superiore al 50% e anche notevolmente migliorato la resa totale dell'impianto.

Tale tecnologia infatti permette di avere:

- Risparmio Energetico
- Minor inquinamento luminoso



Dalla curva fotometrica si può notare che il flusso luminoso è direzionato solamente nelle zone di interesse e quindi non sono necessarie particolari parabole per il direzionamento. Dato però lo stretto angolo di emissione dei LED, ne servono per allargarlo e distribuirlo in una zona più ampia.

- Impatto Ambientale ridotto: totale assenza di metalli inquinanti
- Maggior Durata: Le Lampade a tecnologia LED hanno una aspettativa di vita enormemente superiore alle lampade con tecnologie tradizionali
- Migliori prestazioni - Tempo di accensione e riaccensione praticamente nullo
- Miglior mantenimento dell'erogazione dei Lumen nel tempo comparata con lampade tradizionali
- Sicurezza Stradale: Rendering dei colori più elevato e reale ed effetto vibrazione pressochè nullo

Vi sono altre case produttrici che mettono in commercio lampade simili a queste. Ad esempio la Sfhera srl, altra casa produttrice italiana, produce lampade stradali che hanno l'accortezza di essere alimentate a 12 o 24 V.



Questo permette, oltre ad una maggior sicurezza in caso di manutenzioni o di incidenti stradali, anche l'alimentazione mediante pannelli fotovoltaici posizionati direttamente sopra il lampione. Dalla figura qui di lato si può notare che appena sotto i moduli fotovoltaici vi è una struttura di sostegno e contenimento per le batterie e le elettroniche per il controllo e la gestione del flusso luminoso.

Tale tipo di accorgimento permette quindi un maggior risparmio di energia ed un minor impatto ambientale.

I modelli proposti da SFHERA sono:

SF - 15 -30 - 90

La forma esteriore è la stessa per tutti i modelli ma cambia la potenza di installazione che risulta poter essere regolata da 0 a 30W nel modello SF-15 e da 0 a 90W per il modello SF-90. Ciò che cambia, tra un modello ed un altro, è il numero e la potenza dei LED utilizzata in fase di costruzione che risulta essere:

SF-15 utilizzati n° 15 LED con potenza massima di 3W

SF-30 utilizzati n° 15 LED con potenza massima di 2W

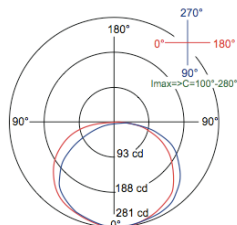
SF-90 utilizzati n° 30 LED con potenza massima di 3W

I dati tecnici di tali lampade sono:



Tensione:	AC/DC 230V 12-24V DC per alimentazione fotovoltaica
Potenza lampada:	regolabile elettronicamente da 0 a 90W
Temperatura colore:	LED bianco 5.000/6.000 K
Efficienza luminosa:	118 lm/W per 1W
Flusso luminoso:	SF-15: 15W = 1.770 lm 30W = 3.100 lm SF-30: 30W = 3.540 lm SF-90: 60W = 6.195 lm 90W = 8.496 lm
Vita media:	>50.000 h

Come già messo in evidenza per tutti i modelli precedenti, anche qui si riscontra il fatto che l'inquinamento luminoso di tale tecnologia risulta essere nullo in quanto l'angolo di emissione stretto dei LED consente di direzionare la luce emessa solo verso la zona di interesse.



La curva fotometrica di tale prodotto mette in evidenza tale fatto.

Si nota infatti che tutta la luce generata è diretta direttamente verso la strada permettendo dunque di ridurre l'inquinamento luminoso.

8. APPLICAZIONE PRATICA DELLA TECNOLOGIA A LED

Nonostante la tecnologia a LED non sia ancora all'avanguardia, vi sono comuni italiani che iniziano a considerarla come una valida alternativa alle consuete lampade.

Viene riportato di seguito l'esempio della prima "LED city" al mondo che, nonostante il nostro paese sia tra i più indietro a livello europeo rispetto alla diffusione per lampade a basso consumo ed a basso impatto ambientale, si trova proprio in Italia.

Torraca infatti è un piccolo comune nella provincia di Salerno, un paese di circa 1.300 abitanti dove, nel 2007, la giunta comunale ha deciso di passare alla tecnologia a LED per l'illuminazione pubblica, installando circa 700 punti luce per tutta la cittadina, con un investimento di circa 280 mila euro che prevedono di recuperare in circa 6 anni.

L'impianto è stato realizzato dalla Elettronica Gelbison, ditta locale, con la supervisione dell'ingegner Luciano Di Fraia, docente all'università di Napoli Federico II.

Dato che Torraca possiede anche 3 centrali fotovoltaiche ha ricevuto diversi riconoscimenti, tra i quali anche il "premio enti locali per Kyoto 2007".

Sulla effettiva efficienza dell'impianto vi sono però pareri contrastanti. L'impianto ha effettivamente portato un netto risparmio energetico a detta del sindaco di circa il 60 % ed inoltre, dato che i lampioni installati funzionano a 48V la sicurezza ha ricevuto un elevato beneficio, d'altro canto però vi sono cittadini che si lamentano della non del tutto efficiente resa illuminotecnica delle lanterne installate.



Le tradizionali lampade sono state sostituite con, all'inizio, lampade da 48 LED da 1W ad alta efficienza luminosa, 100 lm/W.

Per argomentare l'effettivo risparmio energetico ed economico risultante dall'applicazione di tale tecnologia, il comune di Torraca ha reso pubbliche le bollette relative a due periodi dell'anno, una antecedente all'installazione ed una successiva.

I risultati che ne derivano sono:

Per il periodo antecedente è riportata la bolletta relativa al periodo Dicembre 2006 - Gennaio 2007

(segue)


L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

DATI CLIENTE
Numero cliente: 02701001708X
Partita IVA: 02701001708X
ENEL SERVIZIO ELETTRICO

CONTATTI UTILI

SERVIZIO CLIENTI
www.prontoenel.it
800 900 800 Numero verde
199 50 50 da cellulare numero non gratuito
 lunedì - venerdì 8:20 - sabato 8:74
 QuiEnel e Punto Enel, scopri quello più vicino su www.prontoenel.it
 Casella Postale 1100 - 85100 Potenza
 per informazioni e reclami scritti

SEGNALEGGI GUASTI
 803 500 Numero verde Enel Distribuzione
 (da rete fissa e da cellulare tutti i giorni 24 ore su 24)

BOLLETTA PER LA FORNITURA DI ENERGIA ELETTRICA
N. fattura 657280139910019 del 07/01/2008
Periodo novembre - dicembre 2007
Totale da pagare entro il 02/02/2008: euro 1.050,77
In ogni caso il pagamento sarà effettuato con le modalità previste dagli accordi in atto, ove esistenti.
In allegato trova il bollettino per il pagamento.

DATI FORNITURA

Le stiamo fornendo energia in
V. Cavour SN - 84030 TORRACA
Codice 02701001708X
Numero 02701001708X

TIPOLOGIA CONTRATTO:
Uso Illuminazione Pubblica
Opzione Tariffaria base B4
- tensione di fornitura 230 V - Bassa Tensione
- potenza disponibile 46 kW (3H+2N)

DATI CONSUMI

Totale energia elettrica fornita	853,24
Totale imposte	32,40
Totale energia elettrica fornita e imposte	875,64
Importo IVA 20% (su imponibile di euro 875,64)	175,13
TOTALE DELLA BOLLETTA	1.050,77

Sul retro del foglio trova il dettaglio importi della bolletta.

DETTAGLIO IMPORTI BOLLETTA

REPILOGO LETTURE
FORNITURA IN BASSA TENSIONE PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA CON OPZIONE TARIFFARIA BASE B4
POTENZA DISPONIBILE kW 46,0
POTENZA IMPIEGATA PART ALLA POTENZA MASSIMA PRELEVATA PERIODO GEN 2007 - DIC 2007 kW 40,0

***** LETTURE MISURATORI E PRELIEVI RILEVATI *****

per Potenza	LETTURA INDICE DI POTENZA (31/12/07)	21 x K	PRELIEVO	kW	21,0	
per Energia Attiva	LETTURA PRECEDENTE (30/11/07)	112833	- RILEVATA (31/12/07)	124058	TOT. CONSUMO kWh	7225 (N. 31 giorni)
per Energia Reattiva (COSFI = 0,950)	LETTURA PRECEDENTE (30/11/07)	60994	- RILEVATA (31/12/07)	62456	CONSUMO kVArh	2562 (N. 31 giorni)

Massima potenza prelevata nel periodo

Unità di misura: Corrispettivi unitari euro

Corrispettivi per l'uso delle reti e il servizio di misura (A)	Quantità	Totale euro	
Quota potenza mese dicembre 2007	kW di potenza impegnata/mese	2,275000 kW 40,0 mesi 1	91,00
Quota energia dal 01/12/2007 al 31/12/2007	kWh	0,033000 kWh 7,225	738,43
TOTALE (A)			529,43
Corrispettivi per acquisto, vendita, dispacciamento e sbilanciamento (B)			
Quota energia dal 01/12/2007 al 31/12/2007	kWh	0,072500 kWh 7,225	523,81
TOTALE (B)			523,81
IMPOSTE (D)			
Imposta erariale dal 01/12/2007 al 31/12/2007	kWh	0,003100 kWh 7,225	22,40
TOTALE (D)			22,40
TOTALE FORNITURA DI ENERGIA ELETTRICA E IMPOSTE (F somma delle voci A, B, D)			875,64
IVA 20% (E) (SU IMPONIBILE DI EURO 875,64 (F))			175,13
TOTALE BOLLETTA (M somma delle voci F, E)			1.050,77

COMUNICAZIONI RELATIVE ALLA SUA FORNITURA

Consumo annuo il suo consumo annuo calcolato sulla base dei dati disponibili è 96243 kWh.

Lettera del contatore Le ricordiamo che la sua fornitura è inserita nel sistema di teletettura in grado di registrare puntualmente i suoi consumi. Pertanto, il rilievo mensile della lettura da parte degli installatori non è più necessario.

INFORMAZIONI PER I CLIENTI

Apertura del mercato elettrico La informiamo che il 1 luglio 2007 si è completata l'apertura del mercato elettrico nazionale. Anche le famiglie sono libere di scegliere il proprio fornitore di elettricità, come già potevano fare i clienti con partita IVA. Per saperne di più visiti il sito www.enel.it.

Perché pagare la bolletta entro la data di scadenza La bolletta deve essere interamente pagata entro la data di scadenza. Se il pagamento viene effettuato in ritardo le addizionali di interessi di mora (calcolati sui giorni che intercorrono dalla data di scadenza alla data di pagamento) e applicando il tasso ufficiale di riferimento fissato dalla Banca Centrale Europea più 3,5 punti) e le maggiori spese relative ai solleciti scritti di pagamento. Se il pagamento non viene effettuato, decorsi 15 giorni dalla data di scadenza, saranno occorrenti sul inviale tramite raccomandata, il preavviso di sospensione della fornitura. Nel caso in cui persista la morosità, la fornitura sarà disattesa dopo 20 giorni dalla data della raccomandata stessa.



Da queste bollette si evince il fatto che il consumo dell'impianto è realmente dimezzato passando da 40kW a 21kW mentre il consumo orario è invece diventato un quarto di quello del periodo precedente passando da i quasi 40.000 kWh a 9587 kWh. A giorvarne è senza dubbio l'importo della bolletta diventando anch'esso circa un quarto, ovvero 1059,77€.

Nei bimestri presi in considerazione vi è quindi un risparmio di 3392.19€. Ipotizzando quindi un risparmio medio di 3400€ a bimestre e facendo due rapidi calcoli, tralasciando tassi di interesse e manutenzioni, valutiamo il risparmio in 6 anni, tempo dichiarato per l'ammortamento dei costi di installazione e progettazione dell'impianto.

Risparmio annuo:

$$3.400 \times 6 = 20.400\text{€}$$

Arrotondiamo a 21.000€ visto la possibilità di gestione della potenza delle lampade per il controllo del flusso luminoso nelle varie condizioni.

E' facile calcolare che in 6 anni si è ben lontani dai 280.000€ di costo di investimento. Purtroppo la Elettronica Gelbison non ha mai pubblicato i dati tecnici dei prodotti installati e quindi non è possibile alcuna verifica sulla conformità normativa di tale impianto a livello illuminotecnico. L'impianto torrachese all'epoca è stato definito come impianto sperimentale e così si è dimostrato essere in quanto subito dopo la messa in funzione si sono modificate le lanterne aggiungendo ai 48 LED iniziale altri 48 posti nel centro della lanterna ed aggiungendo altri punti luce che non erano nel progetto iniziale.

I risultati di Torraca restano comunque deludenti, dalla foto si può facilmente dedurre che l'illuminazione risulta essere disuniforme, discontinua e insufficiente.



Ricordo ancora una volta che tutte le informazioni relative a tale impianto risalgono al 2007 e che quindi in questi 3 anni la tecnologia si è evoluta ed ha permesso ulteriori sperimentazioni in varie zone dell'Italia dove le applicazioni di determinate tipologie di lampade LED hanno portato a risultati accettabili.

Altro esempio da citare è l'impianto a LED che è stato installato a Scandiano, un comune in provincia di Reggio Emilia, dove nel 2008 si è deciso di avviare una sperimentazione in un tratto stradale che attraversa tutta la città.

Il comune, assieme alla Careca Italia Spa, ha dato vita ad un impianto di illuminazione utilizzando lampade a tecnologia LED da 180W.

Dal comunicato stampa Careca Italia si può leggere:

“...Nella pratica, infatti, si è potuto sostituire otto lampade tradizionali da 250 Watt con sei impianti a LED da 180 Watt, consentendo un risparmio energetico che si attesta ben sul 50% e pur mantenendo un livello di illuminazione estremamente coerente con le esigenze dell'illuminazione pubblica.”

I risultati dell'installazione si possono notare nella foto riportata poche pagine prima (pg. 30).

Si può facilmente capire che i risultati dell'applicazione di lampade a LED è nettamente migliorata e, in questi anni, si è arrivati ad avere risultati del tutto accettabili garantendo un'ottima illuminazione della zona interessata ma riducendo praticamente a zero l'inquinamento luminoso.

Tale fatto è particolarmente notevole nella foto seguente:



Questa è una foto di un'applicazione delle lampade G1-180W, prima descritte. L'immagine si riferisce al progetto, gestito da Careca Italia, “Rotonda di Canali”, realizzato nella primavera 2009 presso la rotonda di via Serra nel comune di Reggio Emilia.

Il progetto iniziale provvedeva il montaggio di una torre-faro (alta circa 25 metri) posta al centro della rotonda, nella quale venivano installati corpi illuminanti da 400W e 100W HPS per un totale di consumo previsto per circa 18 kW. Le difficoltà di progetto, dovute alle dimensioni della rotonda (oltre 100m di perimetro), e l'esigenza di realizzare un impianto a basso impatto ambientale ha portato Careca Italia all'utilizzo della tecnologia LED.

“...Per ottenere il risultato illuminotecnico richiesto si è provveduto ad installare 18 pali (altezza circa 10 metri) posti sul perimetro della rotonda: ogni singolo palo è stato provvisto di un corpo illuminante a LED, modello G1-180W per un totale di 4KW circa di consumo previsto.

L'installazione degli apparecchi illuminanti CarecaLED è stata realizzata in piena conformità delle leggi vigenti ed ha consentito di raggiungere un livello di conformità eccellente su tutta la carreggiata facente parte della rotatoria. Il risparmio energetico realizzato, tenuto conto del progetto originario, è stato di oltre 7000 euro l'anno.”

Dati presi dal comunicato stampa Careca.

Dati gli ottimi risultati ottenuti, l'applicazione di questa tecnologia inizia a prendere fortemente piede in Italia, tanto che il presidente della Careca Italia ha affermato:

“Dopo le oltre 3.000 ore di funzionamento dei primi impianti stradali a LED installati a Scandiano e con buona soddisfazione da parte dell'amministrazione e dei cittadini, e dopo le oltre 10.000 di vita di un analogo impianto in Asia, è evidente come le soluzioni per l'illuminazione a LED ad alta potenza di Careca siano in grado di mantenere quanto promesso in termini di efficienza, risparmio energetico ed affidabilità.

Gli impianti successivamente installati, oltre una dozzina in pochi mesi in diverse città della penisola, tra cui Bologna, Cagliari ed Arona, hanno poi confermato l'elevato interesse per i benefici garantiti dalle nostre soluzioni a LED. Siamo convinti anche che le nuove lampade F1 da 220 W non potranno che rafforzare ulteriormente la portata di questo successo.”

9. CONFRONTO ENERGETICO ED ECONOMICO TRA LE VARIE TECNOLOGIE

Il confronto tra lampade stradali viene fatto in base ai lumen prodotti dalle varie tecnologie in modo che esse possano essere messe a confronto sulla base di una stessa capacità di generare luce, valutandone poi costi e le varie grandezze elettriche.

Prendendo come riferimento circa 20000 lm le lampade che prendiamo in considerazione sono:

Vapori di mercurio.....Osram HQL 400
 Vapori di Sodio Alta pressione.....Osram Nav-E 210
 Vapori di Sodio Bassa pressione....Osram Sox 135
 Lampade a Ioduri metallici.....Osram HQI-T 250/D
 Lampade LED.....CarecaLED F1-220W

9.1 Confronto Energetico

La tabella di seguito riassume tutte le caratteristiche elettriche delle lampade analizzate ricordando che esse sono messe a confronto sulla base del flusso luminoso generato.

	HQL 400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
Potenza [W]	400	210	135	250	220
Flusso luminoso [lm]	22000	18000	22500	20000	> 17500
Efficienza luminosa [lm/W]	55	86	167	82	80
Temperatura di colore [K]	4000	2000	2000	5200	5100 - 3100
CRI	44	< 25	0	90	> 70
Presenza di mercurio	si	no	no	si	no
Durata di vita [h]	20000	14000	16000	12000	50000
Alimentazione	Reattore	Reattore	Reattore	Accenditore	Alimentatore
Regolazione	no	no	no	parziale	si
Accensione	5 minuti	5 minuti	10 minuti	7 minuti	Istantanea
Riaccensione	10 minuti	10 minuti	15 minuti	12 minuti	Istantanea

Dalla tabella appena riportata possiamo dedurre che:

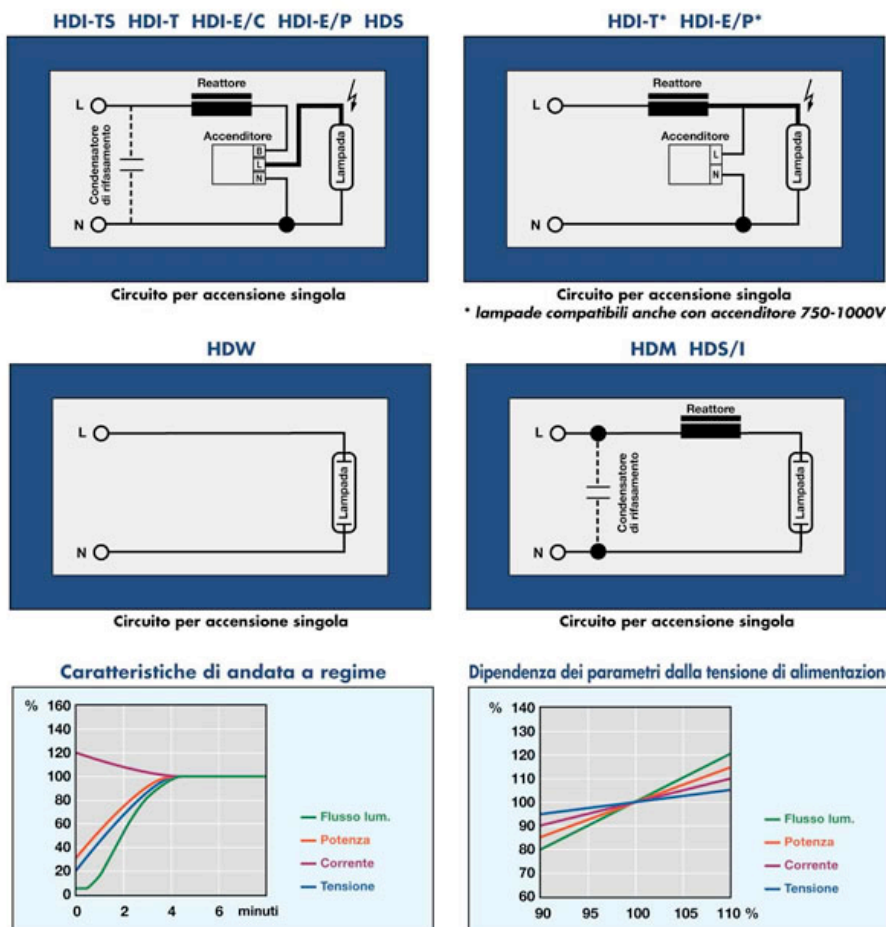
1. A parità circa di flusso luminoso prodotto, la tecnologia che assorbe meno potenza risulta essere quella a vapori di sodio a bassa pressione.
2. Dato quanto detto sulla visione notturna, si ha che i LED e gli ioduri metallici sono lampade che permettono una miglior visione in quanto la luce generata risulta essere più bianca rispetto alle altre tecnologie a confronto.

3. Collegandosi al punto 2 si ha che queste due tecnologie presentano indici di resa cromatica nettamente superiore rispetto a tutte le altre. In particolare, le lampade agli ioduri metallici hanno un indice di resa cromatica molto elevato, anche superiori ai LED.
4. Per quanto riguarda l'impatto ambientale si ha che sia i LED che le lampade ai vapori di sodio non presentano mercurio e quindi non sono pericolose né per l'ambiente né per l'uomo.
5. La durata di vita delle lampade a LED è nettamente superiore a tutte le altre, circa 3 volte.
6. Il flusso luminoso può essere interamente regolato solo nelle lampade a LED, caratteristica che permette la gestione dell'impianto senza sprechi.
7. Accensione e riaccensione dopo lo spegnimento risultano istantanee solo nelle lampade a LED, altra caratteristica, specie la seconda, molto importante quando l'impianto risulta essere in funzione.

A convalidare la tabella sopra riportata, riportiamo sotto gli schemi di collegamento e i grafici relativi alle caratteristiche elettriche delle vari tecnologie, ricavata dal catalogo Duralamp. Ricordiamo che:

Lampade ai vapori di mercurio.....HDM o HDW
 Lampade ai vapori di sodio a. p.HDS
 Lampade a ioduri metallici.....HDI

Schemi di Connessione e Grafici Lampade a Scarica



9.2 Confronto economico

Il confronto economico tra le varie tipologie di lampade viene effettuato tenendo conto della durata di vita delle lampade stesse, di un tasso di interesse pari al 5% annuo ed ad un costo delle energia costante in tutte le fasce orarie.

Bisogna inoltre tener conto delle norme riportate nel capitolo 5, che ci permettono di “dimensionare” correttamente l'impianto di illuminazione.

Facciamo quindi una distinzione, ovvero studiamo due casi:

- 1- impianto nuovo, ovvero le lampade possono essere installate in una qualsiasi posizione, permettendoci quindi di variare il numero di lampade installate;
- 2- impianto esistente, in questo caso non si possono variare il numero di lampade, ma, mantenendone costante il numero, posso considerare lampade con caratteristiche illuminotecniche diverse.

9.2.1 Confronto economico per un impianto nuovo

Lo studio viene fatto sul paragone di lampade che generano circa 20.000 lm permettendoci così di avere un termine di paragone per determinare che tipologia di lampade utilizzare.

Dato che le ore di funzionamento giornaliera di un impianto di illuminazione pubblica, variano a seconda della stagione in cui ci si trova, viene fatta una media ponderata delle ore di funzionamento ottenendo così una media di 10 ore al giorno, il che comporta un funzionamento di 3650 ore annue.

Le lampade prese in considerazione per tale tipologia di impianto sono:

Tipo	Potenza [W]	Costo Acquisto [€/pz]	Flusso luminoso [lm]	Durata di vita [h]
HQL-400	400	21,47	22000	20000
Nav-E 210	210	37,82	18000	14000
Sox 135	135	50,21	22500	16000
HQI- T 250/D	250	39,71	20000	12000
F1-220W	220	1750	17500	50000

Come fatto per le lampade ad utilizzo privato, anche in questo caso i costi di acquisto vengono attualizzati ad un anno “tipo”, sempre mediante il fattore di attualizzazione, che ci permetterà quindi di paragonare le varie tecnologie.

I fattori di attualizzazione, ottenuti secondo la funzione riportata nel paragrafo 4.2, sono:

Tipo	Anni di funzionamento n	Fattore di attualizzazione f.a.
HQL-400	5,48	0,213
Nav-E 210	8,77	0,144
Sox 135	4,38	0,26
HQI-T 250/D	2,47	0,441
F1-220W	13,7	0,103

Determinati i fattori di attualizzazione, posso calcolare i costi annui di ogni tecnologia, bisogna però anche tener conto di quanto dice la norma UNI EN 13201-1 nel prospetto 2, ovvero la possibilità di declassamento della categoria illuminotecnica di progetto, a seconda del valore di indice di resa cromatica della lampada. Il “gap” tra una classe ed un'altra, non è costante. Per facilitare però il procedimento prendiamo in considerazione una riduzione (o aumento) del flusso luminoso di circa il 30%, che è la media delle variazioni tra una classe ed un'altra. Ipotizzando che le tipologie di lampade generino un flusso di 20.000 lm, possiamo riportare tale riduzione (o incremento) direttamente sull'installazione delle lampade.

Praticamente quindi, aumenteremo o diminuiranno il costo di acquisto e di conseguenza quello annuo, in base al declassamento (o incremento) imposto dalle norme.

Tutti i calcoli sono riportati nel secondo paragrafo dell'appendice B.

Di seguito vengono riportati solo i risultati finali.

Tipo	Costo annuo [€/anno]	Consumi annui [€]	Consumi totali [€]
HQL-400	4,58	262,8	267,38
Nav-E 210	14,4	137,97	152,37
Sox 135	16,95	88,7	105,64
HQI-T 250/D	9,38	164,25	173,63
F1-220W	125,65	144,54	270,19

Da quanto riportato in tabella possiamo quindi concludere che l'utilizzo dei LED per l'illuminazione stradale risulta ancora alquanto sconsigliabile.

Essi risultano infatti più convenienti solo delle obsolete lampade ai vapori di mercurio, che ormai stanno via via scomparendo sia per via dell'impatto ambientale sia per via dei sostenuti costi di utilizzo.

Dai calcoli effettuati le lampade più convenienti risultano essere quelle ai vapori di sodio a bassa pressione, esse però non vengono praticamente mai utilizzate nell'illuminazione stradale a causa del loro bassissimo CRI, che complicherebbe la visione del guidatore, mettendone a rischio la sicurezza.

Le due tecnologie più convenienti risultano quindi essere le ormai note e consolidate lampade ai vapori di sodio ad alta pressione, che non presentano nemmeno rischi per l'ambiente, oppure le più recenti lampade a ioduri metallici, che hanno a favore il fatto di generare una luce bianca, migliorando quindi la visione notturna dell'uomo. Di contro però presentano una durata di vita ben inferiore rispetto alle altre. Nei grafici riportati alla pagina seguente viene confermato quanto appena detto.

Viene riportato inoltre un grafico (grafico 3) che ci permette di analizzare i costi per lumen di ogni tecnologia, considerando per ognuna il decadimento del flusso luminoso dovuto al passare delle ore di funzionamento, dato che, ancora una volta, consolida la tecnologia dei vapori di sodio ad alta pressione come la tecnologia attualmente più conveniente.

Costo per Watt

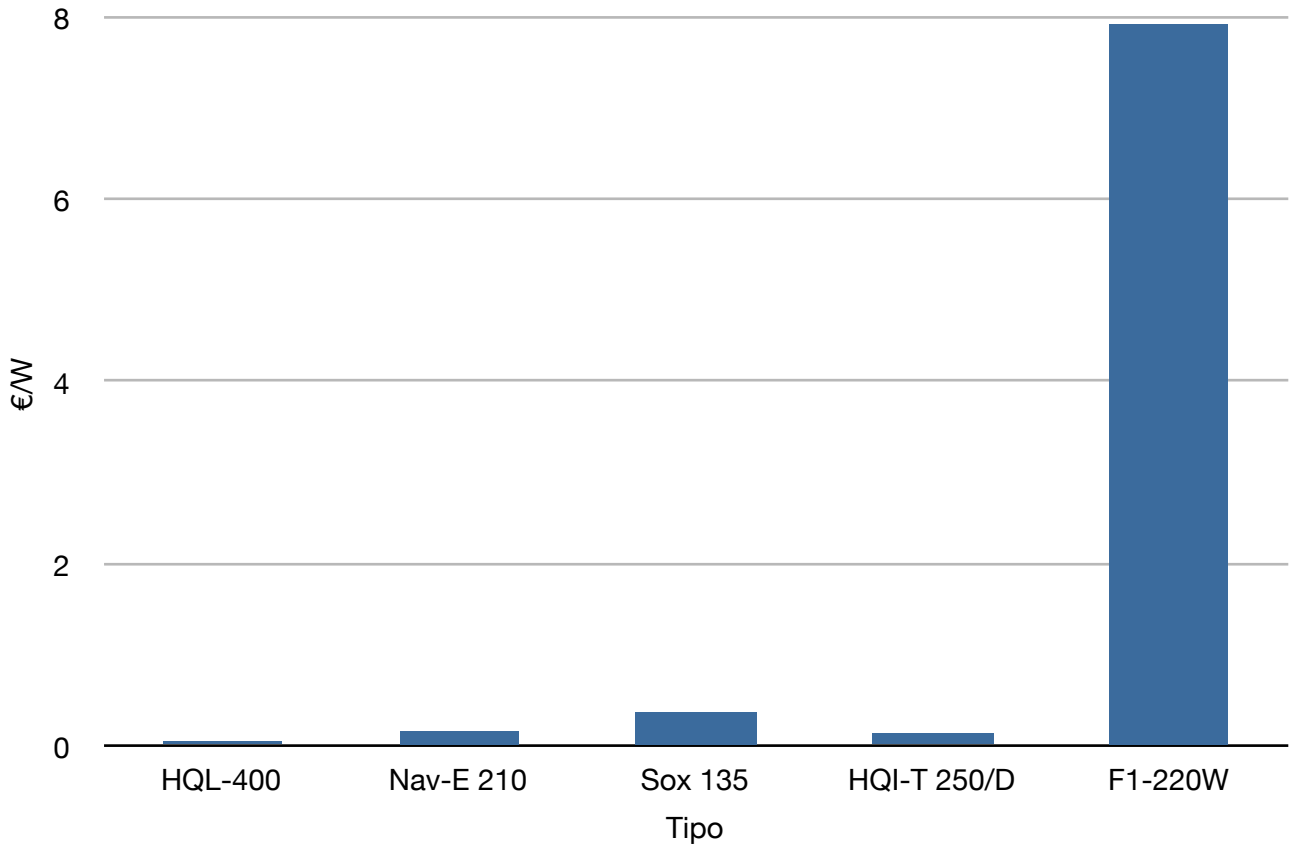


Grafico 1- Analisi dei costi per Watt

Analisi dei costi totali in un anno "tipo"

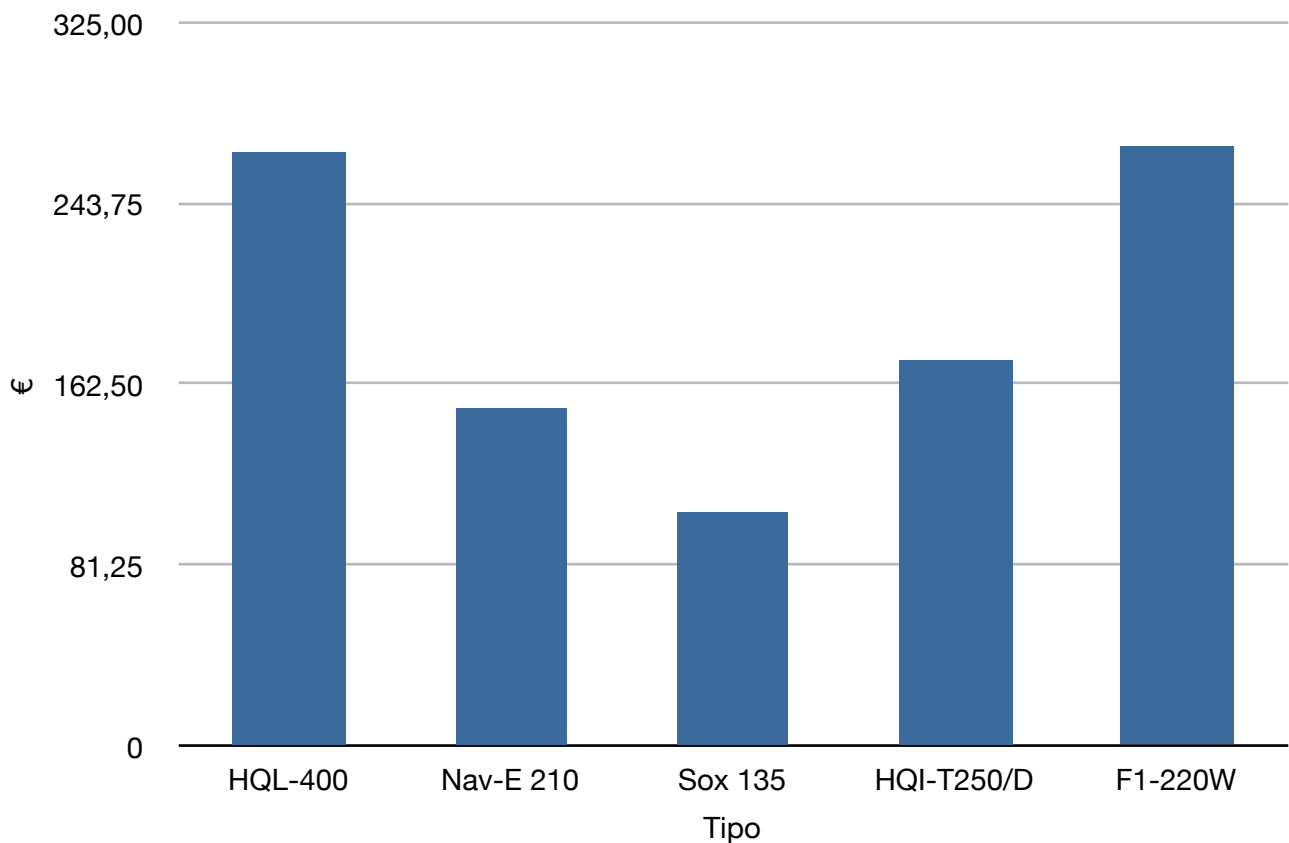


Grafico 2 - Analisi dei costi per le varie tecnologie, riferiti all'anno "tipo"

- HQL-400
- Nav-E 210
- Sox 135
- HQI-T250/D
- F1-220W

Analisi dei costi per lumen

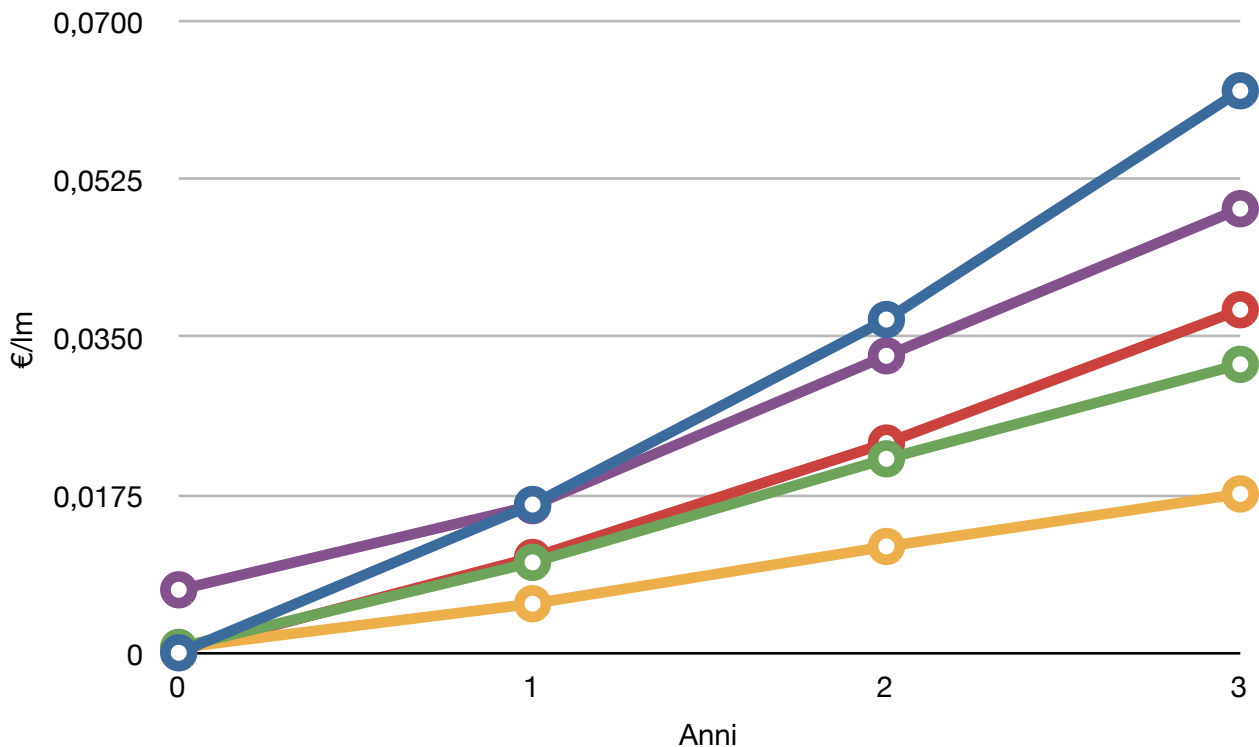
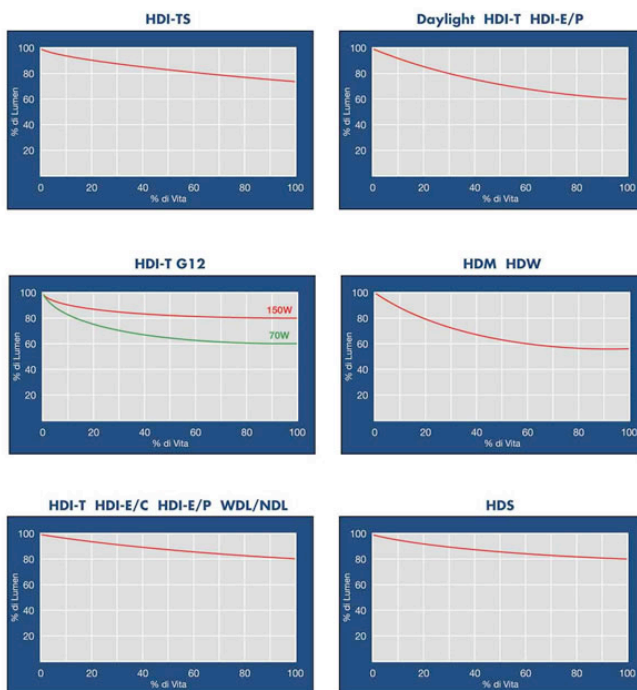


Grafico 3- Analisi dei costi in funzione del decadimento luminoso

Le curve di decadimento luminoso, riportate qui sotto, sono state prese dal catalogo Duralamp.

Curve di decadimento del Flusso Luminoso



9.2.2 Confronto economico per un impianto esistente

In questo caso non si possono variare il numero di lampioni installati, ciò che risulta variabile e quindi il flusso luminoso, che, come indicato dalla norma e spiegato nel paragrafo precedente, subisce variazioni medie del 30% a seconda dell'indice di resa cromatica della lampada.

Partendo sempre dal valore di riferimento di 20.000 lm, si ha che il 30% risulta essere una variazione di 6000 lm. Le lampade in commercio che ci permettono di effettuare i paragoni per tale impianto sono:

Tipo	Potenza [W]	Costo Acquisto [€/pz]	Flusso luminoso [lm]	Durata di vita [h]
HQL-400	400	21,47	22000	20000
Nav-E 250 4Y	250	24,94	27000	32000
Sox 180	180	80,08	32000	16000
HQI- E 150/WDL	150	51,41	12900	9000
G1-1800W	180	1450	12000	50000

Come fatto nell'esempio sopra riportato, si calcolano i fattori di attualizzazione e quindi i costi annui, che questa volta non vengono modificati, in quanto le riduzioni (o incrementi) imposti dalla norma sono già stati considerati nella determinazione delle lampade utilizzate.

Tutti i calcoli sono riportati nel punto 3 della appendice B, di seguito si riportano solo i risultati finali.

Tipo	Costo annuo [€/anno]	Consumi annui [€]	Consumi totali [€]
HQL-400	4,58	262,8	267,38
Nav-E 250 4Y	3,58	164,25	167,83
Sox 180	20,79	118,26	139,05
HQI-E 150/WDL	22,68	98,55	121,23
G1-180W	148,73	118,26	266,99

Anche in questo caso le tecnologie più convenienti risultano essere quelle ai vapori di sodio ad alta pressione e quella a ioduri metallici, tralasciando come sopra le lampade ai vapori di sodio a bassa pressione in quanto presentano un indice di resa cromatica troppo basso per essere utilizzate in sicurezza.

In questo caso, le lampade a ioduri metallici risultano addirittura più convenienti in termini di costi, ma in fase di progettazione bisogna però considerare che presentano una durata di vita nettamente inferiore alle altre tecnologie.

Si riportano anche per questo caso i tre grafici principali che permettono di fare tutte le considerazioni riportate.

Costo per Watt

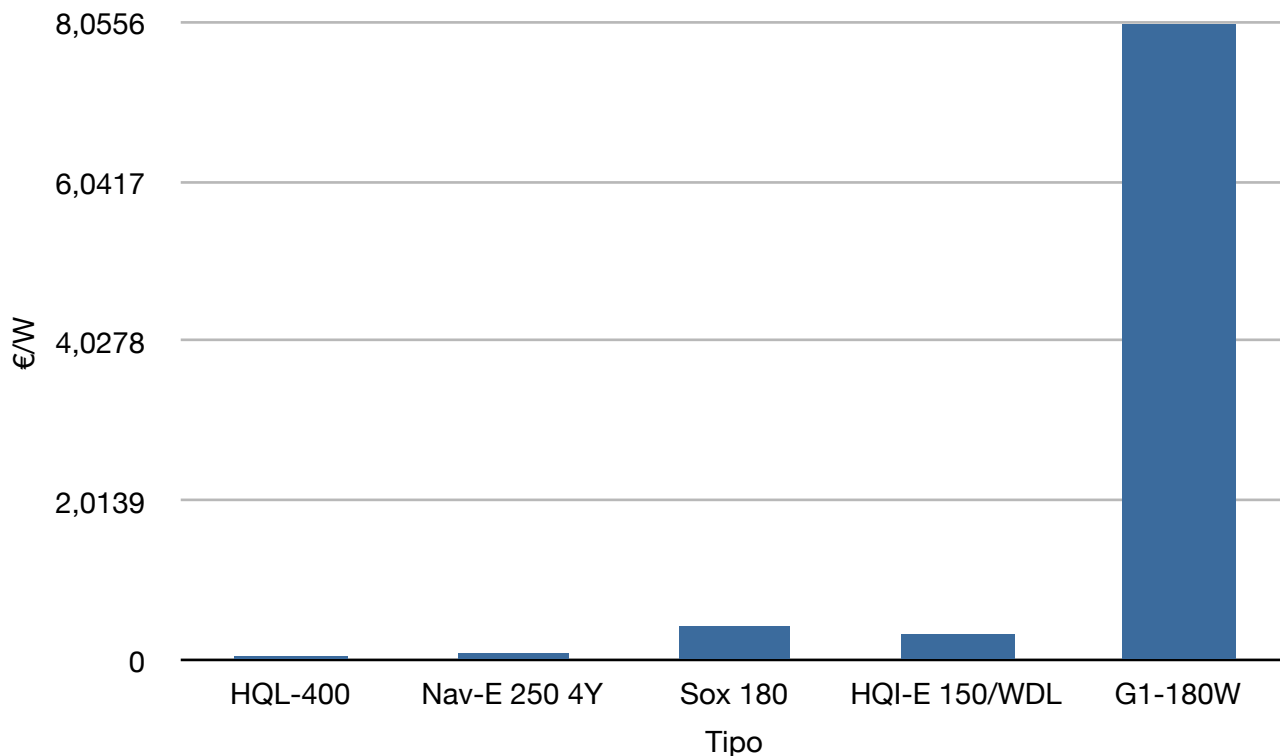


Grafico 4- Analisi dei costi per Watt

Analisi dei costi totali in un anno "tipo"

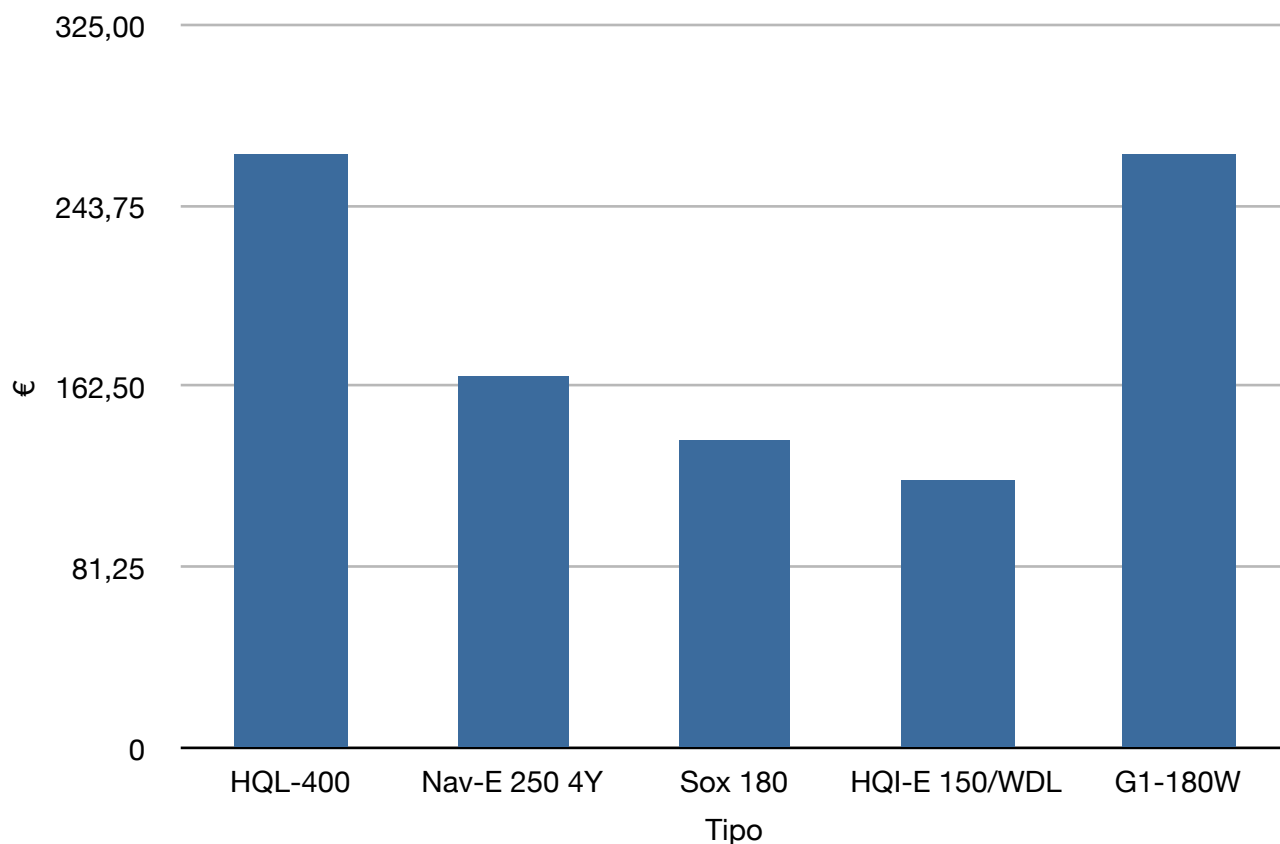


Grafico 5 - Analisi dei costi per le varie tecnologie, riferiti all'anno "tipo"

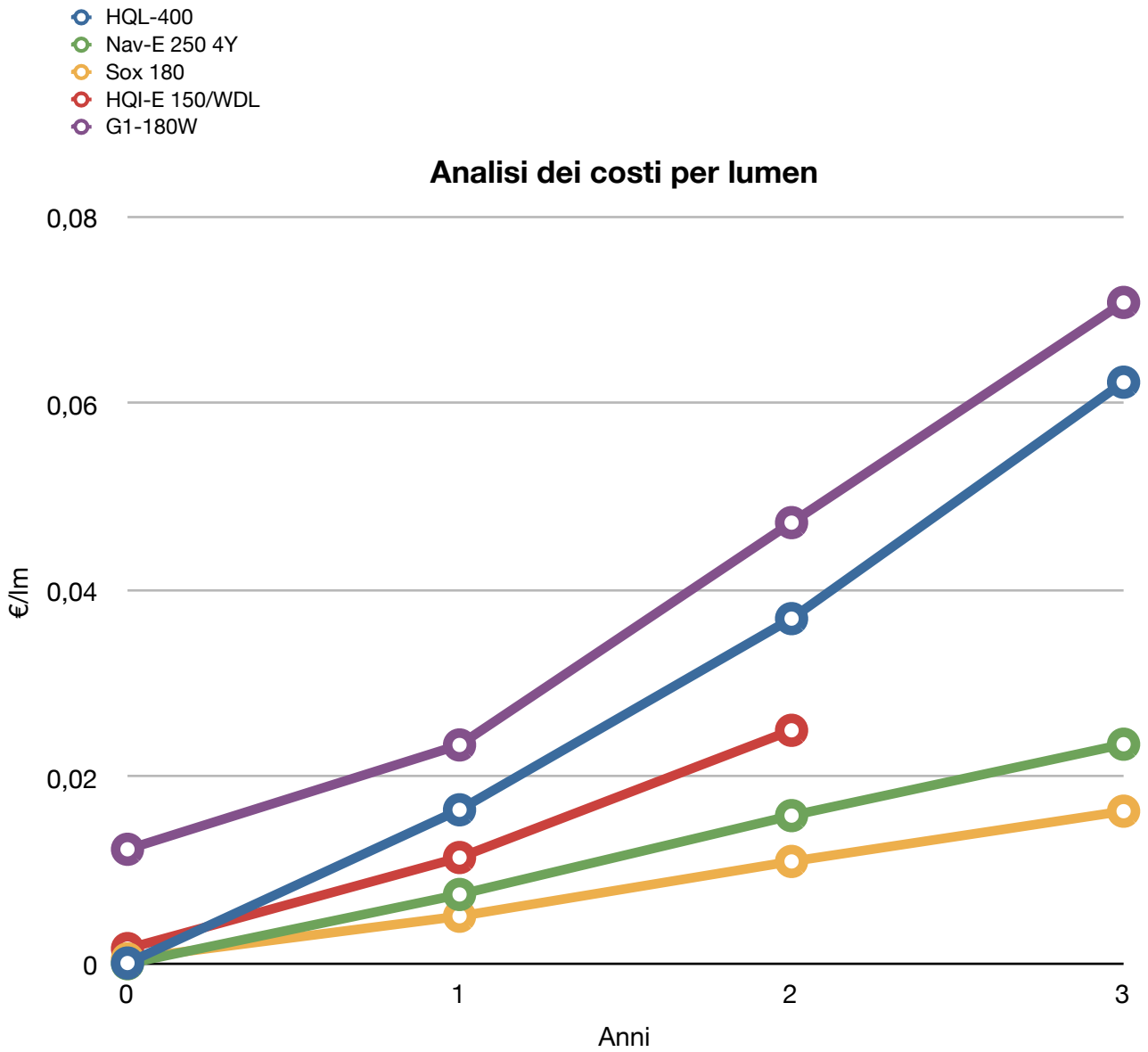


Grafico 6- Analisi dei costi in funzione del decadimento luminoso

Per le curve di decadimento luminoso si faccia riferimento alle tabelle riportate poche pagine sopra.

10.CONCLUSIONI

I LED rappresentano sicuramente il futuro dell'illuminazione, sia essa pubblica o privata.

L'attenzione verso il rispetto dell'ambiente e la continua ricerca del risparmio energetico li rendono attualmente la miglior sorgente luminosa in questi campi, inoltre, risultando ancora una tecnologia molto giovane rispetto alle altre, presentano enormi margini di crescita e di sviluppo.

Vi è da tener conto però, oltre all'efficienza luminosa della sorgente, anche altri aspetti che risultano importantissimi nella progettazione e nella scelta di una sorgente piuttosto che di un'altra. Temperatura di colore, indice di resa cromatica, durata di vita e conseguenti costi di manutenzione, sicurezza, risultano quindi essere termini fondamentali per la scelta.

Da quanto analizzato fino ad ora i LED risultano essere la migliore tecnologia considerando tutte le sue caratteristiche tecniche ed illuminotecniche, ma, oltre alle valutazioni utili alla progettazione, bisogna valutare soprattutto i costi. Ed è proprio in questo campo che i LED, cadono dal primo all'ultimo posto in classifica.

I costi di acquisto delle lampade ed i costi di installazione risultano spropositati rispetto a quelli delle dirette concorrenti, specie se si tratta di illuminazione pubblica.

10.1 Illuminazione Privata

Come indicato nel capitolo 4, possiamo sostenere che le lampade a LED risultano essere convenienti se paragonate alle ormai obsolete lampade ad incandescenza o alle lampade alogene che hanno una efficienza luminosa molto scarsa a causa della tipologia di generazione della luce, esse presentano infatti una forte produzione di calore vincolata al loro funzionamento, al contrario delle altre tipologie di lampade.

A fronte di un costo di investimento relativamente più elevato rispetto alle altre tecnologie, le lampade a LED presentano però una durata di vita ed un mantenimento del flusso luminoso migliori rispetto alle dirette avversarie, e ciò le rende una competitiva alternativa alle lampade fluorescenti, in impianti in cui il tempo di utilizzo risulti abbastanza elevato. Se inoltre si considera la possibilità di modificarne il colore e di direzionarne facilmente il flusso luminoso, tale tipologia di lampade risulta migliore in caso si voglia utilizzarle per un'illuminazione di arredamento e per la creazione di determinate atmosfere.

Di contro bisogna però tener conto che la luce prodotta risulta essere molto più concentrata e meno omogeneamente distribuita rispetto alle altre tecnologie e che quindi bisogna considerare il luogo e la finalità dell'installazione della lampada prima di acquistarla.

Quanto appena detto, rende i LED già una ottima tecnologia per l'illuminazione privata, specialmente per l'uso in attività commerciali dove le ore di utilizzo risultano più elevate, e se si pensa che i margini di miglioramento di tale sorgente sono molto ampi, si può concludere che essi rappresentano sicuramente il futuro dell'illuminazione privata.

10.2 Illuminazione Pubblica

Nel capitolo 9 viene invece fatto il confronto tra le varie tecnologie utilizzate per l'illuminazione stradale. Anche in questo caso, se si pensa alle caratteristiche elettriche delle varie tipologie di lampade, i LED risultano essere sicuramente tra le migliori. Esse infatti non presentano sostanze pericolose per l'ambiente, hanno una elevata durata di vita, un buon indice di resa cromatica ed inoltre la possibilità di essere alimentati a bassa tensione, che li rende ottimali per l'accoppiamento con pannelli fotovoltaici, riducendo quindi i costi di utilizzo e l'impatto ambientale.

Entrando però nell'analisi dei costi, i LED perdono tutti i loro vantaggi ed i loro costi sono paragonabili solo con l'arretrata tecnologia delle lampade ai vapori di mercurio.

Il costo di acquisto ancora decisamente elevato di tale tecnologia risulta del tutto fuori mercato e quindi attualmente rende le lampade poco consigliabili.

Vi sono infatti tecnologie che paragonate ai LED risultano certamente migliori, tralasciando infatti le lampade ai vapori di sodio, che presentano un CRI non paragonabile a quello delle lampade a LED, si ha che la tecnologia a ioduri metallici risulta nettamente migliore.

La luce prodotta risulta essere bianca e quindi di ottima qualità e il consumo orario risulta essere addirittura inferiore rispetto a tutte le altre, a fronte però di una durata di vita minore, e quindi di costi di manutenzione più elevati.

I miglioramenti ai LED devono essere quindi ancora molto ampi prima che essi diventino una diretta avversaria alle attuali tipologie di lampade utilizzate nell'illuminazione stradale.

Se si volesse, trascurando l'aspetto economico, pensare principalmente a quello ambientale, la tecnologia a LED risulterebbe comunque la migliore.

Vi sono quindi varie valutazioni da fare in fase di progettazione, direttamente con il committente del lavoro, per decidere se concentrare l'attenzione della scelta solo sull'aspetto economico o anche su quello ambientale.

APPENDICE A

Definizioni:

- **Flusso Luminoso:** Si rimanda al paragrafo 1.2, al punto 4;
- **Efficienza luminosa:** E' definita come il rapporto tra il flusso luminoso generato da una sorgente luminosa e la potenza assorbita dalla stessa. L'unità di misura è il lumen/Watt [lm/W].
- **Intensità luminosa:** E' definita come la concentrazione di flusso luminoso in una determinata direzione. L'unità di misura è la candela [cd] ed indicata con il simbolo I.
- **Illuminamento:** E' definito come il rapporto tra il flusso luminoso di una determinata sorgente luminosa e l'unità di superficie dell'oggetto illuminato. Rappresenta quindi la densità di flusso luminoso su di una determinata superficie. Tale grandezza è quindi riferita all'oggetto illuminato e non alla sorgente. l'unità di misura è il Lux [lx] ed indicato con il simbolo E.
- **Emettanza:** E' definita come il rapporto tra il flusso luminoso ed una superficie di riferimento. Rappresenta quindi la densità di flusso che lascia, o attraversa, una superficie. L'unità di misura è lumen/m² [lm/m²] ed indicata con il simbolo M.
- **Luminanza:** E' definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente in una tale direzione e la sua area apparente, ossia la proiezione dell'area della superficie su un piano perpendicolare alla direzione di osservanza della stessa. Rappresenta quindi la quantità di luce che effettivamente giunge al nostro occhio. L'unità di misura è candela/m² [cd/m²] ed indicata con il simbolo L.
- **Abbagliamento:** Rappresenta un disturbo transitorio della vista, percettibile come una sensazione eccessiva di luce. Esso risulta quindi essere un turbamento e una soppressione momentanea della vista per l'azione di un corpo luminoso sugli occhi. In illuminotecnica viene definito come un disturbo dovuto all'eccessivo contrasto di luminanza tra il compito visivo e lo sfondo.

Vengono identificati vari tipi di abbagliamento:

Abbagliamento diretto: fenomeno provocato da sorgenti luminose naturali ed artificiali agenti sull'ambiente visivo, nel quale l'immagine della sorgente abbagliante cade nella zona centrale di massima sensibilità della retina, creando il maggior disturbo.

Abbagliamento indiretto: fenomeno provocato quando la luminanza che disturba cade al di fuori della zona di massima sensibilità, per questo motivo è meno percettibile ma può dare in ogni caso luogo a stanchezza e disturbi alla visione.

Abbagliamento per contrasto: abbagliamento dovuto ad un forte contrasto fra le luminosità delle superfici presenti all'interno del campo visivo.

Abbagliamento per saturazione: abbagliamento dovuto all'eccessiva luminosità della sorgente luminosa.

Abbagliamento riflesso: fastidio causato dalla riflessione speculare di uno o più oggetti che ricevono la luce da sorgenti interne o esterne ed è quindi dovuto alla elevata luminanza di superfici lucide secondo le prescrizioni della norma UNI 10380, l'abbagliamento riflesso può essere valutato mediante il fattore di resa del contrasto CFR.

APPENDICE B

Di seguito vengono riportati i programmi che hanno portato alle conclusioni sui costi effettuate in tale elaborato.

In ordine i programmi sono:

1. Analisi dei costi per un impianto di illuminazione privata per uso commerciale
2. Analisi dei costi per un impianto di illuminazione privata domestica
3. Analisi dei costi per un impianto di illuminazione pubblica nuovo
4. Analisi dei costi per un impianto di illuminazione pubblica esistente

1. ANALISI DEI COSTI PER UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PRIVATA PER USO COMMERCIALE

Costo energia	0,18	€/kWh
---------------	------	-------

Tasso interesse annuo	5%
-----------------------	----

Dati delle lampade

Tipo	Costo Acquisto [€]	Potenza [W]	Durata di vita [h]	Flusso luminoso [lm]	Costo per Watt [€/W]	Costo per lumen [€/lm]
Incandescenza	1	40	1500	420	0,03	0,002
Alogena	4	28	2000	345	0,14	0,01
Fluorescente	3	10	15000	550	0,3	0,005
LED	18	7	30000	430	2,57	0,04

Determinazione delle ore di funzionamento annue

Ore di utilizzo giornaliera	8
ore di utilizzo annue	2920

Calcolo degli anni di funzionamento delle lampade in base alle ore di utilizzo ed alla durata di vita e calcolo del fattore di attualizzazione (f.a.)

Tipo	Anni di funzionamento	f.a.
Incandescenza	0,51	2,020
Alogena	0,68	1,521
Fluorescente	5,14	0,226
LED	10,27	0,127

Calcolati i fattori di attualizzazione, posso ottenere il costo annuo delle varie tipologie di lampade.

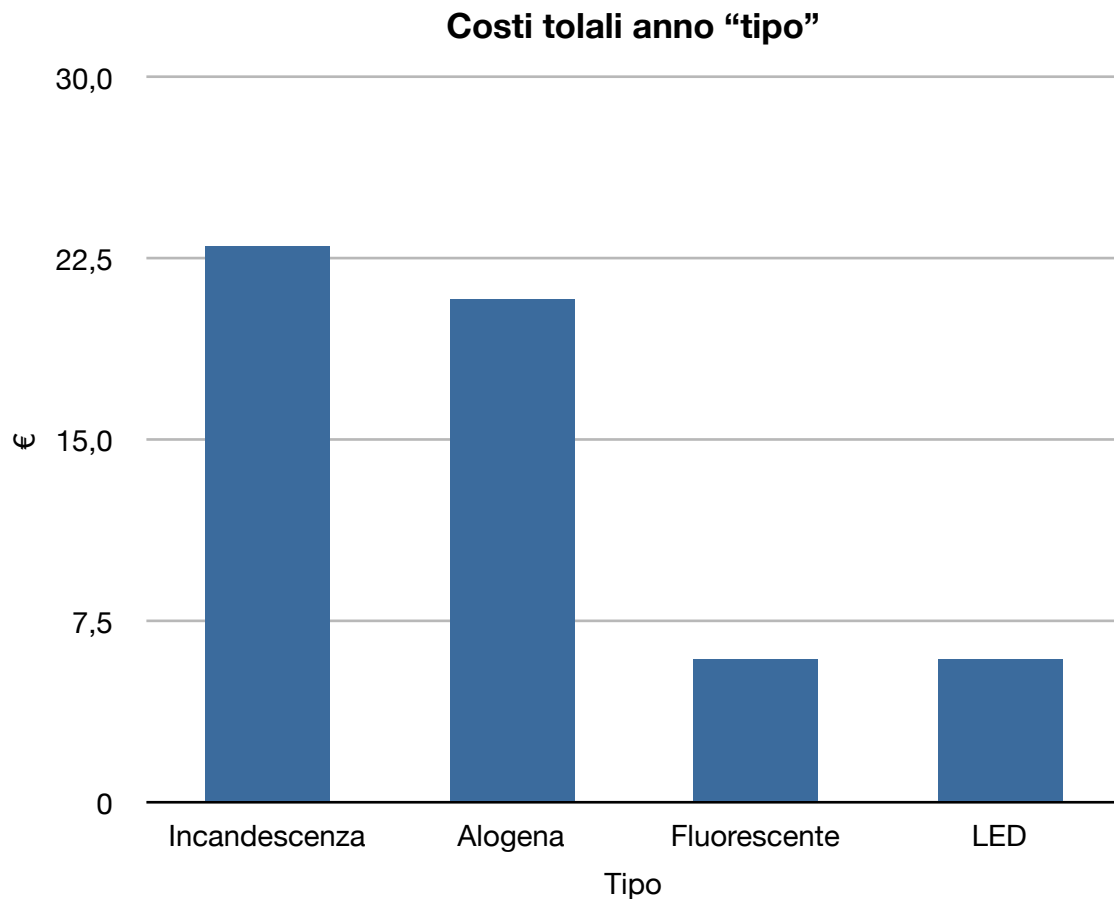
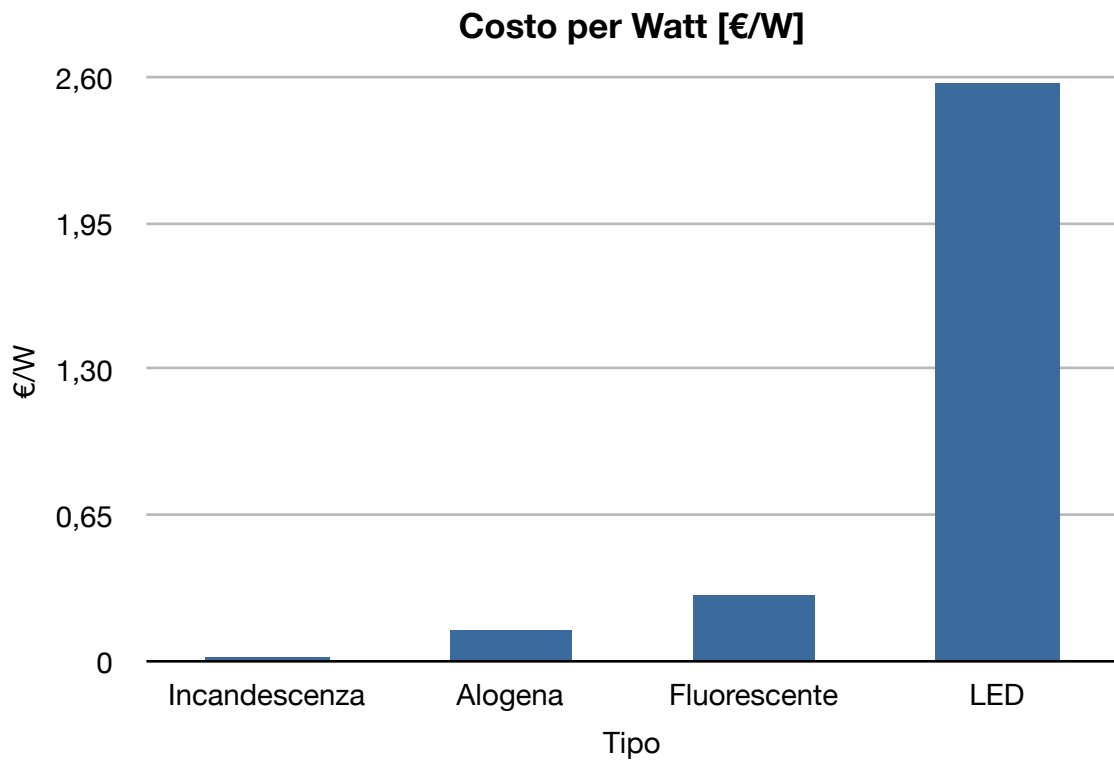
Tipo	Costo Acquisto [€]	Costo annuo [€/anno]
Incandescenza	1	2,02
Alogena	4	6,09
Fluorescente	3	0,68
LED	18	2,28

Calcoliamo ora i consumi delle varie tipologie di lampade, in base alle ore di funzionamento annue, attualizzando i costi degli anni futuri mediante l'utilizzo del tasso di interesse annuo

	Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
CONSUMI COMPLESSIVI	1	21,02	14,72	5,26	3,68
	2	41,05	28,73	10,26	7,18
	3	59,16	41,41	14,79	10,35
	4	75,51	52,86	18,88	13,21
	5	90,21	63,15	22,55	15,79
	6	103,39	72,37	25,85	18,09
	7	115,15	80,61	28,79	20,15
	8	125,61	87,93	31,40	21,98
	9	134,86	94,40	33,72	23,60
	10	142,99	100,10	35,75	25,02

Calcolo dei costi complessivi riferiti ad un anno "tipo"

Tipo	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
Costi totali [€]	23,04	20,80	5,93	5,96



Analisi dei costi per lumen considerando il decadimento luminoso

Analizziamo il decadimento del flusso luminoso in funzione delle ore di funzionamento

Ore	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	420	345	550	430
1000	420	345	522,5	430
2000	420	345	495	430
3000	420	345	467,5	430
4000	420	345	440	430
5000	420	345	440	430
6000	420	345	418	430
7000	420	345	396	430
8000	420	345	374	430
9000	420	345	352	430
10000	420	345	330	430
11000	420	345	308	430
12000	420	345	275	430
13000	420	345	264	430
14000	420	345	242	430
15000				430
16000				430
17000				430
18000				430
19000				430
20000				430
21000				430
22000				430
23000				430
24000				430
25000				430
26000				430
27000				430
28000				430
29000				430

Per facilitare i calcoli arrotondiamo le ore di funzionamento annue a 3000 in modo da poter paragonare flusso e costi.

Valutiamo quindi il costo delle lampade per 3000 ore annue, considerando anche costi di acquisto

Calcolo dei costi di utilizzo per 3000 ore annue

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
1	21,60	15,12	5,40	3,78
2	42,17	29,52	10,54	7,38
3	60,78	42,55	15,20	10,64

Calcolo dei costi annui

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
1	2,02	6,09	0,68	2,28
2	4,04	12,17	1,35	4,57
3	6,06	18,26	2,03	6,85

Calcolo del costo totale

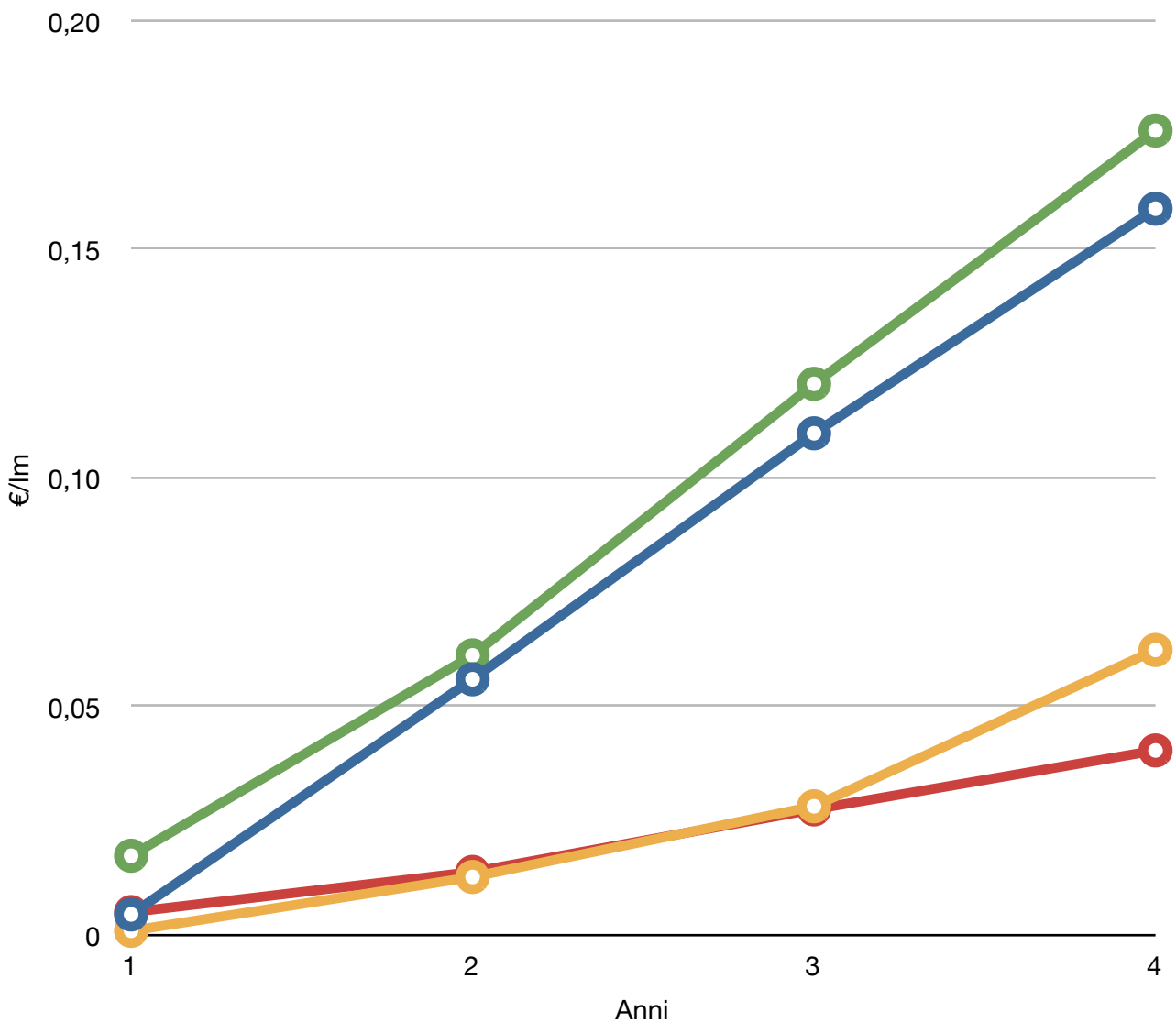
Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	2,02	6,09	0,68	2,28
1	23,62	21,21	6,08	6,06
2	46,21	41,69	11,90	11,95
3	66,84	60,80	17,23	17,49

Calcolo del rapporto €/lm

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	0,0048	0,018	0,0012	0,0053
1	0,056	0,06	0,013	0,014
2	0,11	0,12	0,028	0,028
3	0,16	0,18	0,06	0,04

- Incandescenza
- Alogena
- Fluorescente
- LED

Analisi dei costi per Lumen



2. ANALISI DEI COSTI PER UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PRIVATA DOMESTICA

Costo energia	0,18	€/kWh
---------------	------	-------

Tasso interesse annuo	5%
-----------------------	----

Dati delle lampade

Tipo	Costo Acquisto [€]	Potenza [W]	Durata di vita [h]	Flusso luminoso [lm]	Costo per Watt [€/W]	Costo per lumen [€/lm]
Incandescenza	1	40	1500	420	0,03	0,002
Alogena	4	28	2000	345	0,14	0,01
Fluorescente	3	10	15000	550	0,3	0,005
LED	35	7	30000	430	5,00	0,08

Determinazione delle ore di funzionamento annue

Ore di utilizzo giornaliera	3
ore di utilizzo annue	1095

Calcolo degli anni di funzionamento delle lampade in base alle ore di utilizzo ed alla durata di vita e calcolo del fattore di attualizzazione (f.a.)

Tipo	Anni di funzionamento	f.a.
Incandescenza	1,37	0,773
Alogena	1,83	0,586
Fluorescente	13,70	0,103
LED	27,40	0,068

Calcolati i fattori di attualizzazione, posso ottenere il costo annuo delle varie tipologie di lampade.

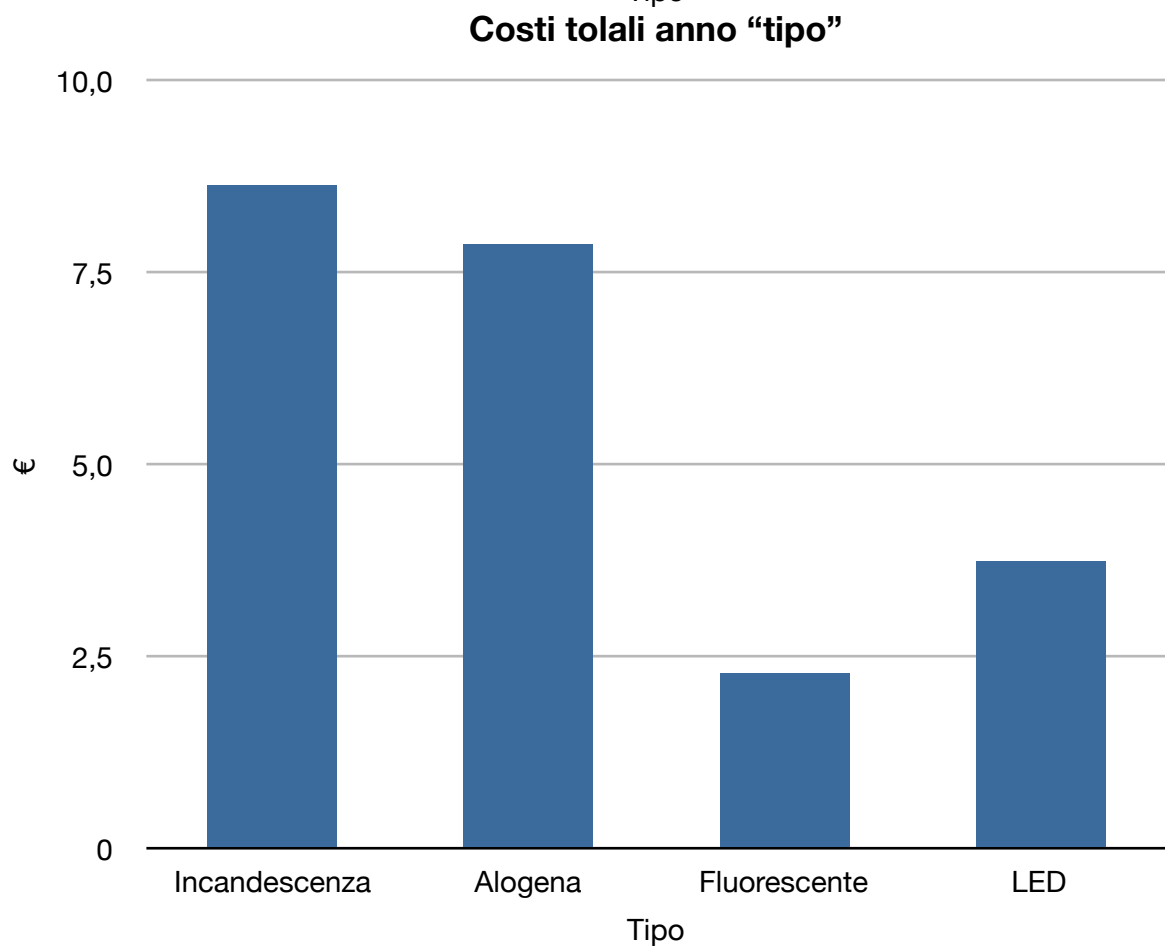
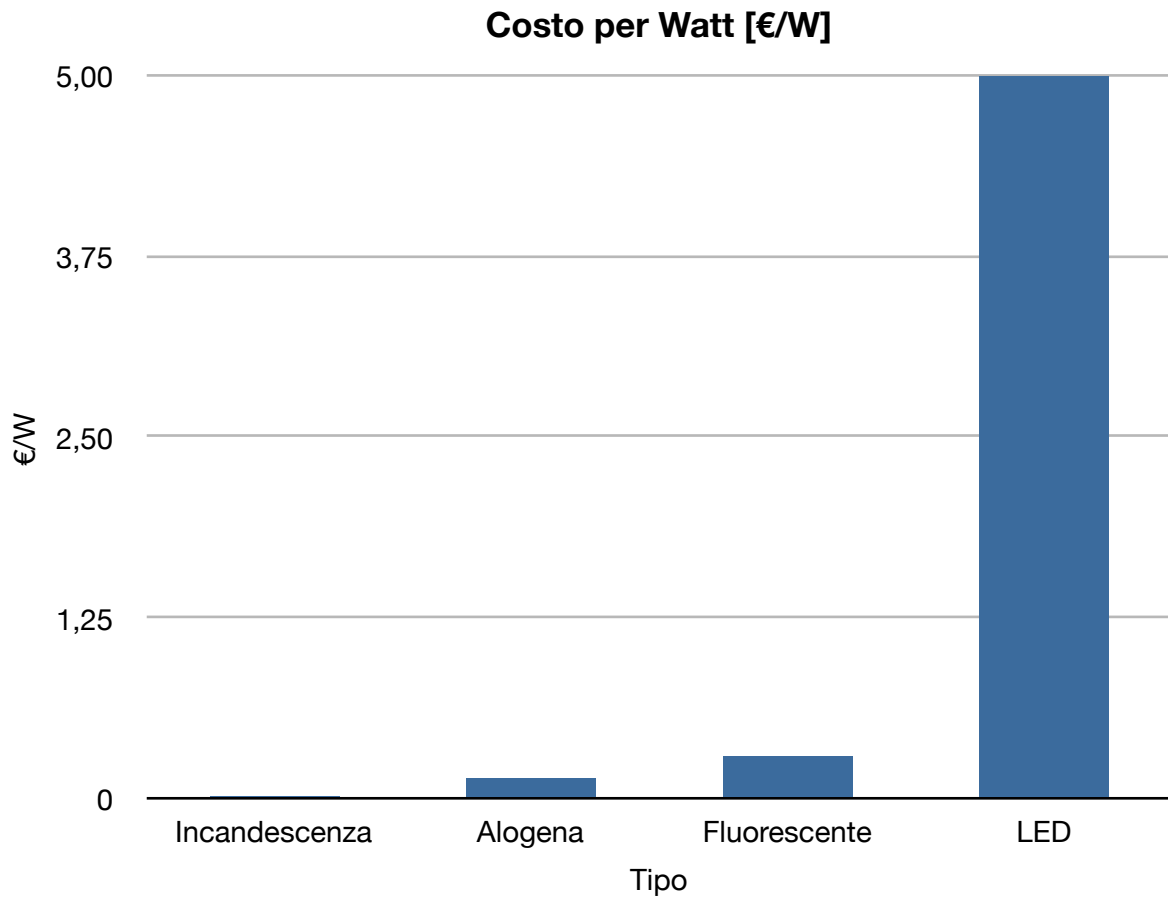
Tipo	Costo Acquisto [€]	Costo annuo [€/anno]
Incandescenza	1	0,77
Alogena	4	2,35
Fluorescente	3	0,31
LED	35	2,37

Calcoliamo ora i consumi delle varie tipologie di lampade, e delle ore di funzionamento annue

	Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
CONSUMI COMPLESSIVI	1	7,88	5,52	1,97	1,38
	2	15,39	10,77	3,85	2,69
	3	22,19	15,53	5,55	3,88
	4	28,32	19,82	7,08	4,96
	5	33,83	23,68	8,46	5,92
	6	38,77	27,14	9,69	6,78
	7	43,18	30,23	10,80	7,56
	8	47,11	32,97	11,78	8,24
	9	50,57	35,40	12,64	8,85
	10	53,62	37,54	13,41	9,38

Calcolo dei costi complessivi riferiti ad un anno "tipo"

Tipo	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
Costi totali [€]	8,66	7,86	2,28	3,75



Analisi dei costi per lumen considerando il decadimento luminoso

Analizziamo il decadimento del flusso luminoso in funzione delle ore di funzionamento

Ore	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	420	345	550	430
1000	420	345	522,5	430
2000	420	345	495	430
3000	420	345	467,5	430
4000	420	345	440	430
5000	420	345	440	430
6000	420	345	418	430
7000	420	345	396	430
8000	420	345	374	430
9000	420	345	352	430
10000	420	345	330	430
11000	420	345	308	430
12000	420	345	275	430
13000	420	345	264	430
14000	420	345	242	430
15000				430
16000				430
17000				430
18000				430
19000				430
20000				430
21000				430
22000				430
23000				430
24000				430
25000				430
26000				430
27000				430
28000				430
29000				430

Per facilitare i calcoli arrotondiamo le ore di funzionamento annue a 1000 in modo da poter paragonare flusso e costi
Valutiamo quindi il costo delle lampade per 1000 ore annue, considerando anche costi di acquisto

Calcolo dei costi di utilizzo per 1000 ore annue

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
1	7,20	5,04	1,80	1,26
2	14,06	9,84	3,51	2,46
3	20,26	14,18	5,07	3,55

Calcolo dei costi annui

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
1	0,77	2,35	0,31	2,37
2	1,55	4,69	0,62	4,75
3	2,32	7,04	0,92	7,12

Calcolo del costo totale

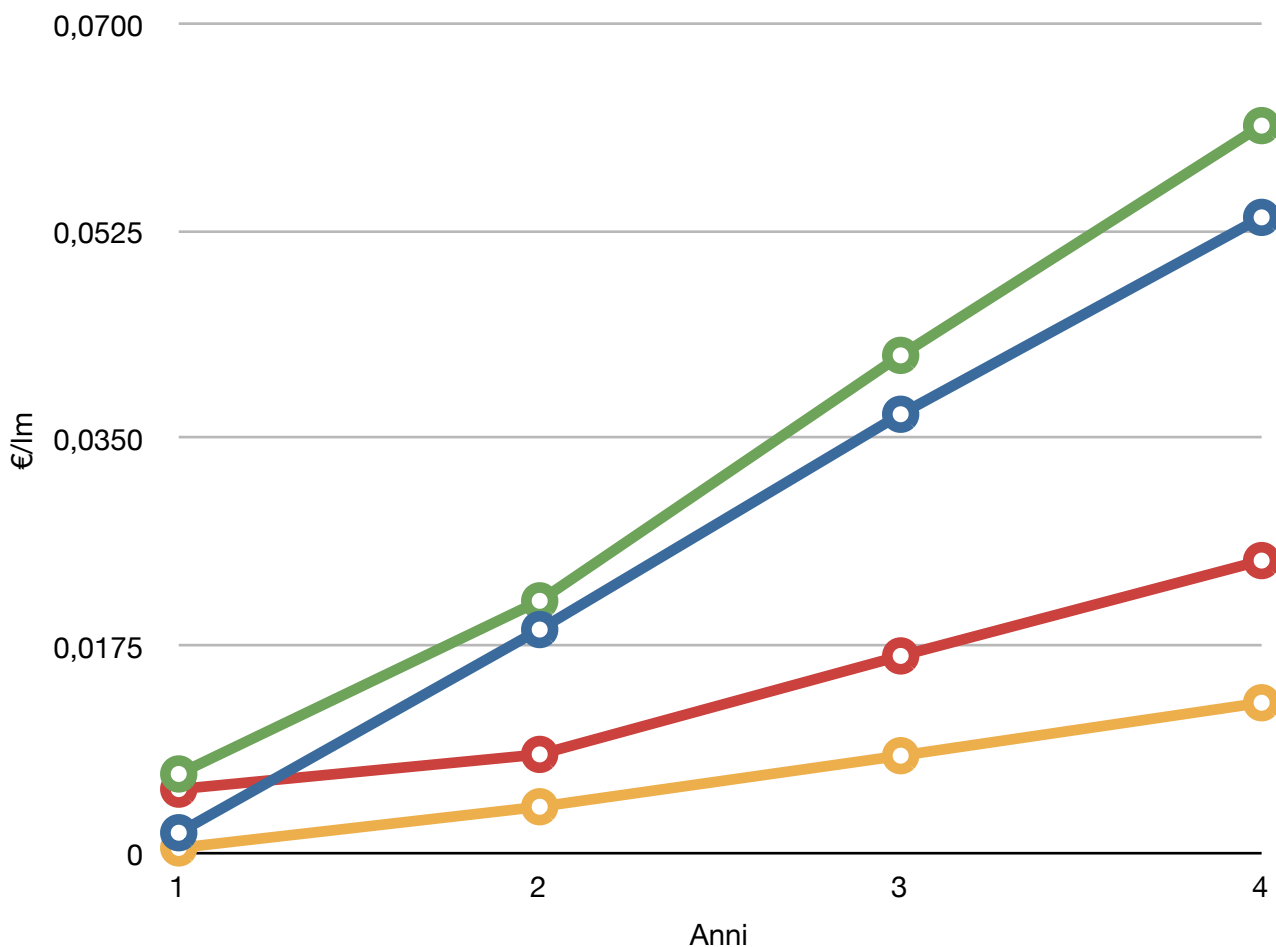
Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	0,77	2,35	0,31	2,37
1	7,97	7,39	2,11	3,63
2	15,60	14,53	4,13	7,21
3	22,58	21,22	5,99	10,67

Calcolo del rapporto €/lm

Anni	Incandescenza	Alogena	Fluorescente	LED
0	0,0018	0,007	0,0006	0,0055
1	0,0190	0,021	0,0040	0,0085
2	0,0372	0,042	0,0083	0,0168
3	0,0538	0,062	0,0128	0,0248

- Incandescenza
- Alogena
- Fluorescente
- LED

Analisi dei costi per Lumen



3. ANALISI DEI COSTI PER UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA NUOVO

Costo energia	0,18	€/kWh
---------------	------	-------

Tasso interesse annuo	5%
-----------------------	----

Tipo	Potenza [W]	Costo Acquisto [€/pz]	Flusso luminoso [lm]	Durata di vita [h]	Costo per Watt [€/W]	Costo per Lumen [€/lm]
HQL-400	400	21,47	22000	20000	0,054	0,0010
Nav-E 210	210	37,82	18000	14000	0,18	0,0021
Sox 135	135	50,21	22500	16000	0,37	0,0022
HQI- T 250/D	250	39,71	20000	12000	0,16	0,0020
F1-220W	220	1750	17500	50000	7,95	0,1000

ore di utilizzo delle lampade variabile in base alla stagione

periodo	giorni	ore di utilizzo
Inverno	92	12
Prim-aut	181	10
Estate	92	8

Ore medie di utilizzo	10
Totale ore annue	3650

Calcolo degli anni di funzionamento delle lampade in base alle ore di utilizzo ed alla durata di vita e calcolo del fattore di attualizzazione (f.a.)

Tipo	Anni di funzionamento	f.a.
HQL-400	5,48	0,213
Nav-E 210	3,84	0,293
Sox 135	4,38	0,260
HQI- T 250/D	3,29	0,337
F1-220W	13,7	0,103

Dato quanto detto per la visione scotopica, consideriamo un fattore K per tener conto che lampade di colore più caldo, attorno ai 2800K, devono essere installate in numero maggiore rispetto a lampade più chiare quali LED o Ioduri metallici

	unità di misura	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
Costo annuo	€/anni	4,58	11,08	13,04	13,40	179,51
Fattore K		1	1,3	1,3	0,7	0,7
Costo annuo tot	€/anni	4,58	14,40	16,95	9,38	125,65

Calcolo ora il consumo in termini di costi delle varie tipologie di lampade

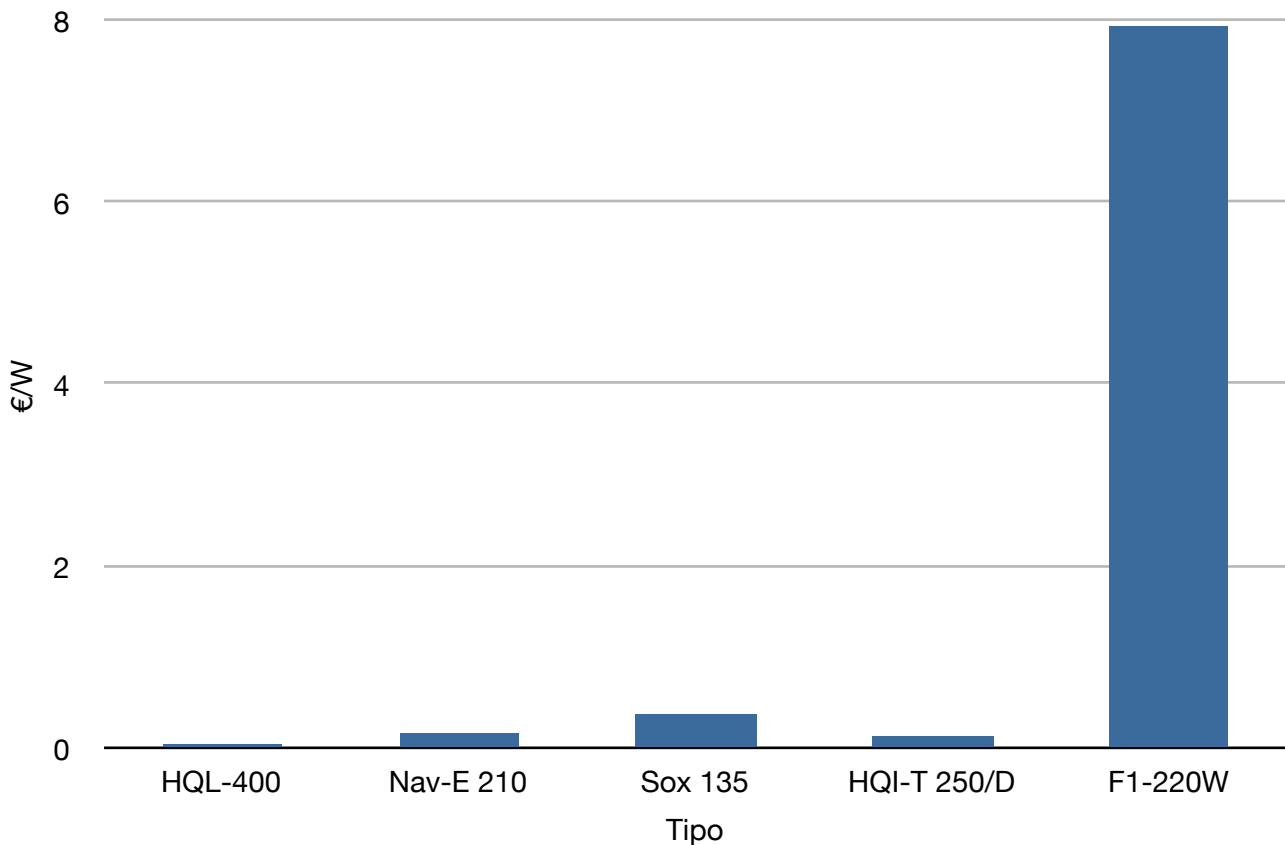
Tutti i valori in tabella si intendono in €

Anni	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
1	262,8	137,97	88,70	164,25	144,54
2	513,09	269,37	173,17	320,68	282,20
3	739,53	388,26	249,59	462,21	406,74
4	943,85	495,52	318,55	589,91	519,12
5	1127,62	592,00	380,57	704,77	620,19
6	1292,35	678,49	436,17	807,72	710,79
7	1439,43	755,70	485,81	899,65	791,69
8	1570,17	824,34	529,93	981,36	863,59
9	1685,79	885,04	568,95	1053,62	927,18
10	1787,43	938,40	603,26	1117,14	983,09

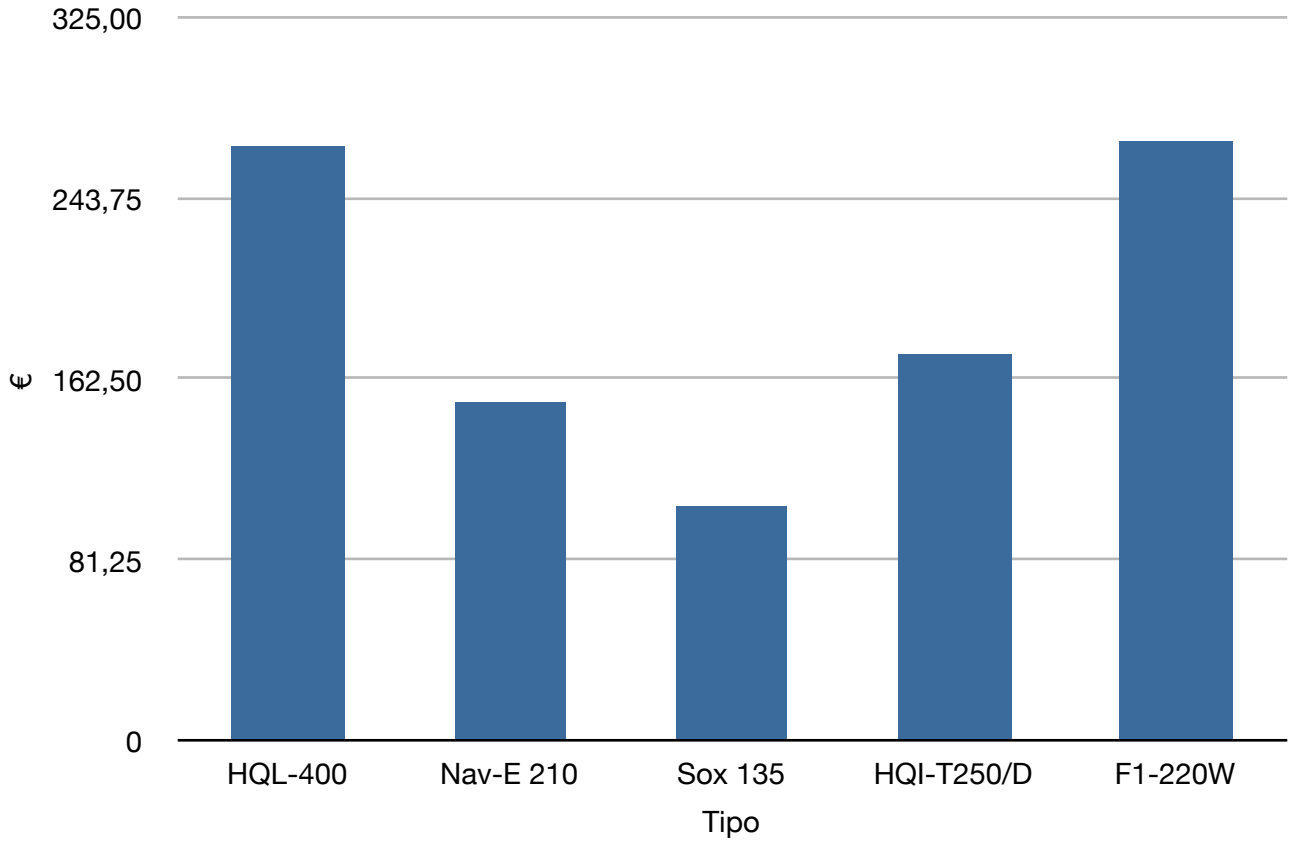
Calcolo dei costi totali riferiti all'anno "tipo"

Tipo	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
Costi totali	267,38	152,37	105,64	173,63	270,19

Costo per Watt



Analisi dei costi totali in un anno "tipo"



Analisi dei costi per lumen, considerando il decadimento del flusso luminoso

	unità di misura	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
Costo annuo	€/anni	4,58	11,08	13,04	13,40	179,51
Fattore K		1	1,3	1,3	0,7	0,7
Costo annuo tot	€/anni	4,58	14,40	16,95	9,38	125,65

Analisi del decadimento delle varie tecnologie

ore	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
0	22000	18000	22500	20000	17500
2000	19800	16740	20925	18400	17360
4000	17600	16200	20250	17600	17220
6000	16500	15300	19125	16600	17080
8000	15400	14940	18675	15800	16940
10000	14300	14760	18450	15000	16800
12000	13200	14580	18225	14000	16660
14000	12760	14400	18000		16520
16000	12540		16740		16380
18000	12100				16240
20000	12100				16100
22000					15960
24000					15820
26000					15680
28000					15540
30000					15400
32000					15260
34000					15120
36000					14980
38000					14840
40000					14700
42000					14560
44000					14420
46000					14280
48000					14140
50000					14000

Per facilitare i calcoli arrotondiamo le ore di funzionamento annue a 4000 in modo da poter paragonare flusso e costi.

Valutiamo quindi il costo delle lampade per 4000 ore annue, considerando anche costi di acquisto

Calcolo dei costi di utilizzo per 4000 ore annue

anni	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
1	288	151,2	97,2	180	158,4
2	562,29	295,20	189,77	351,43	309,26
3	810,45	425,49	273,53	506,53	445,75

Calcolo dei costi annui per 3 anni

anni	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQI-T 250/D	F1-220W
1	4,58	14,40	16,95	9,38	125,65
2	9,15	28,81	33,90	18,76	251,31
3	13,73	43,21	50,85	28,13	376,96

Calcolo dei costi totali, acquisto più utilizzo per i tre anni di riferimento

anni	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQL-T 250/D	F1-220W
0	4,58	14,40	16,95	9,38	125,65
1	292,58	165,60	114,15	189,38	284,05
2	571,44	324,01	223,67	370,18	560,56
3	824,18	468,70	324,38	534,66	822,71

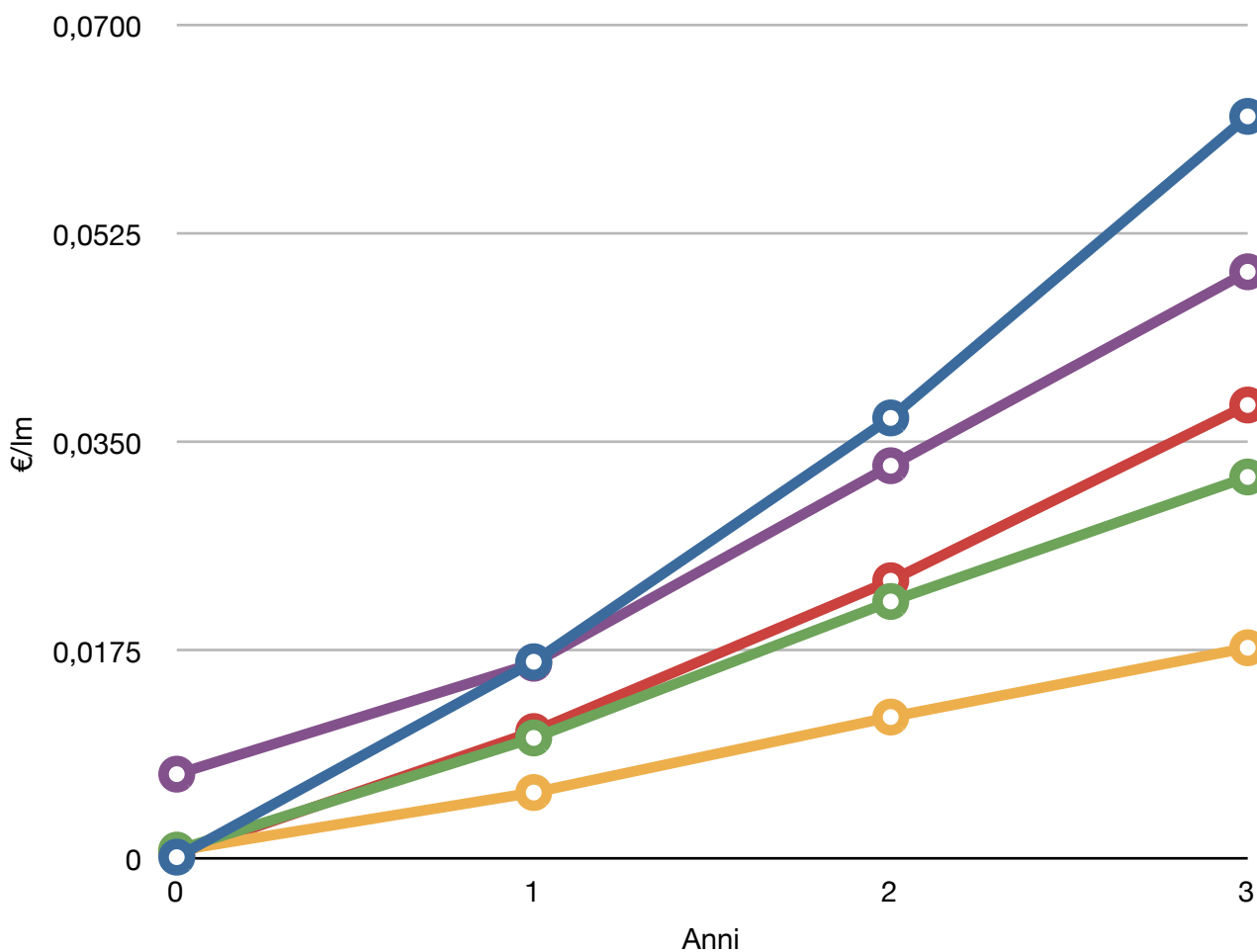
Calcolo del rapporto €/lm

anni	HQL-400	Nav-E 210	Sox 135	HQL-T 250/D	F1-220W
0	0,00021	0,00080	0,00075	0,00047	0,0072
1	0,01662	0,01022	0,00564	0,01076	0,01650
2	0,03711	0,02169	0,01198	0,02343	0,03309
3	0,06244	0,03215	0,01780	0,03819	0,04938

I confronti sono fatti nel periodo di 3 anni in quanto paragonati alla durata di vita più breve tra le varie tecnologie

- HQL-400
- Nav-E 210
- Sox 135
- HQL-T250/D
- F1-220W

Analisi dei costi per lumen



4. ANALISI DEI COSTI PER UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA ESISTENTE

Costo energia	0,18	€/kWh
---------------	------	-------

Tasso interesse annuo	5%
-----------------------	----

Tipo	Potenza [W]	Costo Acquisto [€/pz]	Flusso luminoso [lm]	Durata di vita [h]	Costo per Watt [€/W]	Costo per Lumen [€/lm]
HQL-400	400	21,47	22000	20000	0,054	0,0010
Nav-E 250 4Y	250	24,94	27000	32000	0,10	0,0009
Sox 180	180	80,08	32000	16000	0,44	0,0025
HQI- E 150/WDL	150	51,41	12900	9000	0,34	0,0040
G1-1800W	180	1450	12000	50000	8,06	0,1208

ore di utilizzo delle lampade variabile a seconda della stagione

periodo	giorni	ore di utilizzo
Inverno	92	12
Prim-aut	181	10
Estate	92	8

Ore medie di utilizzo	10
Totale ore annue	3650

Calcolo degli anni di funzionamento delle lampade in base alle ore di utilizzo ed alla durata di vita e calcolo del fattore di attualizzazione (f.a.)

Tipo	Anni di funzionamento	f.a.
HQL-400	5,48	0,213
Nav-E 250 4Y	8,77	0,144
Sox 180	4,38	0,260
HQI- E 150/WDL	2,47	0,441
G1-1800W	13,7	0,103

Calcolo del costo annuo per ogni tipologia di lampada sulla base del costo di acquisto e del fattore di attualizzazione.

	unità di misura	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
Costo annuo	€/anni	4,58	3,58	20,79	22,68	148,73

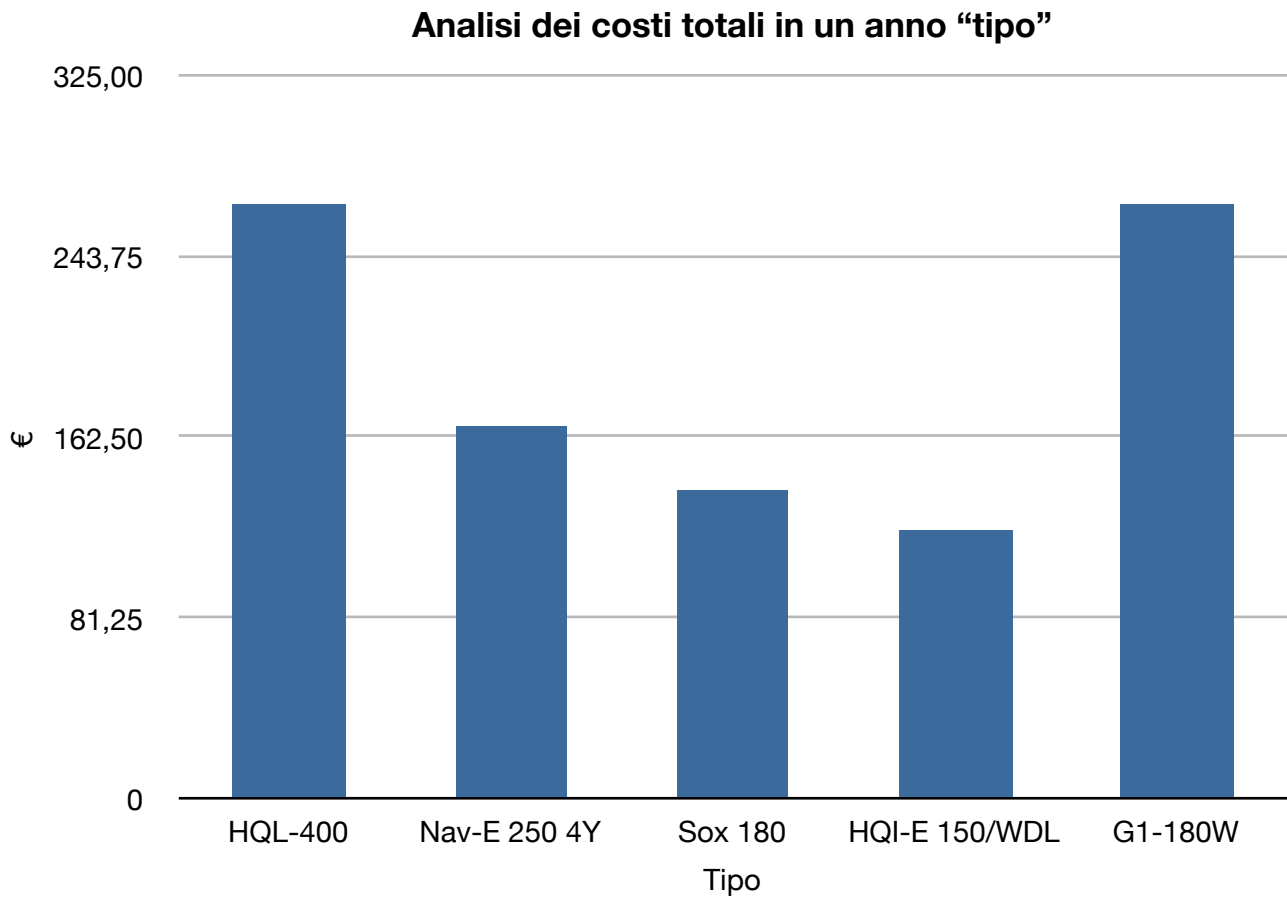
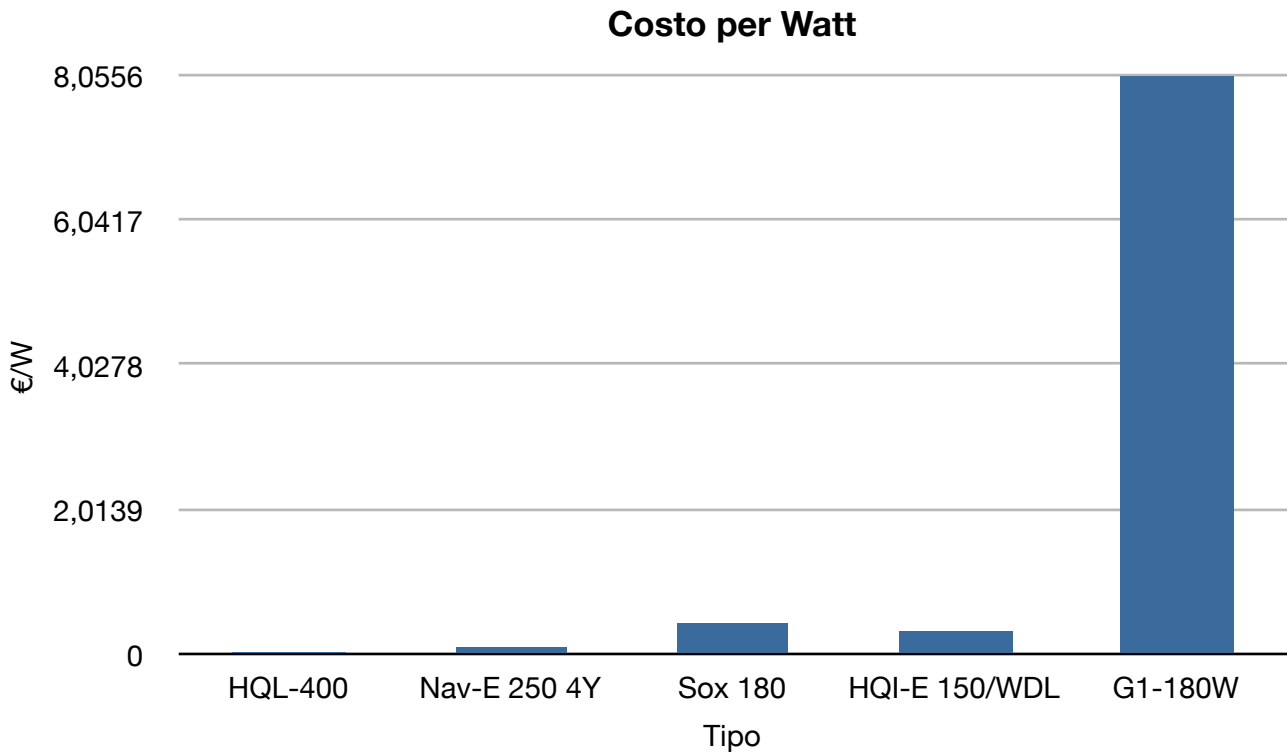
Calcolo ora il consumo in termini di costi delle varie tipologie di lampade

Tutti i valori in tabella si intendono in €

Anni	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
1	262,8	164,25	118,26	98,55	118,26
2	513,09	320,68	230,89	192,41	230,89
3	739,53	462,21	332,79	277,33	332,79
4	943,85	589,91	424,73	353,94	424,73
5	1127,62	704,77	507,43	422,86	507,43
6	1292,35	807,72	581,56	484,63	581,56
7	1439,43	899,65	647,74	539,79	647,74
8	1570,17	981,36	706,58	588,81	706,58
9	1685,79	1053,62	758,60	632,17	758,60
10	1787,43	1117,14	804,34	670,29	804,34

Calcolo dei costi totali riferiti all'anno "tipo"

Tipo	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
Costi totali	267,38	167,83	139,05	121,23	266,99



Analisi dei costi per lumen, considerando il decadimento del flusso luminoso

	unità di misura	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
Costo annuo	€/anni	4,58	3,58	20,79	22,68	148,73

Analisi del decadimento delle varie tecnologie

ore	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
0	22000	27000	32000	12900	12000
2000	19800	25110	29760	11868	11904
4000	17600	24300	28800	11352	11808
6000	16500	22950	27200	10707	11712
8000	15400	22410	26560	10191	11616
10000	14300	22140	26240	9675	11520
12000	13200	21870	25920		11424
14000	12760	21600	25600		11328
16000	12540	18819	23808		11232
18000	12100	18590			11136
20000	12100	18360			11040
22000		17933			10944
24000		17715			10848
26000		17496			10752
28000		15243			10656
30000		15057			10560
32000		14872			10464
34000					10368
36000					10272
38000					10176
40000					10080
42000					9984
44000					9888
46000					9792
48000					9696
50000					9600

Per facilitare i calcoli arrotondiamo le ore di funzionamento annue a 4000 in modo da poter paragonare flusso e costi
Valutiamo quindi il costo delle lampade per 4000 ore annue, considerando anche costi di acquisto

Calcolo dei costi di utilizzo per 4000 ore annue

anni	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
1	288	180	129,6	108	129,6
2	562,29	351,43	253,03	210,86	253,03
3	810,45	506,53	364,70	303,92	364,70

Calcolo dei costi annui per 3 anni

anni	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
1	4,58	3,58	20,79	22,68	148,73
2	9,15	7,17	41,59	45,36	297,47
3	13,73	10,75	62,38	68,03	446,20

Calcolo dei costi totali, acquisto più utilizzo per i tre anni di riferimento

anni	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
0	4,58	3,58	20,79	22,68	148,73
1	292,58	183,58	150,39	130,68	278,33
2	571,44	358,59	294,62	256,21	550,49
3	824,18	517,28	427,09	371,95	810,90

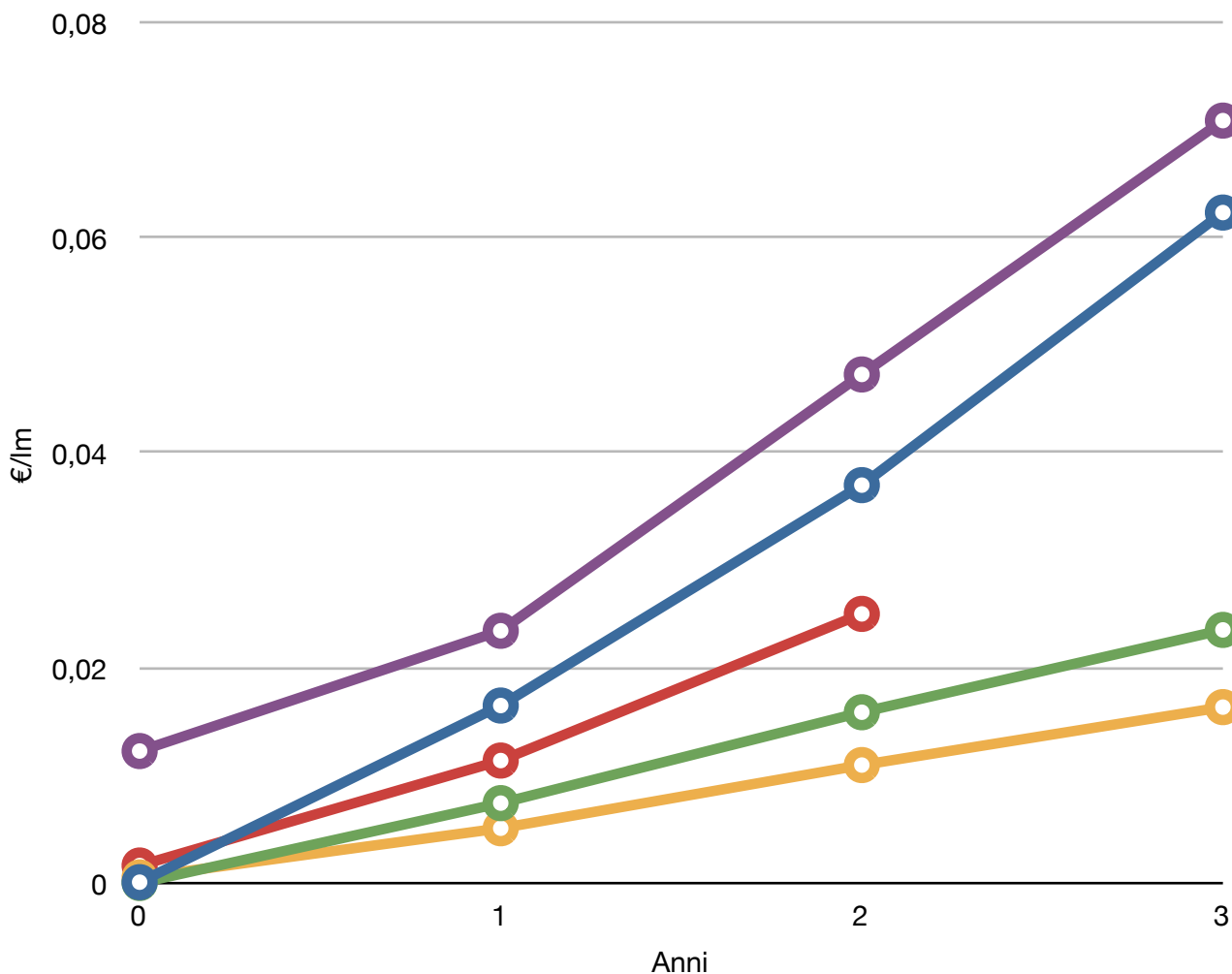
Calcolo del rapporto €/lm

anni	HQL-400	Nav-E 250 4Y	Sox 180	HQI- E 150/WDL	G1-1800W
0	0,00021	0,00013	0,00065	0,00176	0,0124
1	0,01662	0,00755	0,00522	0,01151	0,02357
2	0,03711	0,01600	0,01109	0,02514	0,04739
3	0,06244	0,02365	0,01648		0,07098

I confronti sono fatti nel periodo di 3 anni in quanto paragonati alla durata di vita più breve tra le varie tecnologie

- HQL-400
- Nav-E 250 4Y
- Sox 180
- HQI-E 150/WDL
- G1-180W

Analisi dei costi per lumen



BIBLIOGRAFIA

- G. Moncada lo Giudice, A. de Lieto Vollaro. *Illuminotecnica*. Terza edizione, Ambrosiana 2007.
- F. Papalia, L. Schiavon. *Illuminotecnica, elementi essenziali*. Zerbetto, 1990.
- Catalogo Osram 2010.
- Catalogo Philips 2009/2010.
- Catalogo i-LED 2009/2010.
- P. Berra, L. De Paoli, G. Zingales. *Appunti per il corso di "Economia delle fonti di energia"*. CLEUP editrice, 1997.
- A. Lorenzoni, D. Porcu, D.Sabbadin. *Facciamo piena luce. Indagine nazionale sull'efficienza nell'illuminazione pubblica*. Marzo 2006.

SITOGRAFIA

- www.electroportal.com
- www.vitobarone.it (ingegnere e docente di elettronica)
- www.xled.it
- www.ledmegazine.it
- www.nextville.it
- www.spazialis.com
- www.cielobuio.org
- www.duralamp.com

RINGRAZIAMENTI

Preso da mille impegni, una persona non sempre si sofferma a pensare alle tappe che si raggiungono durante il proprio cammino, e devo ammettere che spesso ciò capita anche a me. Ma di fronte ad un traguardo del genere è impossibile restare impassibili.

Fermarmi per un attimo, ed accorgermi di essere arrivato, mi riempie di gioia e di orgoglio, ma di certo non sono arrivato sin qui da solo.

E' giunto quindi il momento di mettere da parte l'orgoglio personale, che a volte ci annebbia, lasciandoci credere di avercela fatta solo grazie alle nostre capacità, ed è arrivato quello di ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato.

Già nelle prime pagine ho dedicato il mio elaborato a tutti coloro che mi hanno guidato e sostenuto e le prime due persone che mi vengono in mente sono sicuramente mia madre e mia nonna che, anche se oggi non posso essere qui a fianco a me, sono certo continuano a seguirmi ed ad indirizzarmi nella retta via, aiutandomi giorno dopo giorno ad andare avanti in tutte le mie attività.

Poi ci sono sicuramente mio padre, mio fratello e tutti i miei parenti per il fatto di esserci, di vivere con me e di rendere bello ogni mio giorno.

Non posso certo dimenticare la mia famiglia "acquisita" che mi ha sempre incitato a continuare nei momenti bui e che mi sostiene e mi aiuta giorno dopo giorno senza chiedere nulla in cambio. E tra loro devo certamente dedicare un ringraziamento particolare a Valentina, ormai mia compagna da quattro anni, che in tanto tempo non ha mai smesso di credere in me. Mi ha spinto, incitato, aiutato ed ha sopportato e condiviso con me delusioni e problematiche, ma anche momenti di gioia dovuti al mio tortuoso cammino universitario.

Volevo inoltre ringraziare tutti i miei compagni di studi, soprattutto Andrea, che è stata la mia presenza nelle aule, i miei appunti ed il mio informatore ufficiale su tutto ciò che riguardasse la vita universitaria.

Non per ultimi vorrei ringraziare tutti i professori che ho incontrato in questi 4 anni di studio, con particolare attenzione al professor Arturo Lorenzoni che mi ha guidato nella stesura di questo elaborato.

Non volendo dilungarmi troppo, qui mi fermo certo di essermi dimenticato qualcuno perché tante sarebbero le persone da citare, ma sono certo che nessuno se la prenderà a male perché chi mi conosce sa che sono un disastro in queste cose....

Grazie quindi a tutti quanti, ed anche a chi leggerà questa tesina perché non renderà vano il mio lavoro!!

Gianluca